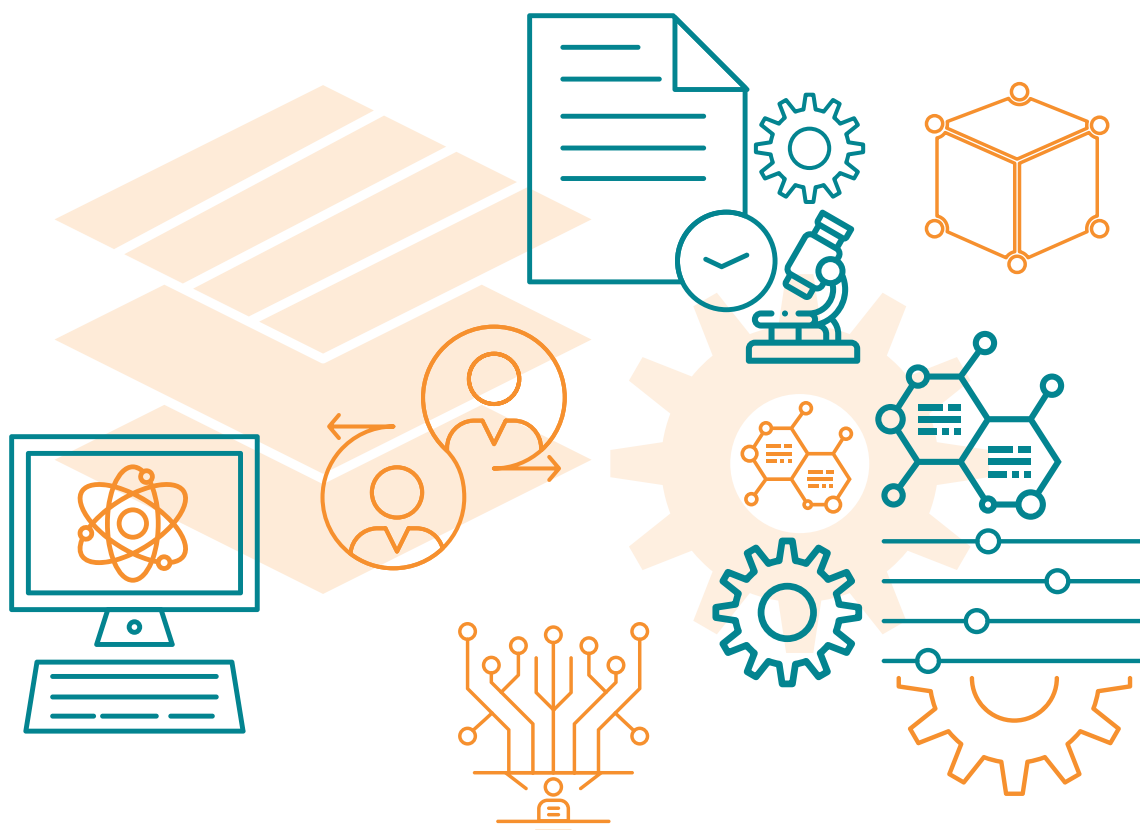


ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я ТА СОЦІАЛЬНІ ВИТРАТИ, ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЗАБРУДНЕННЯМ ПОВІТРЯ У ВЕЛИКИХ МІСТАХ УКРАЇНИ

Підсумковий звіт



30 квітня 2022 р.

підготовлено

Янні Естілл (Janne Estill),
кандидат наук, незалежний консультант

Bielstrasse 2, 3252 Worben, Switzerland (Білштрассе 2, 3252, Ворбен, Швейцарія)

Тел. +41 (0)79 918 27 06

janne.estill@epidemiology.ee

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА АБРЕВІАТУРИ.....	4
КОРОТКЕ РЕЗЮМЕ.....	5
1. ВСТУП.....	6
2. КОНЦЕПЦІЇ ТА ДЖЕРЕЛА ДАНИХ.....	7
2.1 ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ.....	7
2.2 ТЯГАР ХВОРОБИ.....	8
2.3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗДОРОВ'Я	8
2.4 ЕКОНОМІЧНІ ПРОГНОЗИ.....	9
2.5 ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ДАНИХ.....	10
3. РЕЗУЛЬТАТИ	11
3.1 ОГЛЯД ТЯГАРЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ТА ЙОГО ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я В УКРАЇНІ	11
3.2 МОДЕЛЬ ЗДОРОВ'Я	14
3.3 ЕКОНОМІЧНА МОДЕЛЬ	19
4. ТЛУМАЧЕННЯ ТА ВИСНОВКИ.....	23
4.1 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ	23
4.2 ОБМЕЖЕННЯ.....	24
4.3 ВИСНОВОК.....	25
5. СПИСОК ДЖЕРЕЛ	26

СКОРОЧЕННЯ ТА АБРЕВІАТУРИ

APM	Зважені тверді частинки
AQI	Індекс якості повітря
ХОЗЛ	Хронічне обструктивне захворювання легень
COVID-19	Коронавірусна хвороба 2019
DALY	Роки життя з поправкою на інвалідність
DHS	Демографічні та медичні обстеження
GBD	Глобальний тягар хвороб
ВВП	Валовий внутрішній продукт
ICD-10	Міжнародна статистична класифікація хвороб і проблем, пов'язаних зі здоров'ям, 10-й перегляд
IHD	Ішемічна хвороба серця
IHME	Інститут показників та оцінки здоров'я
PAF	Додаткова частка популяційного ризику
PM_{2.5}	Концентрація твердих частинок діаметром <2,5 мкм
PM₁₀	Концентрація твердих частинок діаметром <10 мкм
TFP	Сумарна факторна продуктивність
USD	дол. США
ВООЗ	Всесвітня організація охорони здоров'я
YLD	Роки життя, прожиті з інвалідністю
YLL	Втрачені роки життя

КОРОТКЕ РЕЗЮМЕ

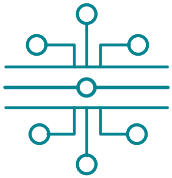
Метою цього проєкту було оцінити вплив забруднення повітря на захворюваність і смертність в Україні, економічні наслідки втрати здоров'я, а також створити інструменти та прогнози, які допоможуть оцінити вплив втручань, спрямованих на покращення якості повітря. Аналіз було виконано переважно з використанням даних із бази даних Глобального тягаря хвороб (GBD) (<https://ghdx.healthdata.org>) та інших загальнодоступних наборів даних про якість повітря, економічні показники та детермінанти здоров'я.

Згідно з останніми даними проєкту «Світовий індекс якості повітря» (<https://aqicn.org/>), якість повітря в Україні є субоптимальною: вимірювання концентрації твердих частинок діаметром <2,5 мкм (PM_{2,5}) вище ніж 55 мкг/м³, поріг нездорової якості повітря, зазвичай спостерігаються у всіх великих містах, а значення вище ніж 150 мкг/м³ (вважається дуже поганою якістю повітря) також нерідкісні в зимовий сезон. За оцінками, у 2019 році **42 900 передчасних смертей і 953 500 років життя з поправкою на інвалідність (DALY)** були пов'язані з впливом PM_{2,5}. За даними GBD, це відповідає близько 10% всіх випадків захворюваності та смертності.

Погана якість повітря найчастіше впливає на **серцево-судинні захворювання** (ішемічна хвороба серця, інсульт), **респіраторні захворювання** (інфекції нижніх дихальних шляхів, хронічна обструктивна хвороба легень), **рак трахеї, бронхів і легень**, а також **цукровий діабет 2 типу** (джерело: GBD). Аналіз GBD було засновано на розрахункових відносних ризиках впливу PM_{2,5} та інших ключових детермінантів (куріння, фізичні вправи, окремі харчові звички та метаболічні фактори) на ці ключові результати. Співвідношення ризику було реалізовано в регресійній моделі для прогнозування частоти й поширеності шести станів, згаданих вище. У великих містах України, де якість повітря явно неоптимальна, **покращення якості повітря до рівня, що вважається «хорошим», могло б запобігти третині випадків усіх інсультів і випадків хронічної обструктивної хвороби легень.**

Економічна модель, заснована на моделі Солоу, доповненій людським капіталом, була розроблена для оцінки економічного впливу смертності та захворюваності, пов'язаних із забрудненням повітря. Основним результатом моделі є загальний річний валовий внутрішній продукт (ВВП) України, який розраховується на основі людського капіталу (пропорційно до робочої сили) і запасу фізичного капіталу. Модель була параметризована загальнодоступними даними GBD, Світового банку (<https://data.worldbank.org/>), таблицею Penn World Table (<https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en>) і базами даних Міжнародної організації праці (<https://ilostat.ilo.org/>). Майбутній прогноз із використанням цієї моделі показав, що постійне поступове поліпшення якості повітря, спрямоване на досягнення рекомендованого ВООЗ рівня до 2030 р., **забезпечить до 2035 р. близько 100 000 додаткових людино-років робочої сили.** Це відповідатиме збільшенню **обсягу виробництва майже на 3,5 млрд дол. США на рік до 2035 року.**

Цей аналіз має низку обмежень, особливо пов'язаних із продовженням конфлікту та його впливом на демографічний, медичний, екологічний та економічний розвиток України. Проте результати цього аналізу дають уявлення про масштаби та процеси того, як покращення якості повітря може вплинути на здоров'я людей, якість життя і, зрештою, на добробут. Сукупне зростання обсягу виробництва означає, що інвестиції у розмірі кількох млрд дол. США у досконаліші технології або інші способи суттєвого зниження забруднення можуть окупитися в найближчому майбутньому.



1. ВСТУП

За оцінками, забруднення повітря щорічно призводить до приблизно семи мільйонів смертей у всьому світі. (1) Забруднення повітря можна умовно розділити на дві основні категорії: забруднення навколишнього середовища та побутове забруднення, при цьому близько 4 млн смертей у всьому світі пов'язані з обома причинами. За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), 99% населення світу мешкає в районах, де якість повітря перевищує межі, встановлені керівними принципами ВООЗ. (2) У той час як побутове забруднення впливає переважно на людей, що живуть в умовах обмежених ресурсів, забруднення атмосферного повітря, значною мірою спричинене викидами промисловості та виробництва енергії, впливає на більшість регіонів світу.

Україна є однією з країн, яка найбільше постраждала від забруднення повітря в Європі. У 2017 р. середня річна дія атмосферних твердих частинок діаметром $<2,5$ мкм ($PM_{2,5}$) становила $20,3$ мкг/м³, займаючи 9-е місце в Європі за величиною. (3) Хоча існує широкий спектр джерел даних, пов'язаних із впливом забруднення повітря на здоров'я та інші наслідки, — ймовірно, найбільш повною з них є база даних «Глобальний тягар хвороб» (GBD) (4) — ці дані також мають кілька обмежень. Сам по собі атрибутивний фактор не означає, що пов'язаний з ним смертності та захворюваності можна було б запобігти, оскільки більшість станів здоров'я залежать від багатьох факторів через складну мережу причинно-наслідкових зв'язків; цей факт може таким чином переоцінити справжній рівень користі для здоров'я, який може бути досягнуто за допомогою втручань, спрямованих на покращення якості повітря. Оцінки на національному рівні не враховують географічну неоднорідність і можуть суттєво занижувати справжній тягар у промислово розвинених районах, особливо на Сході України. Важливо, що оцінки економічних наслідків забруднення не доступні у зведеній формі.

Метою цього проєкту є здійснення оцінки впливу на здоров'я та соціальних витрат, пов'язаних із забрудненням повітря у великих міських районах України, відповідно до Технічного завдання. Конкретні цілі полягають у такому:

- 1) вивчити поточну ситуацію із забрудненням повітря та кількісно визначити відносно навантаження на здоров'я, як у масштабах країни, так і, можливо, у різних регіонах України;
- 2) оцінити економічні збитки, пов'язані з погіршенням стану здоров'я внаслідок забруднення атмосферного повітря; і
- 3) зробити майбутні прогнози для здоров'я та економічного тягаря за різних сценаріїв, пов'язаних із втручанням у якість повітря.

У цьому проміжному звіті подано опис перших попередніх результатів і методів, які були розроблені. Розділи 2.1–2.4 є вступом в умови, концепції та методологію, що використовуються в цьому аналізі. Наступні розділи містять опис основних джерел даних (розділ 2.5), описовий аналіз якості повітря та пов'язаного з ним тягаря для здоров'я (розділ 3.1) і два інструменти: регресійну модель для розрахунку ризику виникнення проблем зі здоров'ям, пов'язаних із забрудненням повітря (розділ 3.2), та економічну модель для розрахунку економічних наслідків втрати здоров'я від забруднення повітря (розділ 3.3). Нарешті, у розділі 4 подано обговорення інтерпретації та потенційних обмежень аналізу.



