

В. М. Триснюк, В. О. Шумейко, Т. В. Триснюк, А. В. Курило, Ю. М. Голован, В. В. Мирончук  
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОГО ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

**Анотація.** Стаття присвячена екологічній безпеці Карпатського регіону на основі моніторингу джерел техногенного пилового забруднення. Визначено реальні умови формування екологічної небезпеки з урахуванням вторинного пилового забруднення атмосферного повітря. Встановлено підсилення впливу проявів екологічної небезпеки на стан захворюваності населення стосовно певних нозологічних форм в зонах безпосередньої дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря. **Метою** роботи є розв'язання науково-практичного завдання з управління екологічною безпекою під дією чинників техногенного пилового забруднення та розробки конкретних технічних рішень. **Об'єкт дослідження** є інформаційні технології для діагностики і оцінки стану довкілля та техногенних об'єктів. Система управління екологічною безпекою в регіоні з інтенсивним вторинним пиловим забрудненням атмосферного повітря включає комплексну систему техніко-технологічного управління екологічною безпекою в умовах інтенсивної дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря. Теоретичним базисом побудови зазначеної системи є сукупність принципів, розроблених на основі всебічного аналізу та узагальнення результатів попередніх теоретичних досліджень та практичного досвіду з управління екологічною безпекою на регіональному рівні. Встановлено специфічні особливості формування екологічної небезпеки при дії чинників пилового забруднення, обґрунтовано диференціацію джерел небезпеки з виділенням первинного і вторинного (стосовно основного технологічного процесу промислового виробництва) пилового забруднення атмосферного повітря. Розроблено методологію оцінки впливу на стан атмосферного повітря джерел вторинного пилового забруднення. Запропоновано методичний підхід щодо оцінки стану екологічної безпеки в умовах інтенсивного пилового забруднення атмосферного повітря, який базується на застосуванні модифікованого методу комплексної оцінки рівня техногенної небезпеки промислових об'єктів.

**Ключові слова:** техногенна небезпека, пилове забруднення, вторинне забруднення, атмосферне повітря, технічні рішення, екологічна безпека, захворюваність населення.

### Вступ

Серед значної кількості різновидів впливу на довкілля істотною небезпекою створює пилове забруднення атмосферного повітря, що формується як внаслідок надходження з джерел викидів на промислових підприємствах (первинне), так і шляхом фізико-хімічних процесів в місцях складування пилоподібних відходів виробництв (вторинне), серед яких особливе місце займають тонкодисперсні (< 100 мкм) відходи пилоочищення.

**Актуальність теми.** Експериментальні дослідження техногенних чинників пов'язаних із пиловим забрудненням ґрунтуються на використанні методики експертної оцінки та інформаційних технологій. Наукометричний огляд показав, що на даній території існує ряд екологічних проблем, які потребують вирішення. Аналіз попередніх досліджень дозволяє констатувати, що роль вторинного пилового забруднення у формуванні екологічної небезпеки регіону вивчається науковцями: Адаменко О.М., Архипова Л.М., Зорін Д.О., Мандрик О.

**Мета та завдання роботи.** Метою роботи є розв'язання науково-практичного завдання з управління екологічною безпекою під дією чинників техногенного пилового забруднення та розробки конкретних технічних рішень. **Об'єкт дослідження** є інформаційні технології для діагностики і оцінки стану довкілля та техногенних об'єктів.

### Виклад основного матеріалу

Стратегія досліджень стосовно формування небезпек різного генезису оснований на визначенні міс-

ця певного виду чи підвиду екобезпеки в її ієрархічній структурі [1]. Забезпечення екологічної безпеки в умовах інтенсивного пилового забруднення, як правило, досягається шляхом застосування і вдосконалення пилоочисного обладнання. Побічним ефектом впровадження цих заходів є збільшення обсягів відходів, що утворюються в процесі пилоочищення. Неефективне складування значної кількості таких відходів створює загрозу вторинного забруднення атмосферного повітря. Зазначені обставини обумовлюють необхідність диференціації джерел екобезпеки з виділенням первинного і вторинного забруднення атмосферного повітря.

