

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ШЛЯХИ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОМОНІТОРИНГУ В МІСТІ КРИВИЙ РІГ

Салій І.В.<sup>1</sup>, Риженко Н.О.<sup>1</sup>, Засельський В.Й.<sup>2</sup>, Пополов Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

<sup>2</sup>Технологічний інститут  
Державного університету економіки і технологій  
вул. Степана Тільги, 5, 50006, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.  
dei2005@ukr.net, zaselskiy52@gmail.com

Місто Кривий Ріг за площею посідає друге місце серед міст України (після Києва), а разом із промисловими зонами та майданчиками – перше не лише в Україні, а й у Європі. Сьогодні вони займають площу понад 160 км<sup>2</sup>, що зіставне з площею такого обласного центру, як Одеса. Тут накопичено понад 6 млрд тонн відходів видобутку й переробки руд, із них 3 млрд тонн зосереджені в хвостосховищах. Значна кількість техногенних відходів істотно впливає на стан довкілля та здоров'я населення. За допомогою проведеного дисперсного аналізу пилу визначено, що вміст твердих часточок (РМ), що перебувають у зваженому стані в повітрі, розміром від 0 до 1,4 мкм становить понад 90%, а спеціалізовані пости моніторингу викидів пилу здійснюють виміри, починаючи з розміру РМ 2,5 мкм.

Мета дослідження – створення комп'ютерної-моделюючої бази даних із забруднення території міста для надання науково обґрунтованих пропозицій щодо встановлення сучасних станцій моніторингу повітря для виміру РМ, починаючи з розміру часток 1 мкм. Розроблена методика досліджень, із використанням комп'ютерного моделювання проведена обробка даних, зібраних діючими постами міста за 2019 і 2020 роки, ураховуючи напрям і швидкість вітрів. Окрім того, визначали відстань від джерела забруднення до місця в житловому масиві міста, де не буде перевищена ГДК.

З'ясовано, що рівні забруднення повітря в Кривому Розі не відповідає встановленим нормам. Уміст забрудників атмосферного повітря істотно перевищує ГДК за пилом, двоокисом азоту, оксидом вуглецю. Згідно з моделюючою базою даних забруднення довкілля, на основі аналізу проведених досліджень запропоновані місця для розміщення в Кривому Розі сучасних автоматизованих станцій моніторингу повітря для виміру пилу та газів відповідно до вимог Директив Євросоюзу, у житлових районах міста, що дасть змогу ефективніше проводити екомоніторинг і робити відповідні висновки щодо поліпшення екологічного стану та здоров'я мешканців Кривого Рогу. *Ключові слова:* екомоніторинг, забрудники, відходи видобутку, пил, екологічний стан міста, автоматизовані станції моніторингу, роза вітрів.

### **Research and paths to improve the environmental monitoring in the city of Kryvyi Rih. Saliy I., Ryzhenko N., Zaselskiy V., Popolov D.**

The city of Kryvyi Rih is the second largest city in Ukraine (after Kyiv), and together with industrial zones and sites – the first not only in Ukraine but also in Europe. Today they cover an area of over 160 km<sup>2</sup>, which is comparable to the area of such a regional center as Odessa.

More than 6 billion tons of ore mining and processing waste have been accumulated here, of which 3 billion tons are concentrated in tailings. Significant amounts of man-made waste significantly affect the environment and public health. Using the dispersed analysis of dust, it was determined that the content of solid particles (PM) in the suspended state in the air, the size of 0 to 1.4 μm is more than 90%, and specialized posts for monitoring dust emissions perform measurements starting from the size PM 2.5 μm.

The purpose of the study is to create a computer modeling database on pollution of the city to provide scientifically sound proposals for the installation of modern air monitoring stations for measuring the RM, starting with a particle size of 1 μm. Research methods have been developed, and data collected by current city posts for 2019 and 2020 have been processed using computer modeling, taking into account wind direction and speed. In addition, the distance from the source of pollution to the place in the residential area of the city, where the MPC will not be exceeded, was determined.

It was found that the levels of air pollution in Kryvyi Rih do not meet the established standards. The content of air pollutants significantly exceeds the MPC for dust, nitrogen dioxide, carbon monoxide. According to the modeling database of environmental pollution on the basis of the analysis of the conducted researches the places for placement in Kryvyi Rih of modern automated monitoring stations of air for measurement of dust and gases according to requirements of the EU Directives are offered in residential areas of the city. Improving the ecological condition and health of the residents of Kryvyi Rih. *Key words:* ecomonitoring, pollutants, mining waste, dust, ecological condition of the city, automated monitoring stations, wind rose.