2. КОНЦЕПЦІЇ ТА ДЖЕРЕЛА ДАНИХ

2.1 Якість повітря

Забруднення повітря визначається як забруднення внутрішнього чи зовнішнього середовища будь-яким хімічним, фізичним чи біологічним агентом, який змінює природні характеристики атмосфери. (1) Забруднення можна розділити на забруднення навколишнього середовища (що охоплює всі види забруднення, які виникають у відкритому просторі) та побутове забруднення. У той час як побутове забруднення продовжує залишатися серйозною проблемою, особливо в багатьох слаборозвинених регіонах, воно викликає меншу стурбованість у таких регіонах як Україна з відносно розвинутою інфраструктурою. Таким чином, це дослідження буде зосереджено переважно на забрудненні навколишнього середовища.

Забруднення навколишнього середовища складається з численних типів речовин, з яких, однак, найбільш важливими є тверді частинки й озон. Рівні твердих частинок вимірюються зазвичай з використанням концентрації частинок із діаметром нижче встановленої межі. Найчастіше використовуваними індексами є концентрації твердих частинок у навколишньому середовищі діаметром менше ніж 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) і діаметром менше ніж 10 мкм (PM_{10}). (5) У цьому дослідженні основну увагу буде приділено $PM_{2,5}$, хоча аналіз також може бути легко перетворений на інші показники, такі як PM_{10} або складовий індекс. Джерела частинок $PM_{2,5}$ різноманітні, включаючи як антропогенні (наприклад, використання твердого та рідкого палива в промисловості, електростанціях, транспорті й опаленні), так і природні (наприклад, лісові пожежі, виверження вулканів). (1,6) Завдяки мікроскопічним розмірам частинки $PM_{2,5}$ залишаються в повітрі протягом тривалого часу.

Якість повітря можна виміряти за допомогою одного показника, такого як концентрація $PM_{2,5}$ або складових показників, які враховують різні детермінанти якості повітря, включаючи $PM_{2,5}$, а також інші фактори. Наприклад, індекс якості повітря (AQI), що використовується у Сполучених Штатах, використовує 500-бальну шкалу залежно від концентрації твердих частинок, приземного озону, окису вуглецю, двоокису сірки та двоокису азоту. (7) AQI поділяються на шість рівнів: зелений (хороший), жовтий (помірний), помаранчевий (нездоровий для чутливих груп), червоний (нездоровий), фіолетовий (дуже нездоровий) і темно-бордовий (небезпечний; **Таблиця 1**). Хоча в різних країнах були розроблені та прийняті інші шкали, у цьому дослідженні буде прийнята класифікація відповідно до AQI через її широке застосування та сумісність із прямими показниками, такими як $PM_{2,5}$.

Таблиця 1. Рівні небезпеки для здоров'я, пов'язані з якістю повітря, відповідно до індексу якості повітря (AQI) Агентства з охорони навколишнього середовища США. У таблиці показані рівні небезпеки для здоров'я та відповідні діапазони концентрації твердих частинок у навколишньому середовищі діаметром <2,5 мкм ($PM_{2,5}$) та показник AQI.

Показник $PM_{2,5}$ (мкг/м ³)	AQI	Рівень небезпеки для здоров'я
0.0-12.0	0-50	Хороший
12.1-35.4	51-100	Помірний
35.5-55.4	101-150	Нездоровий для чутливих груп
55.5-150.4	151-200	Нездоровий
150.5-250.4	201-300	Дуже нездоровий
250.5-	301-500	Небезпечний

2.2 Тягар хвороби

Тягар здоров'я зазвичай вимірюється у роках життя з поправкою на інвалідність (DALY). DALY – це концепція, яка об'єднує втрачене життя через передчасну смерть і життя, прожите з інвалідністю або іншим станом, що серйозно впливає на здатність брати участь у житті суспільства і робити свій внесок. Коротко, DALY визначається як сума *втрачених років життя* (YLL) та *років життя, прожитих з інвалідністю* (YLD).⁽⁸⁾ YLL розраховується як різниця фактичного часу смерті та максимально можливої тривалості життя людини в цьому віці у цій країні. Останній визначається з використанням оцінок на рівні країни з прогнозів World Population Prospect на 2050 рік. YLD визначається шляхом множення тривалості життя, прожитого з певним станом здоров'я, на ваговий коефіцієнт інвалідності, що відображає тяжкість захворювання.

У цьому проєкті DALY будуть використовуватися разом із кількістю передчасних смертей і показниками, характерними для хвороби (захворюваність, поширеність), як основних показників тягара для здоров'я. Крім того, компоненти DALY (YLL та YLD) будуть використовуватися як вхідні параметри економічної моделі, де вони використовуються як замітники втраченого та/або потенційно отриманого внеску в робочу силу.

2.3 Моделювання та прогнозування показників здоров'я

Хоча саме дослідження «Глобальний тягар хвороб» містить складну статистичну модель, воно має низку обмежень, які потребують застосування спрощеного підходу в цьому дослідженні. Моделі GBD містять лише оцінки на національному рівні та не можуть описати національну мінливість і потенційно величезний тягар у сильно постраждалих промислових районах України, а також у такій географічно великій і неоднорідній країні, як Україна. Крім того, оскільки деякі райони країни нині є зоною бойових дій, достовірність даних важко встановити. З метою запобігання проблемам зі здоров'ям, пов'язаним із забрудненням повітря, може виявитися корисним спрощений підхід, зосереджений тільки на ключових та/або запобіжних супутніх факторах.

Тому була створена статистична основа для оцінки та прогнозування умов, найбільш сильно пов'язаних із забрудненням повітря. З цією метою було проаналізовано дані з бази даних «Глобальний тягар хвороб» для виявлення станів здоров'я, на які істотно впливає якість повітря, а також інші супутні фактори, пов'язані з цими захворюваннями. Проста модель лінійної регресії, що включає лише вік (розділений на 5-річні діапазони) і стать як супутні фактори, спочатку узгоджується з даними про поширеність і захворюваність для кожного виявленого стану здоров'я. Потім модель коригується шляхом включення інших супутніх змінних з використанням відносних ризиків бази даних GBD. Відносні ризики конвертуються у коефіцієнти регресії; оскільки очікується, що стани здоров'я, про які йдеться, будуть досить рідкісними, можна оцінити, що відносні ризики та відносини шансів також досить близькі один до одного. Умови взаємодії між віком, статтю та іншими супутніми змінними включені, якщо це передбачається в даних GBD і, якщо це можливо, згідно з наявними даними. Вихідні коефіцієнти для віку і статі потім коригуються так, щоб загальна захворюваність або поширеність стану, що спостерігається, могла бути відтворена з використанням повної моделі. Повну модель можна подати у звичайному вигляді:

$$\log Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} X_i X_j$$

де Y – результат, який нас цікавить (захворюваність або поширеність цільового стану здоров'я), β_i і β_{ij} – коефіцієнти регресії окремих змінних та їх взаємодій, відповідно, а X_i – безперервні змінні, які можуть бути або безперервними, або категоріальними. У цьому дослідженні якість повітря (вимірювана

за середньої концентрації $PM_{2.5}$) завжди розглядалася як безперервна змінна; інші змінні були дихотомізовані допустимим чином або фіктивні змінні. Що ж до віку, то враховувалися лише категорії від 15 років і більше, тому діти молодше 15 років не враховувалися під час аналізу.

Отримані моделі застосовувалися до різних ситуацій. Моделі застосовувалися на 2022 рік в окремих містах України з використанням чисельності місцевого населення та середньої концентрації $PM_{2.5}$. Включено десять найбільших міст на територіях, підконтрольних уряду України станом на 2021 рік; міста, за якими дані щодо якості повітря були відсутні або були недостатніми, були виключені. Досягнє відносне зниження захворюваності та поширеності було розраховане для кожного міста у припущенні, що середня концентрація $PM_{2.5}$ може бути знижена до встановленого цільового значення (з використанням порогових значень класифікації AQI як цільових показників). В аналізі на національному рівні річна захворюваність і поширеність кожного захворювання були оцінені для періоду 2022–2035 р.р., припускаючи, що або середнє значення $PM_{2.5}$ залишиться постійним, або поступове зниження до встановленого цільового значення (15, 10 або 5 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$) буде досягнуто до 2030 року. Результати цього прогнозу поширеності також використовувалися як вихідні дані для економічного аналізу, поданого в наступному розділі.

2.4 Економічні прогнози

Підхід до людського капіталу широко використовується як метод для моделювання зростання економіки регіону. Він припускає, що людський капітал, тобто внесок робочої сили, скоригований з урахуванням рівня освіти, діє як фактор економічного зростання країни.⁽⁹⁾ Таким чином, цей метод можна використовувати для кількісної оцінки втрат продуктивності через хворобу в економічному плані.

У цьому проєкті застосовуватиметься модель Солоу, доповнена людським капіталом, запропонована Аркандом і його колегами.⁽¹⁰⁾ Економічний продукт країни Y_t на рік t може бути визначений відповідно до виробничої функції Кобба-Дугласа⁽¹¹⁾ як:

$$Y_t = \gamma A_t K_t^\alpha (H_t L_t)^\beta$$

де K_t – фізичний капітал (що включає інфраструктуру, обладнання та інші фізичні запаси), L_t – робоча сила (пропорційна кількості дорослих, що беруть участь в економічному житті, з поправкою на вікову групу, досвід і рівень освіти), H_t – індекс людського капіталу (коефіцієнт на рівні країни, що відображає кваліфікацію та продуктивність робочої сили країни), і A_t – загальна факторна продуктивність (TFP), яка використовується для пояснення економічного зростання, не пов'язаного ні з фізичним, ні з людським капіталом (який може, наприклад, відображати загальний технологічний розвиток). Коефіцієнт γ є константою, яка використовується для коригування одиниць вимірювання у формулі; а показники ступеня α та β є параметрами еластичності, які, по суті, показують взаємозв'язок між зростанням капіталу та вихідним результатом. У цьому дослідженні застосовується умова $\alpha + \beta = 1$, тобто вихідний результат завжди зростатиме з тією самою швидкістю, як і добуток двох вхідних даних. Тому достатньо використовувати лише один параметр α і його доповнення $1 - \alpha$.

Можна припустити, що TFP розвивається з часом, тобто її можна змоделювати як $A_t = A_0 e^{gt}$, де A_0 – TFP у перший рік моделі, а g – коефіцієнт постійного зростання. Щороку вартість існуючого фізичного капіталу амортизується за ставкою δ (передбачається, що вона є постійною в часі). Частина річного вихідного результату (при постійній нормі економії s) зберігається та переміщується у фізичний капітал наступного року. З іншого боку, людський капітал залежить від здоров'я населення. Нескладно включити в модель компонент втручання в охорону здоров'я, де частина річної продукції інвестується в охорону здоров'я і відповідно збільшується робоча сила в наступні роки.

Вхідні дані регресійної моделі, описаної в попередньому розділі, використовувалися як вхідні дані для економічної моделі. Дані про поширеність у кожному сценарії були перетворені на втрачене здоров'я шляхом розрахунку для кожної статево-вікової групи співвідношення смертей на один поширений випадок і YLD на один поширений випадок. Використовуючи цей підхід, попереджені втрати робочої сили були отримані з додаткових випадків смертей, яким вдалося запобігти, та YLD між сценаріями.

2.5 Основні джерела даних

Основним джерелом даних для цього проєкту є база даних «Глобальний тягар хвороб» (GBD). (4) Підтримувана Інститутом показників та оцінки здоров'я (IHME), база даних GBD містить щорічні оцінки DALY, їх компонентів та похідних за статево-віковою групою у всіх країнах світу, починаючи з 1990 р. Набір даних включає загалом 297 різних причин втрати здоров'я, включаючи неінфекційні, інфекційні та материнські/неонатальні захворювання (класифіковані відповідно до 10-ї версії Міжнародної статистичної класифікації хвороб та проблем, пов'язаних зі здоров'ям [ICD-10]) і травми. Крім безпосередніх причин, база даних GBD містить оцінки присвоєння загалом 87 факторів ризику, серед яких три джерела забруднення повітря – забруднення повітря твердими частинками, побутове забруднення від спалювання твердого палива і забруднення повітря озonom. (12) Атрибуція оцінюється за допомогою додаткової частки популяційного ризику (PAF): DALY, пов'язані з різними причинами, можуть у сумі перевищувати загальні DALY, оскільки на більшість безпосередніх причин впливає більш ніж один фактор ризику, які, у свою чергу, можуть бути причиново пов'язані один з одним. База даних також містить доступ до вхідних параметрів. До них належать розрахункові відносні ризики всіх чинників ризику, і навіть коефіцієнти непрацездатності з кожної причини.

В Україні явна більшість (93%) усіх втрат здоров'я, пов'язаних із забрудненням повітря, пов'язана з впливом зважених твердих частинок (APM). (4) Через додатковий факт, що концентрація APM (з використанням загальнодоступних показників, таких як $PM_{2.5}$ або PM_{10}) може бути зібрана з різних джерел даних, результати цього звіту обмежені результатами, пов'язаними з APM. На вплив побутового забруднення повітря та/або атмосферного озону можна реагувати аналогічно, однак їхній вплив на загальну ситуацію в контексті України є незначним порівняно з впливом APM.