Первинне пилове забруднення розглядається як процес надходження пилоподібних забруднювачів в атмосферне повітря з стаціонарних (організованих та неорганізованих) та (або) пересувних джерел в межах технологічного процесу промислового виробництва [2]. Джерелами вторинного пилового забруднення є місця зосередження промислових відходів даного виробництва, на території яких можливе складування пилоподібних речовин і матеріалів, які виведено за межі основного технологічного процесу і для утилізації та рекуперації яких на цей час відсутні ефективні технології.

Неврахування джерел вторинного пилового забруднення при проведенні моніторингу стану екобезпеки (що на теперішній час спостерігається повсюди) не дає можливості об'єктивно оцінити внесок зазначеного підвиду у формування екологічної небезпеки на регіональному рівні.

Експрес-оцінка внеску джерел забруднення атмосферного повітря у формування рівня техногенної

небезпеки проводиться на основі чисельних значень показника  $T$ :

$$T = T_T K_{KM} K_P \left\{ \sum_{i=1}^N K_{ui} a_i M_i / N \right\}; \quad (1)$$

$$T = T_T K_{KM} K_P \left\{ \sum_{i=1}^N K_{ui} a_i M_i / N \right\},$$

де  $T$  – показник техногенної небезпеки, сформованої чинниками пилового забруднення атмосферного повітря;  $K_T$  – регіональний коефіцієнт господарської диференціації території;  $K_{KM}$  – коефіцієнт, що залежить від чисельності мешканців, які піддаються впливу проявів техногенної небезпеки;  $K_P$  – коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості;  $K_{ui}$  – коефіцієнт, який залежить від характеристик джерел викидів;  $a_i$  – показник, що відображає ступінь негативного впливу одиниці маси визначеного інгредієнта, що міститься у викидах в атмосферу, на навколишнє середовище;  $M_i$  – річна маса інгредієнтів, що містяться у викидах в атмосферу, т/рік;  $N$  – кількість інгредієнтів.

Градацію рангів промислових підприємств за рівнем техногенної небезпеки запропоновано проводити відповідно до значень показника  $T$  (табл. 1).

Таблиця 1 – Градації техногенної небезпеки підприємств

Значення показника $T$	Рівень техногенної небезпеки підприємства	Ранг
$0 - 10^2$	Найнижчий	1
$102 - 10^3$	Низький	2
$103 - 10^4$	Підвищений	3
$> 10^4$	Високий	4

Методичний підхід до дослідження впливу чинників пилового забруднення на стан здоров'я населення полягає у тому, що надається кількісна просторово-часова характеристика проявів екологічної небезпеки на територіях, що досліджуються і здійснюється вивчення стану здоров'я населення. Захворюваність населення обраної території охарактеризовано сумарним показником  $P$  (кількість захворілих на 1 тис. населення) та індексом здоров'я населення  $H$ :

$$H = 1 - N_{\delta t} / N, F = (1 + j)^{-1} \quad (2)$$

де  $N$  – загальна чисельність обраної групи населення на території, що досліджується;  $N_{\delta t}$  – чисельність населення, захворілого за обраний період.

При аналізі проявів екологічної небезпеки використані значення середньорічних концентрацій  $C_{cp}$  інгредієнту, який контролюється та індекс техногенної безпеки  $F$ :

$$F = (1 + j)^{-1} \quad (3)$$

де  $j$  – безрозмірний нормований показник екологічної небезпеки, який у випадку негативної дії одного забруднювача на один компонент геосфери (атмосферне повітря) виражається відношенням фактичної концентрації речовини в приземному прошарку атмосфери до гранично допустимого значення цієї концентрації ( $ГДК_{M.P.}$ ).

Коефіцієнт  $F$  може приймати значення від 0 до 1 і його зростання буде вказувати на підвищення рівня техногенної безпеки.