**Постановка проблеми й актуальність дослідження.** У 2018 році Україна посіла 109 місце серед 180 країн світу за показниками захисту довкілля та його впливу на здоров'я населення. За даними Інституту оцінки і виміру показників здоров'я, забруднення атмосферного повітря спричинило в Україні понад 58000 смертей, що становить 10%

на рік. Одним із міст України, що має вищезазначені проблеми зі станом довкілля, є місто Кривий Ріг Дніпропетровської області. Сьогодні Кривий Ріг займає територію площею 430 км<sup>2</sup>, із яких 40% – це промислові зони і промислові майданчики. Їх розміри можна прирівняти до площі, що займає місто Одеса (162 км<sup>2</sup>) [1].

Кривий Ріг – найдовше за протяжністю місто в Європі, що розташоване з півночі на південь на понад 100 км, а також «найбрудніше», урахувавши наявність технологічних відходів від діяльності гірничо-металургійних підприємств міста. Так, у межах промислових зон гірничого відводу Кривбасу накопичено понад 6 млрд тонн відходів видобутку та переробки руд, із яких 3 млрд зосереджені в хвостосховищах, що за сумарною площею майже вдвічі перевищують найбільше прісноводне озеро України Світязь (26,2 км<sup>2</sup>) [2; 3].

Під час пересихання хвостосховищ утворюються пливки, з поверхонь яких виділяється пил, забруднюючи житлові масиви міста [4]. Аналогічна ситуація спостерігається й із пиловиділенням техногенних відвалів, утворених відходами гірничо-металургійного виробництва Кривбасу. Дисперсний склад пилу, досліджений за допомогою ситового аналізу, на хвостосховищах і відвалах гірничорудних підприємств представлений у таблиці 1.

З таблиці видно, що основна маса пилу має розмір 0...1,4 мкм, рівень розповсюдження якої необхідно визначити, зважаючи на забруднення довкілля та його вплив на здоров'я людей. РМ розміром 1 мкм здатні знаходитися в атмосферному повітрі упродовж тривалого проміжку часу, відповідно, трансгранично переноситися на великі відстані, проникати глибоко в легені людини й осідати там, спричиняючи серцево-судинні та респіраторні захворювання, а також рак. Зважаючи на те що вплив завислих частинок на здоров'я населення збільшується в міру зменшення діаметра частки, моніторинг забруднення повітря необхідно проводити починаючи з РМ розміром 1 мкм [5]. Проте в Кривому Розі працюють пости моніторингу викидів пилу, які, відповідно до своїх технічних характеристик, виконують виміри починаючи з розміру РМ 2,5 мкм. Це не дає змоги повною мірою відобразити картину забруднення територій міста. Окрім цього, у місті розміщено 27 постів моніторингу, більшість яких (18 постів) належить певному промислому підприємству. Вони доволі часто вимкнені для проведення технічного обслуговування або з інших технічних причин, що ускладнює здійснювати щоденний моніторинг стану повітря в місті.

Отже, проведення в Кривому Розі моніторингу забруднення повітря за показниками, які відповідають європейським вимогам, – актуальне й надзвичайно важливе завдання.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано в рамках НДР «Розроблення екологічно

прийнятих технологій поводження з відходами гірничорудної та металургійної промисловості» за номером Державної реєстрації 0120U101148.

Мета дослідження – визначення рівня забруднення повітря в Кривому Розі, використовуючи комп'ютерні технології на основі створеної моделюючої бази даних забруднення довкілля й надання науково обґрунтованих пропозицій щодо встановлення сучасних датчиків відповідно до вимог Директив Євросоюзу.

Методологія досліджень. Для реалізації програми досліджень виконали такі заходи:

- визначили основні джерела забруднення атмосферного повітря в місті Кривий Ріг і їх географічне розміщення;

- проаналізували належність, місця встановлення та географічну прив'язку до джерел забруднення діючих датчиків моніторингу атмосферного повітря;

- створили аналітичну базу результатів моніторингу атмосферного повітря за 2019/20 роки, керуючись даними, отриманими від наявних постів моніторингу атмосферного повітря;

- з використанням апарату математичної статистики провели обробку створеної аналітичної бази даних за параметрами, наведеними в таблиці 2;

- за структурними елементами забруднення побудували зведені діаграми їх розподілу територією міста за постами моніторингу атмосферного повітря та контролю порогових значень щодо гранично допустимих концентрацій (далі – ГДК);

- сформуvalи аналітичну базу моніторингу метеоданих за 2019/2020 роки;

- з використанням комп'ютерного моделювання обробили дані переміщення повітряних мас за цей період часу, зокрема побудували розу вітрів для міста Кривий Ріг і визначили середню швидкість вітру за напрямками;

- визначили відстань ( $L$ ) від забруднюючого джерела до місця, де не буде перевищення ГДК по пилу за рівнянням [6; 7]:

$$L = -144 \ln \frac{c}{1,42 \cdot 10^{-5} \omega} - 1,91h \text{ м}, \quad (1)$$

де  $c$  – задана концентрація пилу, мг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – питома пиловиділення з поверхні, мг/с·м<sup>2</sup>;  $h$  – висота відкосу забруднення над землею поверхнею;

- провели компіляцію розроблених баз даних і їх аналіз, на підставі якої запропонували місця встановлення сучасних автоматизованих станцій виміру пилу та газів – забрудників атмосферного повітря в житлових районах Кривого Рогу.