Актуальні дані щодо якості повітря в режимі реального часу доступні з кількох джерел. SaveEcoBot регулярно збирає дані про якість повітря в різних місцях України. (13) Вимірювання проводяться на 283 станціях, розташованих у 134 різних містах або селищах, які охоплюють більшу частину країни. Для кожного місця вимірювання розраховуються такі показники: вплив $PM_{2.5}$, PM_{10} , температура, вологість, тиск повітря та індекс якості повітря. Дані в режимі реального часу, а також історичні дані доступні з проєкту «Світовий індекс якості повітря», який охоплює велику кількість станцій, розташованих у різних частинах України. (14) Також доступні історичні дані про вимірювання $PM_{2.5}$ і PM_{10} , в основному за період, що починається з середини 2019 року, хоча дані мають деякі прогалини, особливо в 2021 році. Ці дані були зібрані для поточного аналізу.

Дані про населення доступні через програмний інтерфейс Spectrum/DemProj. (15) Модель містить дані про населення України, стратифіковані за віком та статтю, а також прогнози на майбутнє. Чисельність населення для кожного міста було взято з бази даних національного перепису населення України. (16) Інші супутні фактори (такі як куріння, певні метаболічні фактори та дієтичні звички) були отримані з різних джерел: дієтичні фактори були отримані з даних Глобальної бази даних про харчування; (17) метаболічні фактори ризику та фактори фізичних вправ – з бази даних Глобальної обсерваторії охорони здоров'я ВООЗ; (18) та дані Програми демографічного та медичного обстеження (DHS) (19), що включають одне дослідження, проведене в Україні у 2007 р., для визначення поширеності куріння у кожній віковій групі.



3. РЕЗУЛЬТАТИ

3.1 Огляд тягаря забруднення повітря та його впливу на здоров'я в Україні

За даними Світового банку, середньорічний вплив $PM_{2.5}$ в Україні у 2017 році становив 20,3 мкг/м³. (3) В останні роки вплив має тенденцію до помірнього зниження з 24,0 мкг/м³ у 2011 році. Хоча це значення знаходиться на рівні, порівнянному з багатьма іншими європейськими країнами, воно все ж явно вище за порогове значення, рекомендоване ВООЗ, яке становить 5 мкг/м³, за додаткової умови, що середньодобове значення не повинно перевищувати 15 мкг/м³ більше ніж 3 або 4 дні на рік. (2) В Україні все населення (100%) піддається впливу концентрацій $PM_{2.5}$ вище за порогове значення ВООЗ. На протигагу цьому, у всьому регіоні Європи та Центральної Азії ця частка оцінюється у 85,1% (2017 р.), низившись з 94% у 2011 р.

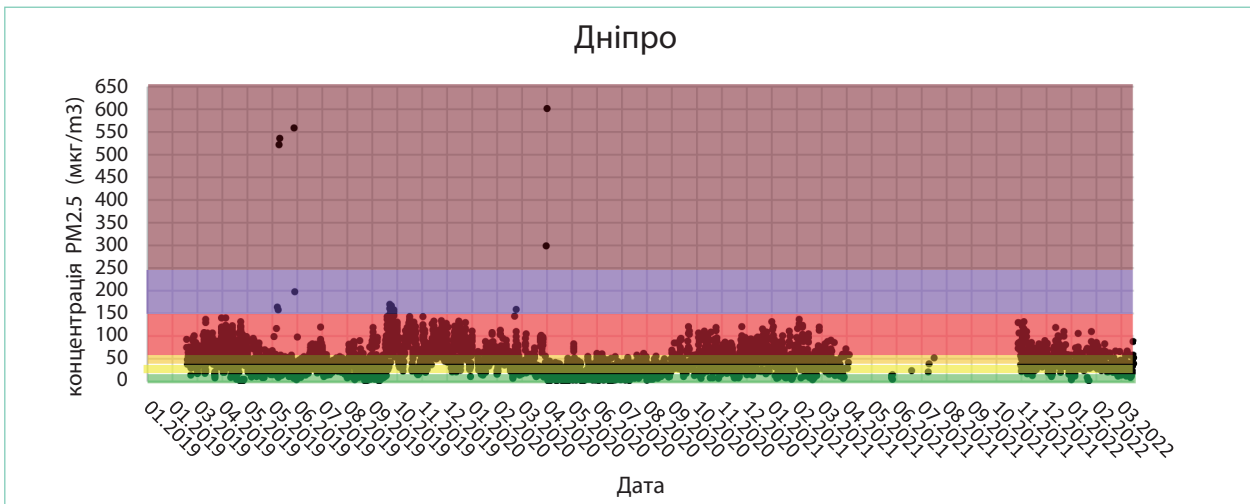
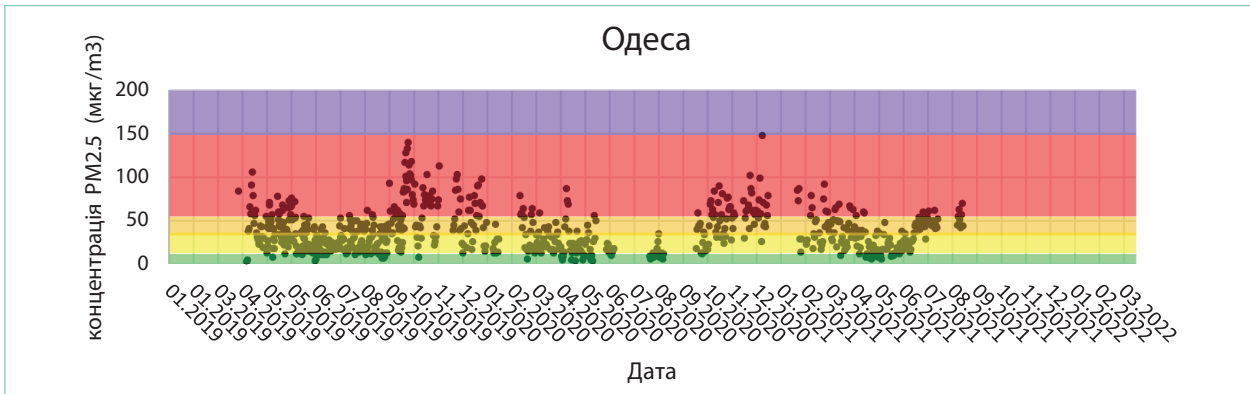
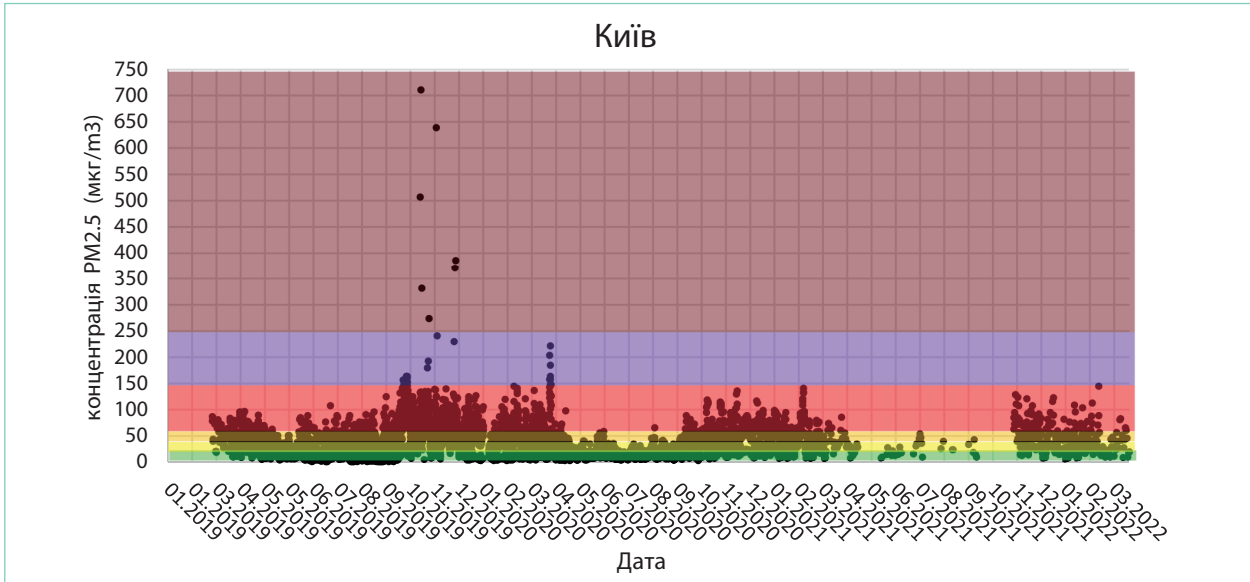
У семи з десяти найбільших міст були доступні історичні дані про якість повітря за період з 2019 р. до початку 2022 р. Найбільша кількість станцій вимірювання була у Києві (n=13) та Дніпрі (n=16); іншими містами з даними були Одеса, Запоріжжя, Львів, Кривий Ріг та Маріуполь. На жаль, у більшості міст була прогалина у даних або влітку 2021 р., або взимку 2021-2022 р.р.; проте за 2019–2020 р.р. дані були відносно повними. Набір даних також містить спостереження з інших місць в Україні, які можна отримати, включаючи невеликі міста й окремі села чи інші поселення.

Середні значення розраховувалися у два етапи: спочатку розраховувалися середні значення за кожний календарний місяць (об'єднання років), а потім середні значення за 12 місяців. Цей метод використовувався для зменшення систематичної помилки, яка може бути викликана відсутністю даних, оскільки очікується, що якість повітря відрізнятиметься залежно від сезону. Найвищі середні значення, які спостерігалися у Львові (61,8 мкг/м³) та Маріуполі (60,5 мкг/м³); однак ці оцінки необхідно інтерпретувати з обережністю, оскільки ці два міста мали найменшу кількість даних. Київ мав найнижче середнє значення (39,5 мкг/м³). Значення нездорової категорії (червоний; >55,5 мкг/м³) зазвичай вимірювалося у всіх містах протягом року. У Запоріжжі та Кривому Розі концентрація також регулярно перевищувала значення 150 мкг/м³ (поріг для дуже нездорової/фіолетової категорії) у зимові місяці (**Рис. 1**).

Згідно з даними GBD, кількість смертей та DALY, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища твердими частинками, збільшилася на початку 1990-х років, досягнувши максимальної кількості у 85 000 смертей, пов'язаних з АРМ, і 2,0 мільйона DALY, пов'язаних з АРМ. З того часу вплив забруднення повітря на здоров'я поступово знижувався: у 2019 році кількість смертей та DALY, пов'язаних з впливом АРМ, склала 42 900 та 953 500, відповідно. Загалом щорічна смертність (від усіх причин) в Україні була відносно стабільною від 500 000 до 600 000, а річний показник DALY – близько 11–12 мільйонів. Це означає, що в середині 1990-х років п'ята частина всіх смертей та DALY була пов'язана із забрудненням повітря. Нині ця частка знизилася приблизно до 10%.

Більше ніж у половині смертей, пов'язаних з АРМ, та DALY безпосередньою причиною була ішемічна хвороба серця – це відповідає 29 000 смертей і 593 700 DALY (**Таблиця 2**). Іншими основними прямими причинами були інсульт, хронічна обструктивна хвороба легень, рак трахеї, бронхів та легень. Низка інших супутніх чинників впливає на захворюваність і поширеність згаданих вище станів. Ймовірно, найбільш актуальним є куріння, яке є добре відомим фактором, що визначає підвищений ризик серцево-судинних захворювань, раку легень і респіраторних захворювань. Інші фактори способу життя

також значною мірою сприяють захворюваності та поширеності цих захворювань в Україні. Наприклад, встановлено, що серцево-судинні захворювання пов'язані з низкою дієтичних факторів; ці детермінанти, у свою чергу, ймовірно, тісно пов'язані з такими факторами, як широко розповсюджене використання свинячого сала та рівень ожиріння 24,1% в Україні, який є одним із найвищих у Європі. (18) **Рис. 2** показує як приклад додаткову частку популяційного ризику всіх факторів ризику ішемічної хвороби серця. Внесок забруднення повітря явно менший, ніж вплив харчових факторів або куріння, але все ж таки залишається на помітному рівні. Метаболічні фактори, особливо високий кров'яний тиск, роблять найбільший внесок серед усіх факторів, проте можна очікувати, що вони принаймні певною мірою перебувають у причиново-наслідковому зв'язку з іншими факторами ризику та вихідним результатом.