За умов збігу у часі тенденцій зміни параметрів  $H$ ,  $F$ ,  $P$ , а також при встановленні кореляційних залежностей між ними, можна зробити висновок, що прояви екологічної небезпеки, пов'язані з присутністю даного інгредієнта в певних концентраціях, істотно впливають на розвиток аналізованої групи хвороб на обраній території. Наведені методологічні аспекти є підґрунтям для проведення експериментальних досліджень, зокрема, детального моніторингу формування, розвитку та проявів екобезпеки, сформованої чинниками техногенного пилового забруднення атмосферного повітря. На основі аналізу стану забруднення приземного прошарку атмосфери в межах зон селітебної забудови встановлено неприйнятний стан екологічної небезпеки стосовно зазначеного чинника (в середньому, по роках, концентрація пилу перевищує  $ГДК_{M.P.}$  в 1,3 рази). Визначено вклад у формування рівня небезпеки основних джерел пилового забруднення.

Системний аналіз поводження з тонкодисперсними пилоподібними відходами виробництва на промислових підприємствах в Івано-Франківській області дозволив визначити джерела вторинного пилового забруднення, основними з яких є місця складування відходів пилоочищення золи на Бурштинській ТЕС. Сумарна кількість зазначених промислових відходів, що на сьогодні вивозять у відвали, в регіоні дослідження складає 2500-3000 тонн на рік.

Бурштинська ТЕС є потужним джерелом викидів шкідливих хімічних речовин у атмосферу. Викиди з двох 250-метрових й однієї 180-метрової труби розносять пануючі в цій місцевості західні й північно-західні вітри на відстані до 100 кілометрів. У 2015 році зафіксовано викиди 191 тис. тонн шкідливих речовин – це конкретно 20,5 тис. т твердих частинок, 159,9 тис. сірчистого ангідриду, 9,4 тис. діоксиду азоту й 0,93 тис. т оксиду вуглецю (рис. 1).



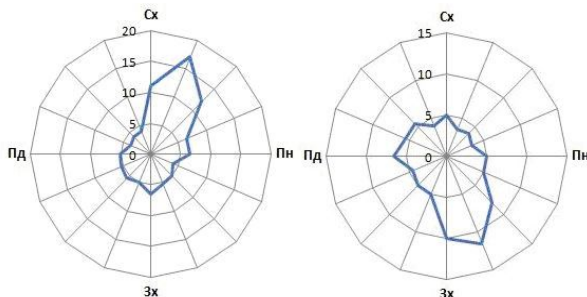
Рис. 1. Викид в атмосферу шкідливих речовин з двох 250-метрових й однієї 180-метрової труби Бурштинської ТЕС в східному напрямку

Для оцінки динаміки екосистем Карпатського регіону в умовах техногенного пилового забруднення атмосферного повітря було сформовано базу гео-даних, в яку ввійшли космічні знімки з космічних апаратів Landsat 7 (рис. 2); топографічні карти, цифрові моделі рельєфу різної деталізації.



**Рис. 2.** Тверді частинки від спалювання вугілля (зола, вугільний пил) які не вловило газоочисне обладнання, осідають у 30-кілометровому радіусі навколо станції

Оскільки техноприродні явища і процеси в переважній більшості є багатофакторними, представляють результат дії надзвичайно великого числа факторів, ступінь впливу кожного з яких на формування явища, що розглядається, повноцінно врахувати практично неможливо, то більш адекватним підходом до прогнозування екологічної небезпеки слід визнати імовірнісний підхід, що ґрунтується на побудові моделей-інтерпретацій і моделей-екстраполяцій за даними моніторингу (рядів спостережень) з використанням методів математичної статистики й теорії ймовірностей [3] (рис. 3).



**Рис. 3.** Роза вітрів та імовірнісний підхід до прогнозування екологічної небезпеки Бурштинської ТЕС

Зокрема, найпростішою і найбільш популярною математичною моделлю, яка застосовується при прогнозуванні максимальних екологічних характеристик (рівнів безпеки, забруднень компонентів довкілля) в рамках імовірнісного підходу, є модель випадкової величини [4]. Її використовують у випадках, коли дані моніторингу формують стаціонарні ряди динаміки, де зі збільшенням числа спостережень середній їх результат практично перестає бути випадковим і може бути передбаченим з великим ступенем визначеності.