Таблиця 1

## Дисперсний склад пилу у відсотках

## Склад фракцій пилу за розмірами, мкм

0...1,4	1,4...4,2	4,2...9,8	9,8...15,0	15,0...30	більше 30
91,29	7,05	1,11	0,37	0,14	0,04

Таблиця 2

## Структурні елементи моніторингу

Елемент забруднення	Позначення
Двоокис азоту	NO <sub>2</sub>
Оксид азоту	NO
Двоокис сірки	SO <sub>2</sub>
Оксид вуглецю	CO
Аміак	NH <sub>4</sub>
Сірководень	H <sub>2</sub> S
Озон	O <sub>3</sub>
Пил 2,5...10 мкм	PM <sub>2,5-10</sub>

**Виклад основного матеріалу.** На рисунку 1 наведена зведена діаграма вимірів умісту в атмосферному повітрі двоокису азоту впродовж 2019 року.

Істотні викиди спостерігалися в літні місяці, коли NO<sub>2</sub> перевищував гранично допустиму норму майже в два рази, зокрема, за адресами: вул. Мухіної, 15; пл. Визволення, вул. Степана Тільги, 20.

Зведена діаграма замірів пилу, наведена на рисунку 2, підтверджує, що інтенсивність запилення практично на всіх постах збільшилася у весняно-літній період порівняно з осінньо-зимовим у середньому в 1,5–2 рази й сягає своїх пікових значень у серпні та вересні, де є точки, які свідчать, що концентрація пилу збільшилася порівняно з гранично допустимим значенням, рівним 0,15 мг/м<sup>3</sup>, майже в 10 разів (пост за адресою: вул. Переяславська й вул. Наливайка), де на стан забруднення можуть впливати відвали ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», або в 5 разів (пост за адресою: вул. Груні Романової, 6А), де може бути вплив хвостосховища та кар'єра АТ «ПівдГЗК»,

а також відвалів і кар'єра ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

На рисунку 3 представлена гістограма емісії CO, з якої видно, що перевищення норм відбувається головним чином у літній період часу.

Аналіз метеоданих дав змогу визначити, що на території міста переважають північно-східні (27,4%) та північно-західні (19,18%) вітри (рисунк 4), причому середня швидкість вітру за всіма напрямками відрізняється в середньому на 1,5...15% і становить приблизно 4%.

Класифікація швидкості вітру за шкалою Бофорта (рисунк 5) засвідчує, що переважають легкі та слабкі вітри, інколи помірні.

На території міста протягом аналізованого року переважала суха погода (рисунк 6) переважно з плюсовою середньою температурою повітря (рисунк 7).

На підставі проведених досліджень, розрахунків, швидкостей і побудованої «рози вітрів», що переважають у Кривому Розі, отримані і сформовані на карті координати місць розміщення сучасних автоматизованих станцій моніторингу повітря для виміру пилу і газів за показниками, що відповідають вимогам директив Євросоюзу. Визначили, що за переважних південно-східних, південно-західних і південних вітрів автоматизовані станції екомоніторингу доквілля повинні бути змонтовані в житлових масивах на відстані 1000 м від промислової зони металургійного комбінату та гірничозбагачувальних підприємств.

На рисунку 8 представлений фрагмент міської карти, на яку нанесені джерела техногенного забруднення, роза вітрів і місця розміщення автоматизо-