(Продовження на наступній сторінці)

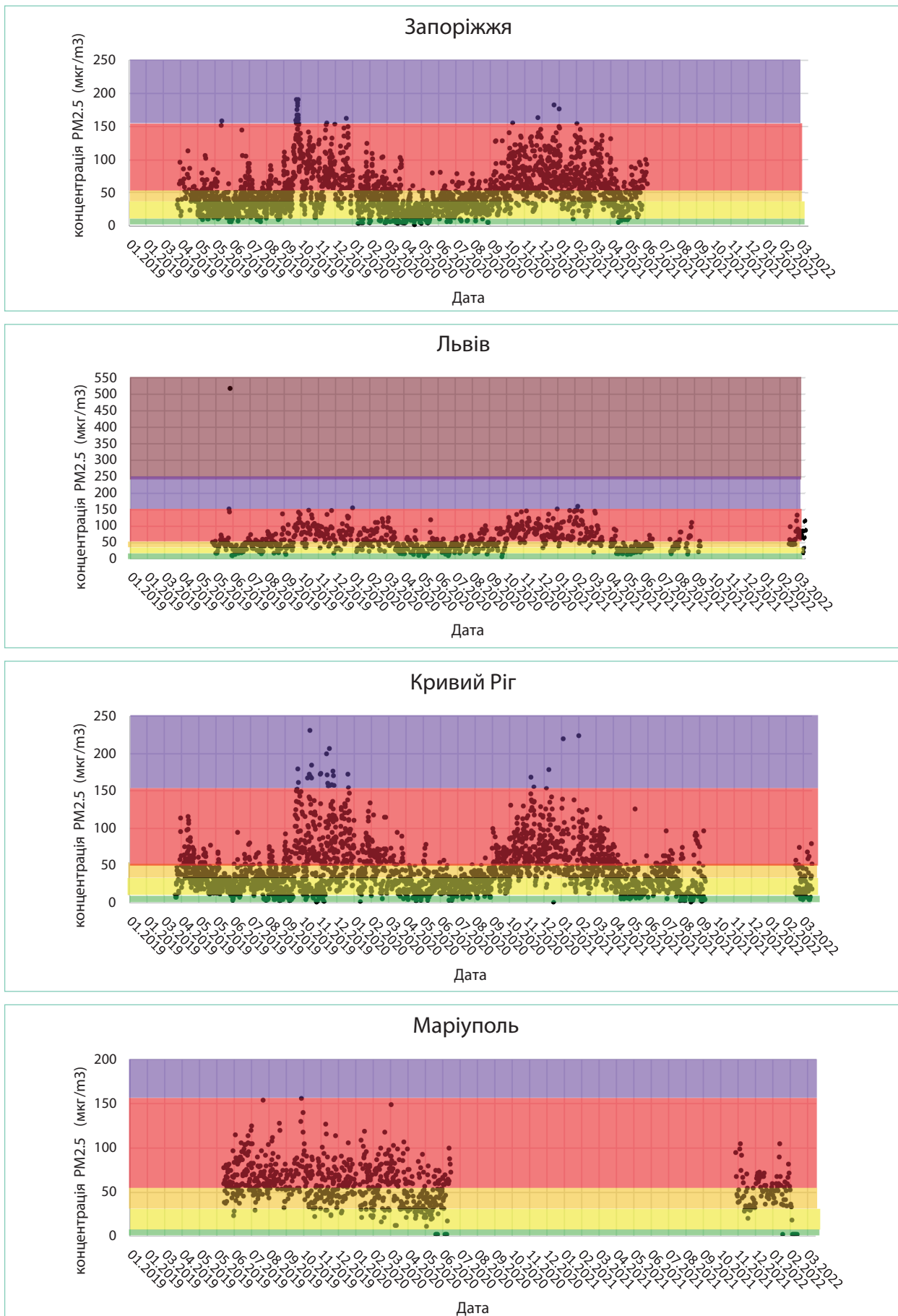


Рисунок 1. Концентрація твердих частинок діаметром <2,5 мкм ($PM_{2.5}$) у семи обраних містах України. Дані були зібрані з усіх доступних вимірювальних станцій у відповідних містах на платформі історичних даних щодо якості повітря (14). Кольори стосуються класифікації Індексу якості повітря (див. Таблицю 1).

Таблиця 2. Смертність і DALY, пов'язані з впливом атмосферних твердих частинок діаметром <2,5 мкм внаслідок прямої причини у 1995, 2010 та 2019 роках.

	Смертність			DALYs		
	1995	2010	2019	1995	2010	2019
Ішемічна хвороба серця	37 731	36 830	29 464	808 556	728 000	593 684
Інсульт	20 490	12 686	9 644	466 244	286 607	227 745
Хронічне обструктивне захворювання легень	4 919	1 556	1 089	118 013	39 603	27 260
Цукровий діабет 2 типу	564	334	300	38 185	36 412	30 797
Рак трахеї, бронхів та легень	4 420	1 924	1 716	123 772	49 773	45 497
Інші неінфекційні захворювання	3	1	1	281	123	65
Інфекції нижніх дихальних шляхів	875	670	621	32 373	22 697	21 268
Інші інфекційні захворювання	7	1	1	640	138	69
Неонатальні розлади	254	146	80	22 568	13 003	7 118
Загалом	69 261	54 150	42 916	1 610 631	1 176 356	953 502

DALY, рік життя з поправкою на інвалідність

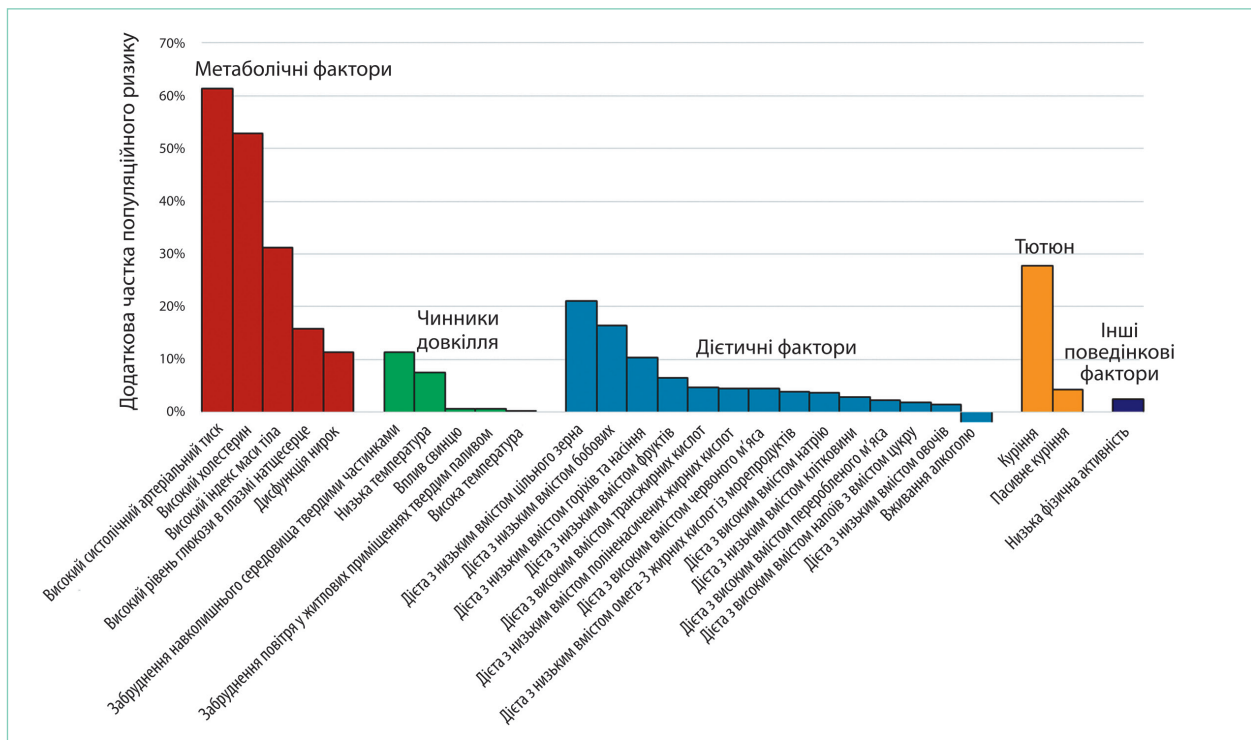


Рис. 2. Фактори ризику, що впливають на кількість років життя з поправкою на інвалідність, втрачених через ішемічну хворобу серця у 2019 р.: додаткова частка популяційного ризику.

3.2 Модель здоров'я

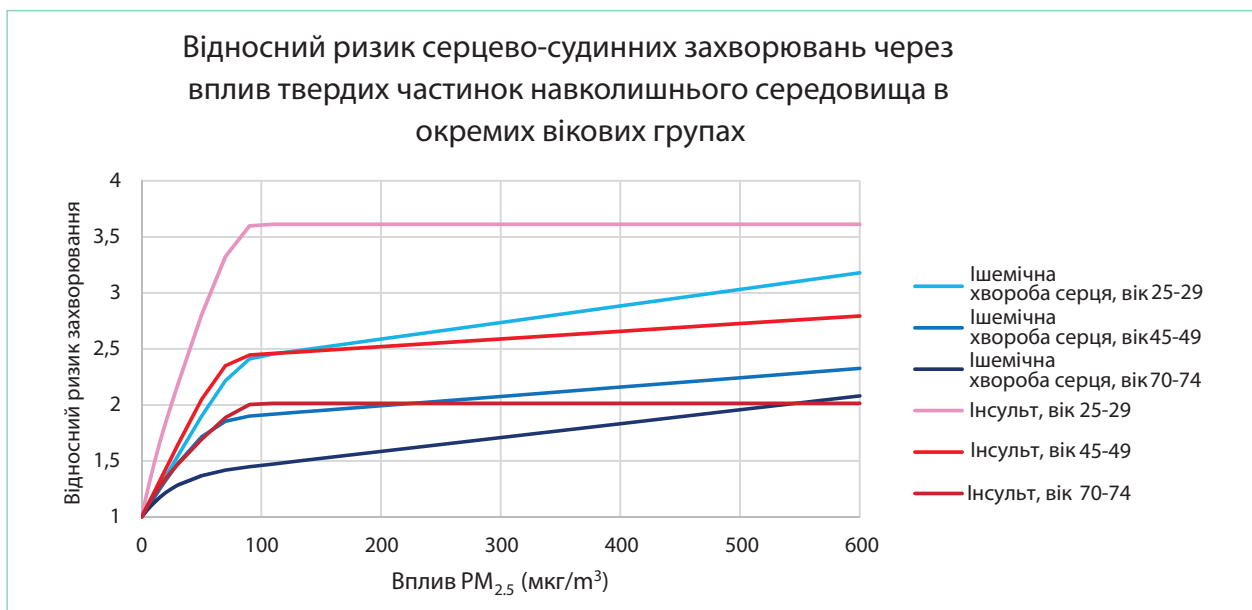
По суті забруднення атмосферного повітря впливає на здоров'я населення, збільшуючи ризик різних захворювань, які, у свою чергу, виступають безпосередніми причинами захворюваності та смертності. Як описано в попередньому розділі, захворювання та стани, тісно пов'язані з впливом забруднення повітря, включають серцево-судинні захворювання (серцеві захворювання, інсульт), респіраторні

захворювання та рак легенів. (4) Щоб оцінити вплив забруднення повітря та потенціал профілактики, необхідно оцінити частоту виникнення таких станів і вплив забруднення повітря, а також інших факторів на нього.

Було створено моделі для наступних шести станів здоров'я, з якими, як було показано, пов'язане забруднення довкілля твердими частинками: ішемічна хвороба серця; інсульт; хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ); інфекції нижніх дихальних шляхів; рак трахеї, бронхів та рак легень; і цукровий діабет 2 типу. Відносні ризики дослідження GBD були проаналізовані графічно для перевірки лінійності та необхідності функції перетворення (**Рис. 3**). Ми розглянули значення до концентрації $PM_{2.5}$ у розмірі 150; хоча значення вище цього рівня іноді спостерігаються в Україні, середньорічні значення явно нижчі від такого порогового значення, і поведінка траєкторії з вищими значеннями стає нерелевантною для функціональності моделі.

Для ХОЗЛ, інфекцій нижніх дихальних шляхів та цукрового діабету 2 типу повідомляється про окремий відносний ризик, застосовний до всіх статево-вікових груп. Після побудови графіка відносних ризиків залежно від концентрації $PM_{2.5}$ зв'язок для ХОЗЛ був приблизно лінійним, що виправдовує використання концентрації $PM_{2.5}$ безпосередньо як змінну безперервної регресії. Для інфекцій нижніх дихальних шляхів спостерігалася спадна крива, яка приблизно відповідала функції квадратного кореня; тому для інфекцій нижніх дихальних шляхів було зроблено вибір на користь використання концентрації $PM_{2.5}$ з перетворенням квадратного кореня на регресійну модель. Те саме було зроблено для раку легень. Для ішемічної хвороби серця та інсульту відносні ризики представлені для кожної 5-річної вікової групи, починаючи з 25-29 років та закінчуючи 95+ роками. Перетворення з показником ступеня 0,7 дало відносно хорошу лінійність для обох захворювань і всіх вікових груп, хоча різниця між віковими групами існувала. Вікові відносні ризики враховуватимуться у моделі з використанням умов взаємодії. Для діабету (тип 2) логарифмічне перетворення призвело до досить лінійної кривої.