Сірчистий ангідрид в атмосферному повітрі вступає в хімічні реакції з водою і вже у вигляді кислот може пролитися з дощем на землю. Наразі, викиди сірчистого ангідриду є найгострішою проблемою і не відповідають європейським нормам. Оксид вуглецю посилює парниковий ефект (рис. 4).



**Рис. 4.** Діоксид азоту Бурштинської ТЕС спричиняє смог

Для аналізу природного стану та антропогенізації досліджуваних екосистем використовувались космічні знімки з КА Landsat 7 (рис. 5).

Екологічну ситуацію не лише в санітарно-захисній зоні підприємства, а й у Бурштині, сусідніх горах постійно відстежує відділ охорони навколишнього середовища ТЕС. До складу цього відділу входить санітарна лабораторія, яка контролює приземні концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі, а також опади і бере на аналіз проби ґрунту, ґрунтових, поверхневих та стічних вод.



**Рис. 5.** Космічний знімок КА Landsat 7 з роздільною здатністю 30 м від 18.07.2015 р.

Щорічно Бурштинська ТЕС скидає у р. Гнила Липа близько 2,11 млн. м<sup>3</sup> зворотних вод. За даними екологічного паспорту Івано-Франківської області середньорічна концентрація забруднюючих речовин (мг/дм<sup>3</sup>) за 2015 рік у Бурштинському водосховищі становила: завислі речовини – 17,0; БСК5 – 2,2; сульфати 130,0; хлориди – 21,0; азот амонійний – 0,55; нітрати – 2,9.

При комп'ютерній обробці знімків безпосередньо використовують цифрові еквіваленти яскравості, зональної яскравості. Вихідними матеріалами тематичної обробки космічних знімків є знімки різного тематичного змісту. Тому основні процедури тематичної обробки космічних знімків полягають у сегментації зображень, з метою ідентифікації площинних і лінійно-протяжних об'єктів.

Для Бурштинської ТЕС надзвичайно актуальною є проблема складування та переробки твердих відходів – паливного шлаку і золи – які залишаються після спалювання вугілля в топках ТЕС.

Результати моніторингу обумовили необхідність встановлення реальних умов формування та проявів екологічної небезпеки зазначеного підвиду з урахуванням джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря.

З метою встановлення основних характеристик раніше неврахованих джерел пилового забруднення



проводились експериментальні дослідження в лабораторних умовах та шляхом натурних спостережень. Найбільш вагомими чинниками, що впливають на кількісні показники обсягів надходження пилу з зазначених джерел забруднення, є дисперсність часток пилу, швидкість вітру, вологість атмосферного повітря, опади (у вигляді дощу і мокрого снігу).

При швидкостях вітру 7-10 м/с час, необхідний на відновлення здування пилу з поверхні місць складування, змінюється незначно і складає близько 3 годин. При відносній вологості 99% інтенсивність здування пилу зменшується на 25%, в той самий час вологість відходу збільшується в 16 разів (з 0,11 до 1,69%).

Між результатами експериментальних досліджень та розрахунків здування пилу встановлено розбіжність, яка не перевищує 20 % (рис. 3, 6).

Це підтверджує доцільність практичного використання методів, рекомендованих Держкомгідрометом, для одержання чисельних значень питомого здування пилу неорганічного з вмістом  $\text{SiO}_2 > 70\%$ .

Таблиця 2 - Техногенна небезпека промислових об'єктів з урахуванням внеску джерел вторинного пилового забруднення

Промислове підприємство	Значення показника $T$ в залежності від джерел вторинного забруднення	
	без врахування	з врахуванням
ПАТ «Івано-Франківськцемент»	772,8	1074,7
Бурштинська ТЕС	2027,3	3090,2
ПАТ Миколаївцемент»	245,1	813,9

Для оцінки впливу проявів небезпеки на стан здоров'я населення у регіоні дослідження виділено зони селітебної забудови з підвищеним рівнем концентрації сілікозонебезпечного пилу, які розміщені поблизу промислових підприємств – основних джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря. Розміри вказаних територій встановлено за результатами розрахунку розсіювання викидів на ЕОМ з використанням програмного комплексу «ЕОЛ».