Куріння було найважливішим супутнім фактором, пов'язаним з усіма шістьма захворюваннями. Ми спростили змінну, щоб врахувати лише частку постійних курців у кожній статево-віковій групі населення, і використовували відносний ризик викурювання 20 сигарет на день. Також були включені терміни взаємодії з віком та статтю. На ішемічну хворобу серця, інсульт і цукровий діабет типу 2 також впливав ряд інших змінних, включаючи фактори харчування, метаболічні фактори та фізичні вправи. У **Таблиці 3** представлені співфактори, включені у кожну модель. Деякі дієтичні та метаболічні фактори були виключені через недостатність даних; та умови взаємодії дієтичних факторів з віком не враховувалися, оскільки відносні ризики були відносно близькими до значення за замовчуванням, а вікові дані були недоступні.



(Продовження на наступній сторінці)

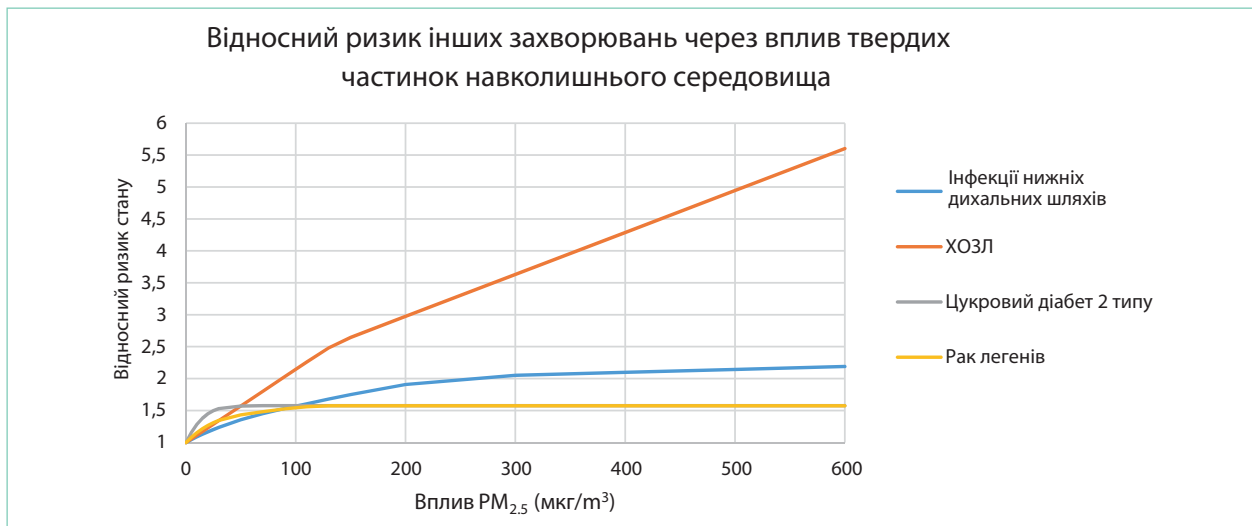


Рисунок 3. Відносний ризик серцево-судинних захворювань (верхня панель) та інших станів (нижня панель). Джерело: вихідна база даних «Глобальний тягар хвороб» (4). Для серцево-судинних захворювань відносні ризики надано для 5-річних вікових груп від 25 років і старше (для ясності показано лише три вікові групи). ІНД, ішемічна хвороба серця; ХОЗЛ, хронічна обструктивна хвороба легень; $PM_{2.5}$ концентрація твердих частинок діаметром <2,5 мкм. Примітка: рак легенів включає також рак трахеї та бронхів.

Таблиця 3. Співфактори, включені до регресійних моделей для кожного результату щодо здоров'я. Так = змінна включена; **A** = термін взаємодії з віком включено; **S** = термін взаємодії зі статтю включено.

	ІНД	Інсульт	ХОЗЛ	Нижні дих.	Рак легенів	Цукровий діабет 2 типу	Джерело поширеності
Вік	так	так	так	так	так	так	(16)
Стать	так	так	так	так	так	так	(16)
$PM_{2.5}$	так ^a A	так ^a A	так	так ^b	так ^b	так ^c	(3,14)
Куріння	так AS	так AS	так	так	так	так	(19)
Фізична бездіяльність	так	так				так	(18)
Дієта з низьким вмістом фруктів	так	так			так	так	(17)
Дієта з низьким вмістом овочів	так	так					(17)
Дієта з низьким вмістом цільного зерна	так	так				так	(17)
Дієта з низьким вмістом горіхів/насіння	так	так				так	(17)
Дієта з високим вмістом червоного м'яса	так	так				так	(17)
Дієта з високим вмістом переробленого м'яса	так	так				так	(17)
Дієта з високим вмістом напоїв з вмістом цукру	так	так				так	(17)
Дієта з низьким вмістом клітковини	так	так				так	(17)
Дієта з низьким вмістом омега-3 жирних кислот із морепродуктів	так	так					(17)
Дієта з низьким вмістом бобових	так	так					(17)
Високий рівень глюкози у плазмі	так	так					(18)
Високий рівень холестерину LDL	так	так					(18)
Високий систолічний артеріальний тиск	так	так					(18)
Високий BMI	так	так				так	(18)

ІНД, ішемічна хвороба серця; ХОЗЛ, хронічне обструктивне захворювання легень; Нижні дих. = інфекції нижніх дихальних шляхів; $PM_{2.5}$ концентрація твердих частинок діаметром <2,5 мкм; LDL, ліпопротеїн низької густини; BMI, індекс маси тіла
^aСтупеневе перетворення з показником ступеня 0,7; ^bПеретворення квадратного кореня; ^cЛогарифмічне перетворення.

У **Таблиці 4** показано частоту (в абсолютних числах) шести станів у семи змодельованих містах з використанням даних про населення 2022 року. Сценарії відповідають поточному рівню $PM_{2.5}$ та найвищим пороговим значенням помаранчевої (нездоровий для певних груп), жовтої (помірний) і зеленої (хороший) категорій. У відносному вираженні найбільший потенціал зниження захворюваності буде в інсульту (зниження $PM_{2.5}$ до хорошого рівня, що запобігає від 21% до 33% нових випадків) та ХОЗЛ (що запобігає від 21% до 34% нових випадків). Це відповідає, наприклад, запобіганню у Києві близько 2200 випадків інсультів і 1700 випадків ХОЗЛ на рік. Абсолютне зниження було найбільшим для інфекцій нижніх дихальних шляхів, які мають найвищу захворюваність серед шести захворювань. Зниження до помірнього рівня буде запобігати близько 2500 випадків респіраторних інфекцій у Києві; та, наприклад, у Запоріжжі абсолютне зниження було ще більшим (2800 випадків), незважаючи на набагато меншу чисельність населення. Зниження до хорошого рівня запобігло б >20 000 випадків у Києві. Результати щодо поширеності аналогічні, оскільки більшість коефіцієнтів регресії (за винятком віку та статі) були такими ж, як і для захворюваності.

Довгострокові прогнози показано на **Рис. 4**. Вони показують, як поступове збільшення до цільового рівня VOO_3 у 5 мкг/м^3 може знизити щорічну захворюваність на інсульт й інфекції нижніх дихальних шляхів більше ніж на 10% протягом наступного десятиліття. Навпаки, користь від запобігання раку легень мінімальна, оскільки на цей стан сильно впливає куріння.

Таблиця 4. Прогноз нових випадків захворювання на шість включених станів здоров'я в окремих містах України за рік. Значення засновані на ситуації у 2022 році. Вихідний рівень: вплив $PM_{2.5}$, як у даних; інші сценарії: вплив $PM_{2.5}$ знизився до заданого рівня.

	Київ	Одеса	Дніпро	Запоріжжя	Львів	Кривий Ріг	Маріуполь
Населення	2 962 180	1 015 826	983 515	722 713	753 827	615 492	452 542
Ішемічна хвороба серця							
Базовий рівень	10 367	3 596	3 661	2 811	3 088	2 277	1 838
$PM_{2.5} < 55.5 \text{ мкг/м}^3$	-	-	-	-	2 956	-	1 775
$PM_{2.5} < 35.5 \text{ мкг/м}^3$	10 047	3 446	3 336	2 451	2 557	2 088	1 535
$PM_{2.5} < 12.0 \text{ мкг/м}^3$	8 185	2 807	2 718	1 997	2 083	1 701	1 250
Інсульт							
Базовий рівень	8 382	2 911	2 987	2 314	2 573	1 856	1 528
$PM_{2.5} < 55.5 \text{ мкг/м}^3$	-	-	-	-	2 438	-	1 464
$PM_{2.5} < 35.5 \text{ мкг/м}^3$	8 097	2 777	2 688	1 976	2 061	1 682	1 237
$PM_{2.5} < 12.0 \text{ мкг/м}^3$	6 650	2 281	2 208	1 623	1 692	1 382	1 016
Хронічне обструктивне захворювання легень							
Базовий рівень	8 382	2 911	2 987	2 314	2 573	1 856	1 528
$PM_{2.5} < 55.5 \text{ мкг/м}^3$	8 382	2 911	2 987	2 314	2 438	1 856	1 464
$PM_{2.5} < 35.5 \text{ мкг/м}^3$	8 097	2 777	2 688	1 976	2 061	1 682	1 237
$PM_{2.5} < 12.0 \text{ мкг/м}^3$	6 650	2 281	2 208	1 623	1 692	1 382	1 016
Інфекції нижніх дихальних шляхів							
Базовий рівень	171 546	59 145	58 604	43 918	46 839	36 575	28 017
$PM_{2.5} < 55.5 \text{ мкг/м}^3$	171 546	59 145	58 604	43 918	45 972	36 575	27 598
$PM_{2.5} < 35.5 \text{ мкг/м}^3$	168 995	57 954	56 110	41 231	43 006	35 114	25 818
$PM_{2.5} < 12.0 \text{ мкг/м}^3$	151 239	51 865	50 215	36 899	38 488	31 425	23 105
Рак трахеї, бронхів і легенів							
Базовий рівень	1 265	434	421	310	325	264	195
$PM_{2.5} < 55.5 \text{ мкг/м}^3$	1 265	434	421	310	324	264	194
$PM_{2.5} < 35.5 \text{ мкг/м}^3$	1 262	433	419	308	321	262	193
$PM_{2.5} < 12.0 \text{ мкг/м}^3$	1 245	427	413	304	317	259	190
Цукровий діабет 2 типу							
Базовий рівень	5 463	1 881	1 852	1 379	1 459	1 157	874
$PM_{2.5} < 55.5 \text{ мкг/м}^3$	5 463	1 881	1 852	1 379	1 442	1 157	865
$PM_{2.5} < 35.5 \text{ мкг/м}^3$	5 399	1 852	1 793	1 317	1 374	1 122	825
$PM_{2.5} < 12.0 \text{ мкг/м}^3$	4 809	1 649	1 597	1 173	1 224	999	735