Із застосуванням методу кореляційно-регресивного аналізу часових рядів на основі вивчення залежностей  $H(t)$  та  $F(t)$  (рис. 3, 6) встановлено достатньо високі значення коефіцієнтів кореляції (0,70 – 0,95) по виділених зонах.

За результатами проведених досліджень встановлено:

1. При врахуванні внеску джерел вторинного забруднення спостерігається підвищення рівня техногенної небезпеки підприємств ;

2. В зонах безпосередньої дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря встановлено посилення впливу проявів екологічної небезпеки на стан захворюваності населення стосовно певних нозологічних форм.

Результати проведених досліджень є практичним підґрунтям для розробки та реалізації системи управління екобезпекою стосовно джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря у зазначеному районі.

Система управління екологічною безпекою в регіоні з інтенсивним вторинним пиловим забруд-

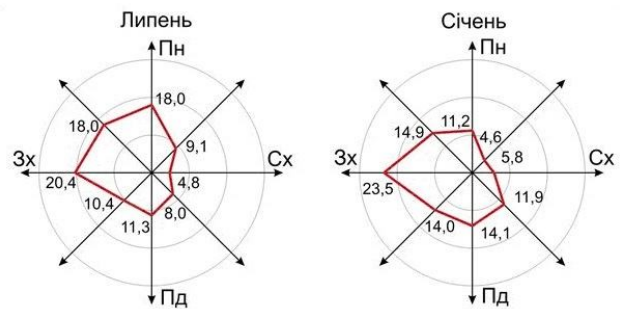


Рис. 6. Роза вітрів та розрахунок прогнозування екологічної небезпеки Бурштинської ТЕС в літній та зимовий період.

Одержані результати дозволили встановити основні характеристики (г/с, т/рік) джерел вторинного пилового забруднення в КСПР.

На основі формули 1 встановлено чисельні значення показника техногенної небезпеки  $T$  промислових підприємств КСПР з урахуванням внеску джерел вторинного забруднення (табл. 2).

ненням атмосферного повітря включає комплексну систему техніко-технологічного управління екологічною безпекою в умовах інтенсивної дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря [7, 8].

Теоретичним базисом побудови зазначеної системи є сукупність принципів, розроблених на основі всебічного аналізу та узагальнення результатів попередніх теоретичних досліджень та практичного досвіду з управління екологічною безпекою на регіональному рівні .

За результатами моніторингу формування і проявів у територіальних підприємствах підвиду екобезпеки, що досліджується, загальну систему управління екологічною безпекою деталізовано та конкретизовано стосовно регіональної доміанти підвиду екологічної небезпеки, сформованої джерелами вторинного пилового забруднення атмосферного повітря – місць складування пилоподібних відходів пилоочищення виробництв гранітного щебеню.

Результатом реалізації рішень запобігаючого характеру є тимчасове припинення надходження пилу в атмосферне повітря з джерел вторинного забруднення при несприятливих метеорологічних умовах. Результатом реалізації управлінських рішень обмежуючого характеру є встановлене за результатами інструментальних замірів зменшення на 50-60% обсягів надходження у атмосферне повітря тонкодисперсних пилоподібних забруднювачів з місць складування відходів і відповідно, рівня техногенної небезпеки зазначеного підвиду.

Реалізація управлінського рішення в регіоні досліджень дозволяє зменшити кількість зазначених відходів, що у теперішній час вивозяться у місця складування, на 2500 – 3000 т/рік й, відповідно, знизити рівень техногенного пилового забруднення атмосферного повітря.