$PM_{2.5}$ концентрація твердих частинок діаметром <2,5 мкм

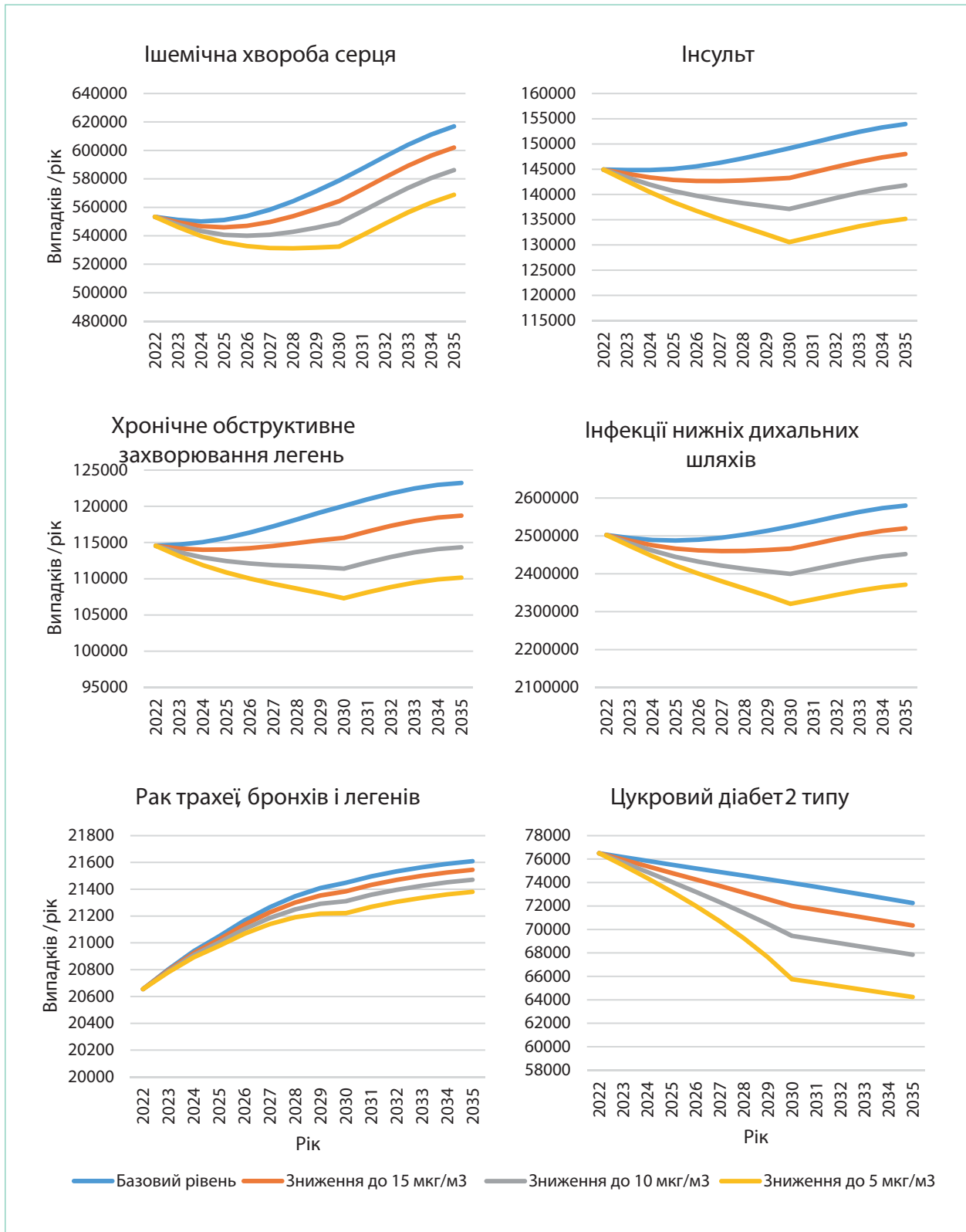


Рисунок 4. Прогноз нових випадків шести станів здоров'я на рік в Україні за чотири сценаріями. Базовий рівень = концентрація твердих частинок діаметром <2,5 мкм (PM_{2,5}) залишається на середньому рівні (20,3 мкг/м³). Зниження PM_{2,5} до заданих рівнів здійснюється поступово протягом періоду 2022-2030 рр., після чого значення залишиться незмінним. Зауважте, що шкала по осі Y не починається з нуля.

3.3 Економічна модель

Економічна модель слідує моделі Солоу, доповненій людським капіталом, описаній у розділі 2.3. Модель складається з інструменту електронної таблиці Excel, заснованого на аналізі, раніше проведеному для оцінки тягаря ТВ в регіоні Західної частини Тихого океану. (20) Цей інструмент безпосередньо реалізований на основі моделі, розробленої Аркандом та іншими, (10) в якому оцінювалися економічні наслідки загального охоплення послугами охорони здоров'я в окремих країнах.

Модель може застосовуватися для довільного періоду часу (включаючи минулі та майбутні прогнози). У цьому проєкті моделі дані показані за період з 2015 р. до 2035 р., відповідно до прогнозів моделі охорони здоров'я. Загальний ВВП України (у номінальному вираженні у дол. США) суттєво скоротився зі 190,5 млрд дол. США у 2013 році до 91,0 млрд дол. США у 2015 році, очевидно, під впливом конфлікту на сході України та погіршення торгівлі з Росією, яка до цього була основним торговим партнером. (23) Однак з 2015 р. ВВП зростає, досягнувши 155,5 млрд дол. США в 2020 р. Результатом моделі є річний загальний ВВП України, виміряний у номінальних дол. США. (3) Як описано вище у розділі 2.4, ВВП розраховується як добуток TFP, фізичного капіталу та людського капіталу (**Рис. 5**). TFP (до 2017 р.), норма економії та норма амортизації адаптовані з таблиці Penn World Table; (21) встановлено зростання TFP після 2018 р. Встановлено фактор γ ; показник еластичності α у цій версії обраний рівним 0,5, але в кінцевій версії він змінюватиметься під час аналізу чутливості.

Людський капітал розраховується у кілька етапів. По-перше, дані програмного інструменту DemProj (пакет Avenir Health/Spectrum) беруться для оцінки чисельності населення у кожній статеві-віковій групі (5-річні діапазони) щороку. (15) Населення у кожній групі множиться на коефіцієнт участі, адаптований з бази даних Міжнародної організації праці, (22) з визначенням частки осіб, які роблять внесок в економічне виробництво країни. Від результуючої активної робочої сили в кожній статеві-віковій групі вираховуються YLD (взяті з GBD; всі причини). (4) Нарешті, внесок робочої сили, що залишилася, множиться на індекс людського капіталу (таблиці Penn World Tables). (21) Економічна модель використовувалася в тих же чотирьох сценаріях, що й модель прогнозування стану здоров'я на національному рівні, представлена в попередньому розділі: базовий сценарій (якість повітря залишається постійною) або поступове зниження концентрації $PM_{2.5}$ до 15, 10 або 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ до 2030 р. Параметризація моделі подана в **Таблиці 5**.

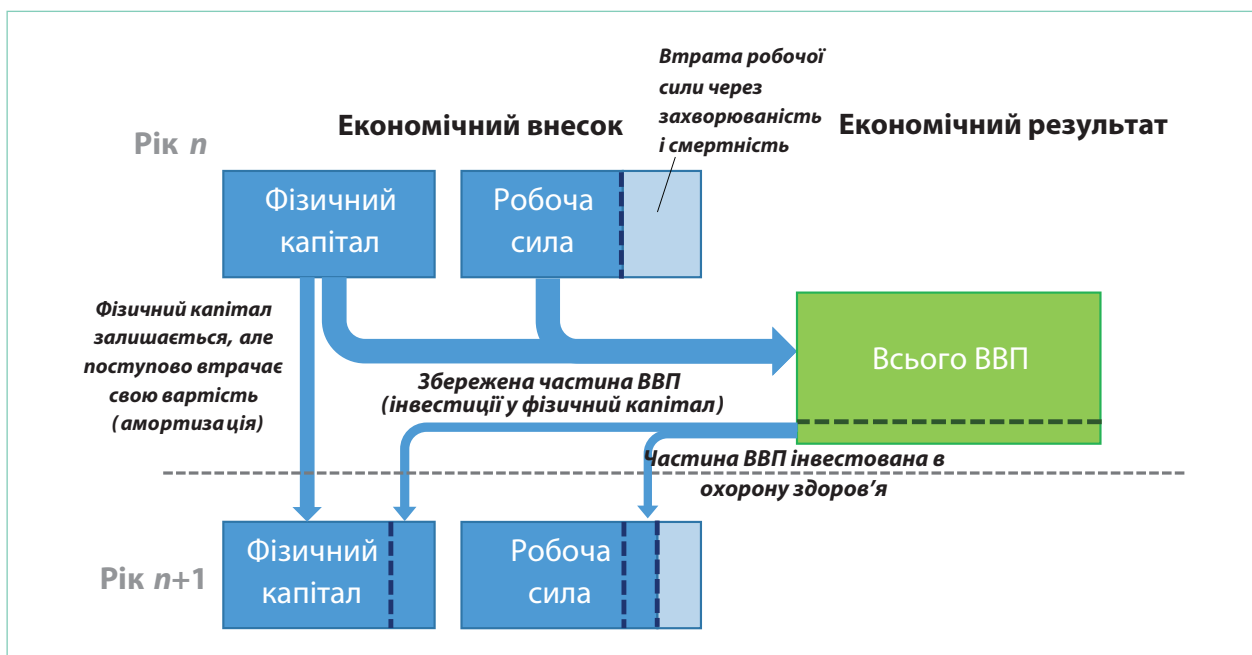
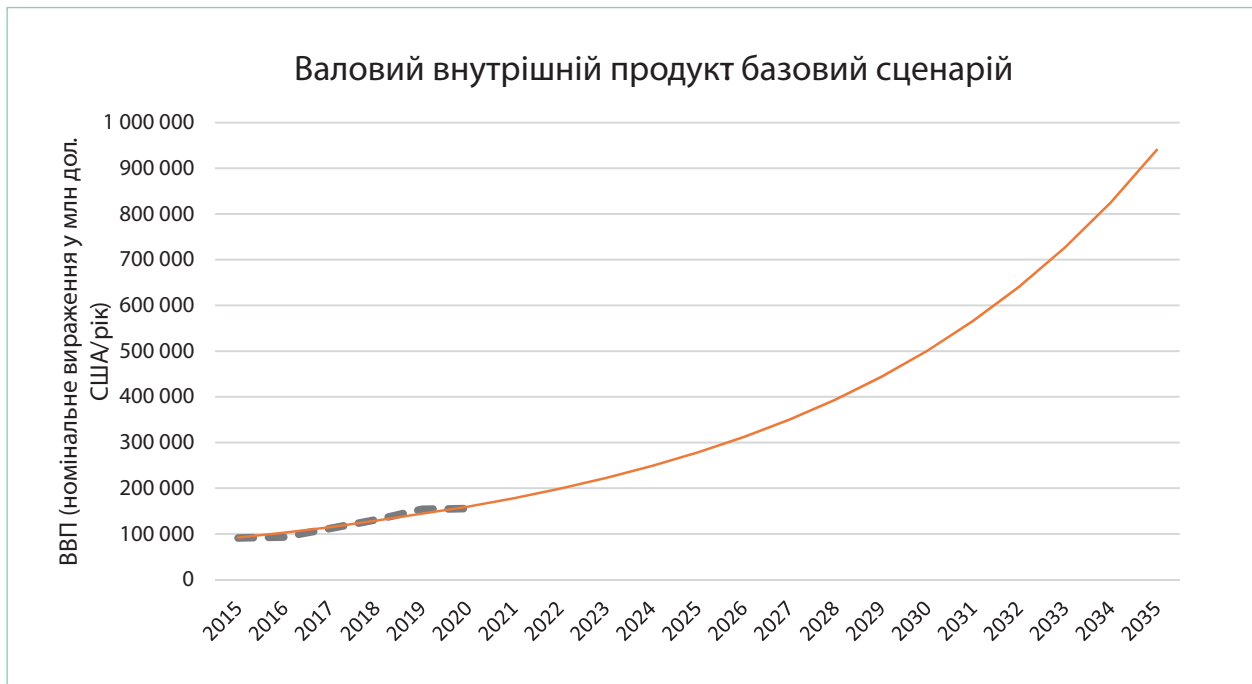


Рисунок 5. Схематичне зображення підходу людського капіталу. Частина потенційної робочої сили втрачається (показана блакитним кольором) через захворюваність і передчасну смертність. Частина загального обсягу виробництва використовується для інвестицій як у фізичний капітал, так і в охорону здоров'я (або інші заходи, які можуть знизити захворюваність та смертність). ВВП, валовий внутрішній продукт).

Таблиця 5. Вхідні характеристики економічної моделі. На додаток до параметрів, показаних вище, оцінки чисельності населення та розподілу за віком/статтю були адаптовані з програмного інструменту DemProj (15), а коефіцієнти участі в економічному розвитку за віком/статтю взяті з бази даних ILOSTAT. (22) TFP, загальна факторна продуктивність.

Показник	Значення	Джерело
Початкові значення у 2015 р.		
Загальна факторна продуктивність	1.707	Penn World Table (21)
Запас фізичного капіталу	7205.3 млрд дол. США	Penn World Table (21)
Індекс людського капіталу	3.2554	Penn World Table (21)
Константи		
Норма амортизації	2%	Припущення
Норма економії	40%	Припущення
Зростання TFP	0.12	Встановлено
Еластичність щодо фізичного капіталу	0.5	Припущення
Коефіцієнт встановлення	2.6	Встановлено

Модель відносно добре відтворила зростання ВВП, що спостерігалось в період з 2015 до 2020 року, водночас прогнозований ВВП у 2020 р. становив 159,6 млрд дол. США (порівняно з 155,4 млрд дол. США, оціненими Світовим банком; **Рис. 6**). Прогнозоване зростання тривало експоненційно, досягнувши 278,2 млрд дол. США до 2025 року, 500,5 млрд дол. США до 2030 року і 940,2 млрд дол. США до 2035 року; іншими словами, передбачалося, що ВВП подвоюватиметься приблизно кожні 6–7 років. На противагу цьому, згідно з прогнозами, робоча сила, яка сприяє розвитку економіки країни, з часом трохи скоротиться через демографічні зміни. Кількість людей, які роблять внесок в економічний розвиток, була еквівалентна 17,5 млн людино-років у 2020 році, поступово зменшуючись до 15,0 млн людино-років до 2035 року.



(Продовження на наступній сторінці)

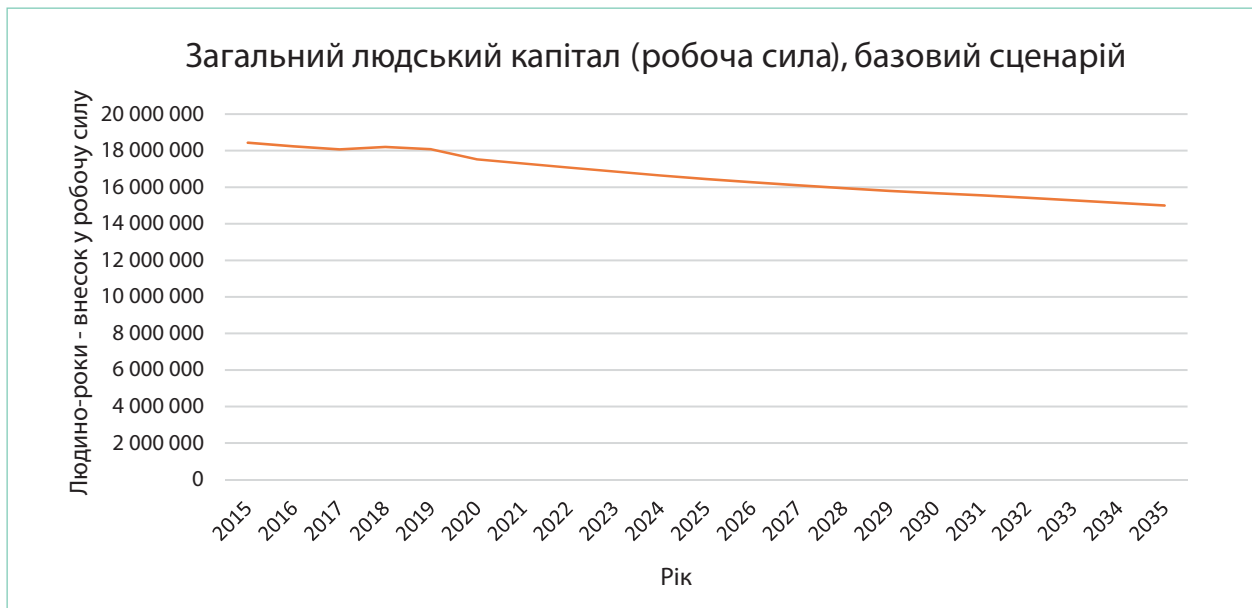
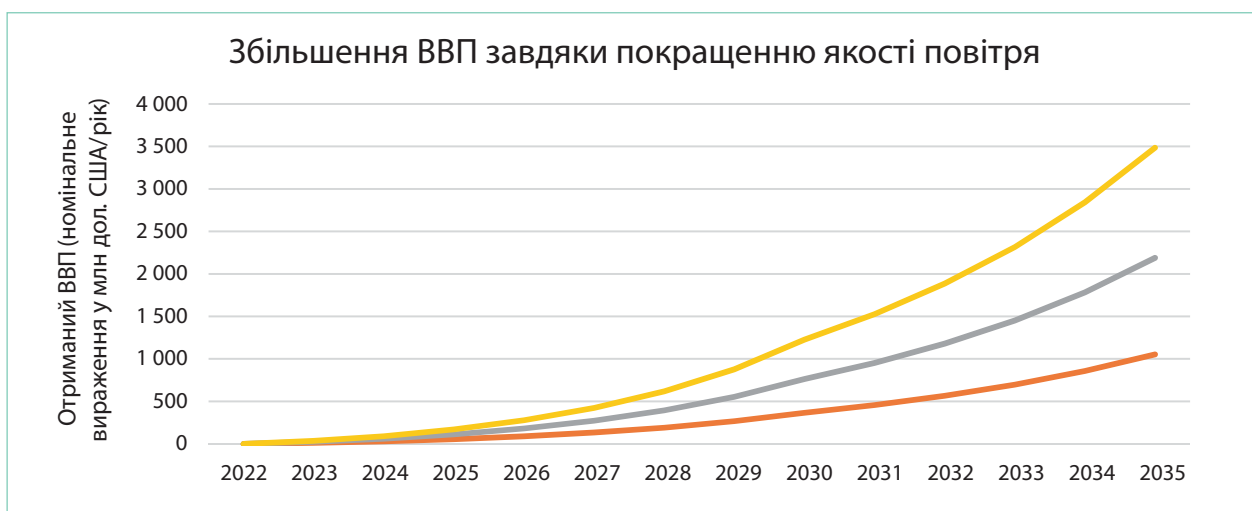


Рисунок 6. Валовий внутрішній продукт у номінальному вираженні у дол. США (верхня частина) та людино-роки, що становлять робочу силу (нижня частина) у базовому сценарії (без змін якості повітря порівняно з поточним). Помаранчеві лінії показують прогнози моделі; сіра пунктирна лінія показує дані, що спостерігаються. (3)

Втручання з метою зниження рівня концентрації $PM_{2.5}$ призвели до відносно невеликого, але існуючого впливу (**Рис. 7**). Навіть помірне зниження до 15 мкг/м^3 до 2030 р. принесло додатковий приріст у 22 000 людино-років у 2030 р. та 30 700 людино-років у 2035 р. Відповідний приріст обсягу виробництва у ВВП склав 365 млн дол. США у 2030 р., і вже 1,05 млрд дол. США у 2035 р.: загальна тенденція зростання ВВП збільшує вигоди від збільшення робочої сили. Якщо вжити заходів для досягнення цільового рівня $VOO3$ (5 мкг/м^3), вигода буде приблизно втричі більшою: до 2035 р. буде отримано понад 100 000 людино-років роботи, що відповідає додатковому приросту у розмірі 3,48 млрд дол. США на рік ВВП. Однак змодельовані вигоди від покращення якості повітря залишалися дуже помірними у відносному вираженні, відповідаючи, навіть у кращому випадку, менш ніж 1% усієї робочої сили та $<0,5\%$ економічного виробництва.

Слід підкреслити, що ці результати становлять лише одну можливу параметризацію. Внесок у загальне економічне зростання дуже чутливий до еластичності, яку ми прийняли рівною 0,5 щодо фізичного капіталу, тобто зростання як фізичного капіталу, так і праці позитивно впливає на зростання результату. Припущення, згідно з яким робоча сила оцінюється вище, відповідно збільшить ВВП, наблизившись до того ж відносного збільшення, що й для робочої сили (0,7% у найоптимістичнішому сценарії у 2035 році).



(Продовження на наступній сторінці)

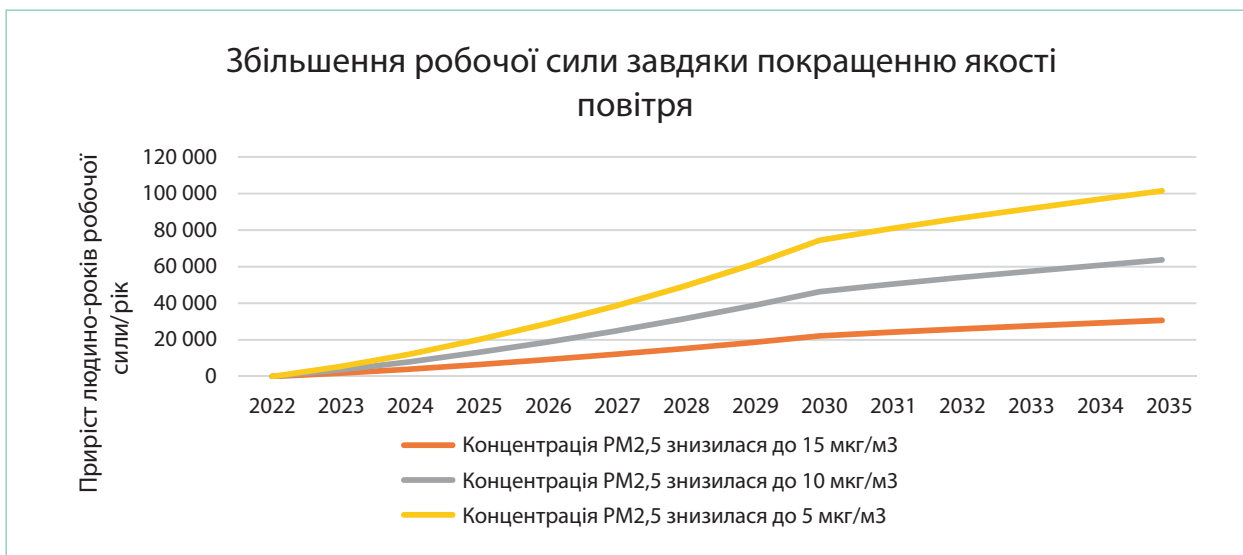


Рисунок 7. Приріст валового внутрішнього продукту (ВВП; верхня частина) та робочої сили (нижня частина) у сценаріях з покращеною якістю повітря порівняно з базовим сценарієм. Зниження концентрації твердих частинок діаметром <math><2,5\text{ мкм}</math> ($PM_{2,5}$) відбувається поступово в період із 2022 по 2035 рік.



4. ТЛУМАЧЕННЯ ТА ВИСНОВКИ

4.1 Основні висновки

Населення України піддається впливу явно неоптимальної якості повітря. Концентрація частинок $PM_{2.5}$, показник якості повітря, що широко використовується, постійно і явно перевищує рівень, рекомендований ВООЗ (2), і значна частина вимірювань знаходиться на «нездоровому» рівні. (7) Якість повітря, виміряна у семи великих містах України, була явно гірша, ніж у середньому по країні: середні концентрації $PM_{2.5}$ у містах коливалися між приблизно 40 і 60 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ (близько порогового рівня «нездоровий для чутливих груп» і «нездоровий», в той час як загальна середня концентрація в Україні оцінюється в 20 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ (помірна). Спостерігалася дещо чітка сезонна закономірність із найвищими значеннями, зареєстрованими в період з жовтня до лютого, що узгоджується з результатами попередніх досліджень. (23,24)

Згідно з дослідженням «Глобальний тягар хвороб», близько 10% втрат здоров'я в Україні пов'язано із забрудненням повітря. Це означає близько 43 000 передчасних смертей і майже один мільйон DALY. Ця частка скоротилася вдвічі порівняно з піковими значеннями середини 1990-х років, але тягар, як і раніше, багаторазово перевищує, наприклад, країни Північної Європи, де тільки 1% втрат здоров'я припадає на забруднення повітря. (4) Таким чином, тисячі передчасних смертей і великій кількості захворювань можна було б принаймні теоретично запобігти за допомогою втручань, спрямованих на покращення якості повітря. Якість повітря впливає на здоров'я, збільшуючи ризик різних захворювань, переважно серцево-судинних, респіраторних і раку легень. Люди, які живуть в українських містах з високою концентрацією $PM_{2.5}$, мають більше ніж удвічі вищий ризик розвитку, наприклад, інсульту чи ХОЗЛ, ніж ті, що живуть в умовах із дуже гарною якістю повітря.

Втрати здоров'я також безпосередньо перетворюються на втрати в економіці. Здорове населення також є продуктивним населенням і може сприяти зростанню економіки та добробуту. Це твердження слід розуміти не як спробу надати здоров'ю грошову оцінку, а просто як демонстрацію того, що втручання, спрямовані на покращення здоров'я, зазвичай окупаються і можуть також приносити економічний добробут населенню. У цьому дослідженні було розроблено просту економічну модель, яка показує, що кількість людино-годин, які роблять внесок в економіку країни, може бути збільшено приблизно на 0,7% до 2035 року, якщо середня концентрація $PM_{2.5}$ буде знижена до рівня, рекомендованого ВООЗ протягом поточного десятиліття. Залежно від припущень про механізми економічного зростання, це може привести до збільшення річного загального ВВП більше ніж на 3 млрд дол. США за той самий період. У відносному вираженні це може бути невисоким значенням (близько 75 дол. США на людину), але це слід розглядати в контексті того, що необхідно інвестувати у більш здорову якість повітря. У період з 2022 до 2035 року кумулятивний приріст ВВП складе близько 15 млрд дол. США, а це означає, що якщо ці гроші будуть вкладені в заходи, які можуть так чи інакше привести до більш кращої якості повітря, інвестиції окупляться до 2035 року.