### Висновки

Встановлено специфічні особливості формування екологічної небезпеки при дії чинників пилового забруднення, обґрунтовано диференціацію джерел небезпеки з виділенням первинного і вторинного (стосовно основного технологічного процесу промислового виробництва) пилового забруднення атмосферного повітря. Розроблено методологію оцінки впливу на стан атмосферного повітря джерел вторинного пилового забруднення. Запропоновано методич-

ний підхід щодо оцінки стану екологічної безпеки в умовах інтенсивного пилового забруднення атмосферного повітря, який базується на застосуванні:

1. Модифікованого методу комплексної оцінки рівня техногенної небезпеки промислових об'єктів – для визначення реальних умов формування екологічної небезпеки під дією чинників пилового забруднення атмосферного повітря;

2. Методу кореляційно-регресивного аналізу часових рядів – для встановлення впливу конкретних проявів екологічної небезпеки на стан здоров'я населення.

Встановлено підсилення впливу проявів екологічної небезпеки на стан захворюваності населення стосовно певних нозологічних форм в зонах безпосередньої дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Адаменко О. М. Екологічна безпека територій. Монографія / О. М. Адаменко, Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова та ін. – Івано-Франківськ : Супрун, 2014. – 456 с.
2. Греков Л.Д., Красовський Г.Я., Трофимчук О.М. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом. Київ. Наукова думка. 2007. -219 с.
3. V.Trsnyuk, T. Trsnyuk, V. Okhariev, V. Shumeiko, A. Nikitin Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding Centrul Universitar Nord Din Bala Mare - UTPRESS ISSN 1582-0548, №1,2018 С.61-67
4. Алгоритм оброблення інформації про радіоактивне забруднення місцевості з використанням даних ДЗЗ та ГІС. / В.М. Триснюк, А.А. Нікітін В.О. Шумейко // Системи управління, навігації та зв'язку. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава. Випуск 6 (46) 2017р. – С. 102-110.
5. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. –2016. –№12. – С.185-188. Index Copernicus
6. Trsnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trsnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. [2019] Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts
7. Довгий О.С.,Трофимчук О.М.,Коржнев М.М.,Яковлев Є.О.,Триснюк В.М. і інші. Моніторинг мінерально-сировинної бази України та екологічного стану територій її гірничодобувних регіонів у контексті забезпечення їх сталого розвитку. /Довгий О.С.,Трофимчук О.М.,Коржнев М.М.,Яковлев Є.О.,Триснюк В.М. і інші. – Київ.; Ніка-Центр -2019. - 148 с.
8. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. –2016. –№12. – С.185-188.

Received (Надійшла) 21.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.01.2020

### Ecological safety of the Carpathian region in the conditions of technogenic dust pollution atmospheric air

V. Trsnyuk, V. Shumeiko, T. Trsnyuk, A. Kurilo, J. Holovan

**Abstract.** The article is devoted to the environmental safety of the Carpathian region on the basis of monitoring of sources of man-made dust pollution. The real conditions of ecological hazard formation with consideration of secondary dust pollution of atmospheric air are determined. The influence of manifestations of ecological danger on the state of morbidity of the population in relation to certain nosological forms in the zones of direct action of sources of secondary dust pollution of atmospheric air is established. The purpose of the work is to solve the scientific and practical task of environmental safety management under the influence of man-made dust pollution and to develop specific technical solutions. The object of study is information technology for the diagnosis and assessment of the state of the environment and man-made objects. The system of environmental safety management in the region with intensive secondary dust pollution of the air includes a comprehensive system of technical and technological management of environmental safety in the conditions of intensive action of sources of secondary dust pollution of the air. The theoretical basis for the construction of this system is a set of principles, developed on the basis of a comprehensive analysis and synthesis of the results of previous theoretical studies and practical experience on environmental safety management at the regional level. The specific features of the formation of environmental hazards under the influence of dust pollution factors are established, the differentiation of sources of danger with the allocation of primary and secondary (in relation to the main technological process of industrial production) dust pollution of atmospheric air is substantiated. A methodology for assessing the impact on sources of secondary dust pollution by atmospheric air has been developed. A methodological approach is proposed to assess the state of ecological safety in the conditions of intensive dust pollution of the air, based on the application of the modified method of complex assessment of the level of man-made hazard of industrial objects.

**Keywords:** technogenic danger, dust pollution, secondary pollution, atmospheric air, technical solutions, ecological safety, population morbidity.