Слід зазначити, що профілактика захворювань також скоротить кількість необхідних ресурсів для охорони здоров'я, що приведе до додаткової економії. В Україні 7,1% ВВП, або близько 11 млрд дол. США, було витрачено на витрати на охорону здоров'я у 2019 році. (3) Наприклад, за оцінками, на

профілактику інсульту припадає від 0,6 до 4,3% загальних витрат на охорону здоров'я у різних країнах, асоційованих з ЄС, (25) що в контексті України означає від 65 до 470 млн дол. США на рік. Витрати на ХОЗЛ оцінювалися від 1889 до 11 787 дол. США на пацієнта на рік у восьми європейських країнах; (26) застосування мінімуму цих значень до даних про поширеність в Україні (близько 800 000 поширених випадків) становила б 1,5 млрд дол. США. Було показано, що значне поліпшення якості повітря запобігає 30% цих двох умов принаймні у великих містах; тому справедливо припустити, що пряма економія за рахунок запобігання захворюванням також може становити млрд дол. США на рік. Загалом результати обнадіюють і показують, що спроби покращити якість повітря не лише продовжують життя та якість життя, а й окупаються, можливо, у великих розмірах.

Захворювання, тісно пов'язані із забрудненням повітря, мають інші супутні чинники, найбільш важливим з яких є куріння. Наприклад, у тих, хто викурює пачку цигарок на день, ризик розвитку ХОЗЛ або раку легень приблизно в 6 разів вищий, ніж у некурців. Поширеність куріння в Україні за останні роки явно знизилася, з 28% у 2010 р. до 23% у 2017 р., що, проте, ще залишає місце для покращення. (27) Зусилля щодо покращення якості повітря та подальшого зниження поширеності куріння разом можуть привести до ще більшого скорочення тягаря серцево-судинних і респіраторних захворювань.

4.2 Обмеження

Методи, що використовуються в цьому аналізі, мають деякі обмеження, які необхідно розуміти. Аналіз є, по суті, порівнянням різних гіпотетичних сценаріїв: методологічна основа, яка використовується для проєктування цих сценаріїв, дуже спрощена, заснована на поєднанні теорії та спостережень і, таким чином, схильна до численних типів систематичних помилок, що виникають у розрахунках, даних, або прогнозах майбутнього розвитку. Джерела даних також мають обмеження. Більшість доступних даних є лише національними оцінками, у яких ігнорується неоднорідність, тобто між промислово розвиненими міськими районами та сільськими районами. Існує велика кількість даних про якість повітря в режимі реального часу з різних окремих місць в Україні (переважно у великих містах), але непросто усереднити значення, зібрані з кількох станцій та за кілька разів, для отримання узагальнених оцінок, які можуть відображати справжній стан якості повітря у відповідному місці. Дані більшості міст показали сильне відхилення значень від $<5 \text{ мкг/м}^3$ до $>150 \text{ мкг/м}^3$, іноді навіть протягом дня.

Економічна модель також має обмеження. Модель заснована на постійних параметрах зростання, які не враховують такі фактори, як непрямі наслідки конфлікту, що все ще триває на Сході України, складні міжнародні відносини, що впливають на торгівлю, або пандемія COVID-19, яка тимчасово уповільнила економічне зростання у всьому світі. Модель також поки що не включає витрати, пов'язані з охороною здоров'я (яким можна було б запобігти за рахунок покращення якості повітря) або непрямі наслідки захворюваності дітей чи літнього населення, старшого за працездатний вік. На наступному кроці буде створено їх наближення.

Ще одним обмеженням використання такої економічної моделі є те, що вона, як і раніше, заснована на припущенні, що економіка продовжуватиме зростати. Економічне зростання зазвичай пов'язане зі зростанням виробництва й, отже, зі збільшенням викидів, що погіршують якість повітря; це разом з досвідом пандемії COVID-19 закликала до дій, що ставлять під сумнів мету безперервного зростання і натомість перетворюються на «еко-справедливе уповільнення зростання», коли суспільство розвивається стабільно з урахуванням екологічних аспектів та спрямоване на зменшення нерівностей. (28) Таким чином, методи, що лежать в основі цього дослідження, не слід сприймати неправильно. Економічне зростання в сенсі цього аналізу по суті означає зростання людського капіталу, який може зробити населення більш здоровим, більш освіченим і більш продуктивним, тому економічний розвиток може більше покладатися на людський капітал, ніж на нестійке та екологічно шкідливе надмірне використання природних ресурсів.

Зрештою, аналіз не враховує поточної ситуації та ескалації війни в Україні. Зрозуміло, що найближчими роками станеться суттєве падіння ВВП, і неможливо передбачити, як швидко економіка відновиться після виходу з кризи. Також очевидно, що сама війна істотно впливає як на якість повітря, так і на можливість його моніторингу.

4.3 Висновок

Результати цього дослідження показують, що, хоча забруднення повітря є лише одним із численних факторів у мережі детермінант, пов'язаних з різними захворюваннями та розладами, інвестиції в покращення якості повітря, швидше за все, окупляться, навіть у найближчому майбутньому від одного до двох десятиліть. Тим часом пандемія COVID-19 дала деяке уявлення про те, що можуть існувати альтернативи допандемічного економічного зростання з потребами, що постійно зростають, і використанням ресурсів. На ранніх стадіях епідемії у великій кількості міст Китаю було запроваджено суворий карантин, що призвело до повного закриття багатьох промислових підприємств та значного скорочення обсягів руху, що, як було показано, значно покращило якість повітря. (29) Хоча таке масове згорання промисловості у довгостроковій перспективі є малоімовірним, ці дані допоможуть кількісно оцінити вплив різних джерел на рівень забруднення повітря. Важливо зазначити, що світ також адаптував поведінкові зміни, які можуть принаймні частково стати постійними, наприклад, скорочення частоти поїздок на роботу, пов'язаних з родом занять. Сприяння адаптації таких нових звичок, які зберігають ресурси та навколишнє середовище, і водночас інвестування у нові технології, що знижують забруднення, разом можуть ефективно покращити здоров'я та якість життя населення України.




5. СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1.	Всесвітня організація охорони здоров'я. Забруднення повітря [Інтернет]. URL: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 . Доступ здійснено 29 грудня 2021 р.	
2.	Всесвітня організація охорони здоров'я. Глобальні рекомендації ВООЗ щодо якості повітря. Тверді частинки (PM _{2,5} і PM ₁₀), озон, діоксид азоту, діоксид сірки та чадний газ. Женева, Швейцарія ВООЗ; 2021. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228 . Доступ здійснено 29 грудня 2021 р.	
3.	Всесвітній банк. Банкданих: Показники світового розвитку [Інтернет]. URL: https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators# . Доступ здійснено 29 грудня 2021 р.	
4.	Інститут показників та оцінки здоров'я. Світовий обмін даними про здоров'я [Інтернет]. URL: http://ghdx.healthdata.org/ . Доступ здійснено 29 грудня 2021 р.	
5.	Агентство з охорони навколишнього середовища США. Основи твердих частинок (PM) [Інтернет]. URL: https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM . Доступ здійснено 6 лютого 2022 р.	

6.	МакДаффі Е.Е., Мартін Р.В., Спандаро Дж.В. та ін. Внесок сектора джерела та палива в атмосферні PM _{2,5} та відносну смертність у різних просторових масштабах. <i>Nature Communications</i> . 2021; 12:3594.	
7.	Агентство з охорони навколишнього середовища США. Національні стандарти якості навколишнього повітря (NAAQS) 2012 для твердих частинок (PM) [Інтернет]. URL: https://www.epa.gov/pm-pollution/2012-national-ambient-air-quality-standards-naaqs-particulate-matter-pm . Доступ здійснено 6 лютого 2022 р.	
8.	Всесвітня організація охорони здоров'я. Всесвітня обсерваторія охорони здоров'я. Список реєстру метаданих показників: роки життя із поправкою на інвалідність (DALY) [Інтернет]. URL: https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/158 . Доступ здійснено 6 лютого 2022 р.	
9.	Підхід до людського капіталу. В: Кірх В. (ред.) <i>Енциклопедія громадської охорони здоров'я</i> . Спрінгер, Дордрехт, 2008 р.	
10.	Арканд Дж.Л., Хан С., Лауер Дж.А. Економічні наслідки інвестування у загальне медичне страхування для країн з низьким рівнем доходу та рівнем доходу нижче середнього [попередній друк]. Доступно в SSRN: https://ssrn.com/abstract=3343767 .	
11.	Кобб К.В., Дуглас П.Г. Теорія виробництва. <i>Американський економічний огляд</i> . 1928; 18 (Додаток): 139-65.	
12.	Співавтори GBD 2019 за факторами ризику. Глобальний тягар 87 факторів ризику у 204 країнах і територіях, 1990-2019 р.р.: систематичний аналіз для дослідження глобального тягаря хвороб 2019 р. <i>The Lancet</i> . 2020; 396(10258):1223-49.	
13.	SaveDnipro. SaveEcoBot: Перший екологічний чат-бот в Україні [Інтернет]. URL: https://www.saveecobot.com . Доступ здійснено 6 лютого 2022 р.	

<p>14.</p>	<p>Проект «Всесвітній індекс якості повітря» [Інтернет]. URL: https://aqicn.org та https://waqi.info. Доступ здійснено 6 лютого 2022 р.</p>	
<p>15.</p>	<p>Авнер Здоров'я. Інструмент OneHealth [Інтернет]. URL: https://www.avenirhealth.org/software-onehealth.php. Доступ здійснено 29 грудня 2021 р.</p>	
<p>16.</p>	<p>Державна служба статистики України. Всеукраїнський перепис населення [Інтернет]. URL: https://ukrcensus.gov.ua/eng/. Доступ здійснено 30 квітня 2022 р.</p>	
<p>17.</p>	<p>Школа Джеральда Дж. та Дороти Р. Фрідман з науки та політики в галузі харчування при Університеті Тафтса. Глобальна дієтична база даних [Інтернет]. URL: https://www.globaldietarydatabase.org/data-download. Доступ здійснено 30 квітня 2022 р.</p>	
<p>18.</p>	<p>Всесвітня організація охорони здоров'я. Всесвітня обсерваторія охорони здоров'я. Неінфекційні захворювання: фактори ризику [Інтернет] URL: https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/noncommunicable-diseases-risk-factors. Доступ здійснено 30 квітня 2022 р.</p>	

19.	Агентство США з міжнародного розвитку (USAID). Програма DHS: демографічні та медичні дослідження [Інтернет]. URL: https://dhsprogram.com/ . Доступ здійснено 6 лютого 2022 р.	
20.	Естілл Дж., Іслам Т., Гоубен Р.М.Дж. та ін. Туберкульоз у регіоні Західної частини Тихого океану: оцінка тягаря хвороби та окупності інвестицій у 2020-2030 р.р. у чотирьох країнах. <i>The Lancet Regional Health Western Pacific</i> . 2021; 11:100147.	
21.	Гронінгенський університет, Гронінгенський центр зростання та розвитку. Penn World Table, версія 10.0 [Інтернет]. URL: https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en . Доступ здійснено 6 лютого 2022 р.	
22.	Міжнародна організація праці. ILOSTAT: Провідне джерело трудової статистики [Інтернет]. URL: https://ilostat.ilo.org/ . Доступ здійснено 6 лютого 2022 р.	
23.	Бодор З., Бодор К., Керестеші А., Сеп Р. Аналіз сезонних коливань основних забруднювачів повітря та перенесення PM10 на великі відстані у міському середовищі з особливими кліматичними умовами у Трансильванії (Румунія). <i>Env Sci Poll Res</i> . 2020; 27:38181-99.	
24.	Чен В., Ян Л., Чжао Х. Сезонні коливання забруднення атмосфери та якості повітря в Пекіні. <i>Atmosphere</i> . 2015; 6(11):1753-70.	
25.	Луенго-Фернандес Р., Віолато М., Кандіо П., Леал Дж. Економічний тягар інсульту в Європі: аналіз витрат на рівні населення. <i>Eur Stroke J</i> . 2020; 5(1):17-25.	
26.	Рехман А., Хассалі М.А., Мухаммад С.А. та ін. Економічний тягар хронічної обструктивної хвороби легень (ХОЗЛ) у США, Європі та Азії: результати систематичного огляду літератури. <i>Expert Rev Pharmacoecon Outcomes Res</i> . 20 (6): 661-72.	

27.	<p>Міністерство охорони здоров'я України, Київський міжнародний інститут соціології, Європейське регіональне бюро Всесвітньої організації охорони здоров'я, Національна академія медичних наук України, Центри контролю та профілактики захворювань США. Глобальне обстеження споживання тютюну серед дорослих. Україна 2017. Резюме [Інтернет]. URL: https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0007/347632/UKR_GATS_2017_ES_17Aug2017_Final.pdf. Доступ здійснено 30 квітня 2022 р.</p>	
28.	<p>Лабонте Р. Постковідна економіка для здоров'я: від найбільшого перезавантаження до відновлення по-новому. <i>BMJ</i>. 2022; 376: e068126.</p>	
29.	<p>Ітан С.Дж., Мокоєна К.К., Ю.Ю. Стан забруднення повітря у 10 мегаполісах Китаю на початковому етапі спалаху COVID-19. <i>Int J Environ Res Public Health</i>. 2021; 18(6):3172.</p>	