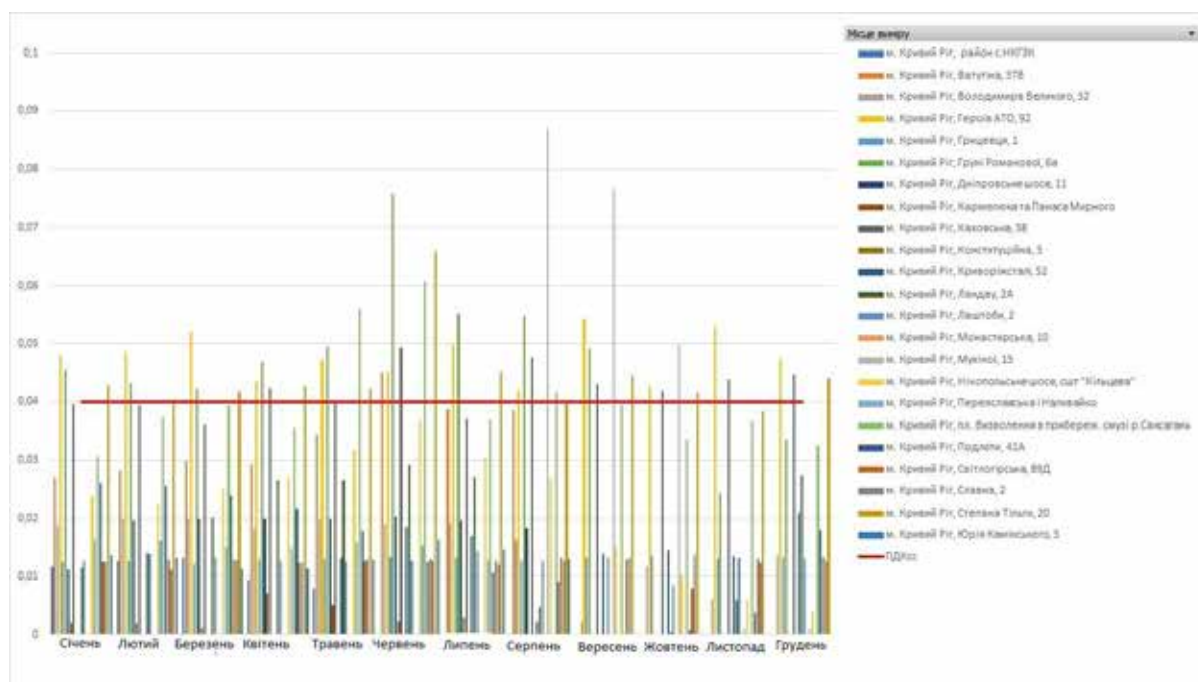


Рис. 1. Зведена діаграма вимірів умісту в атмосферному повітрі NO<sub>2</sub> впродовж 2019 року

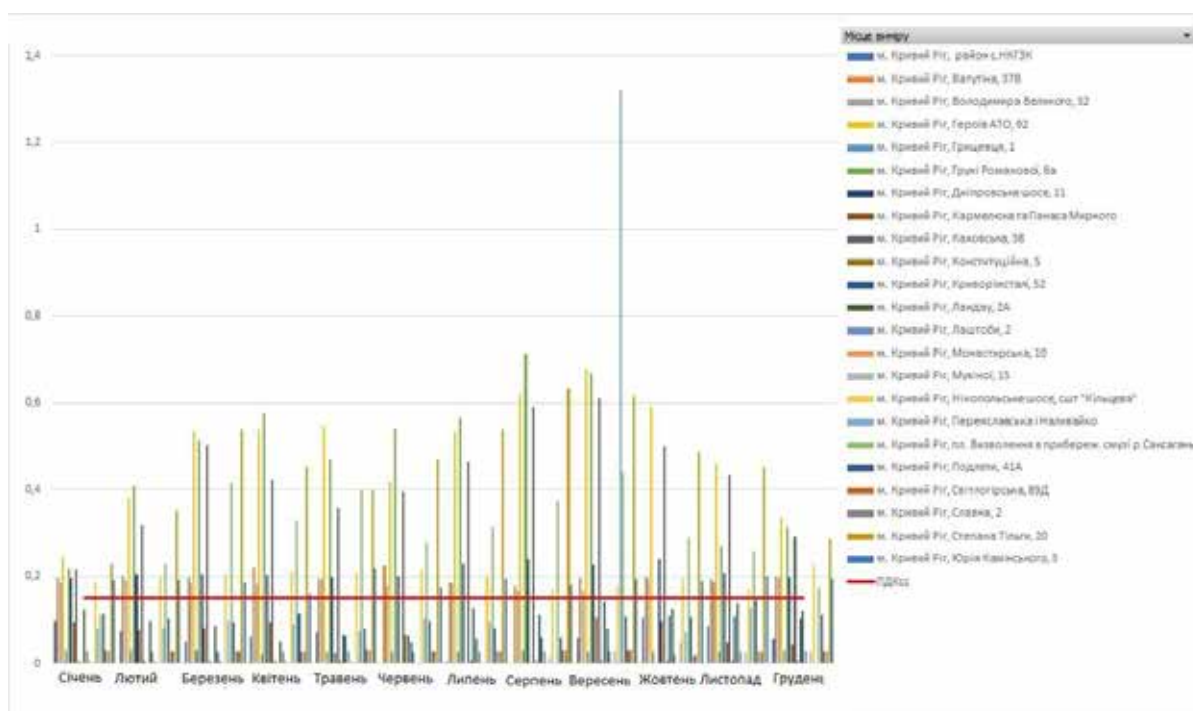


Рис. 2. Зведена діаграма вимірів умісту в атмосферному повітрі пилу впродовж 2019 року

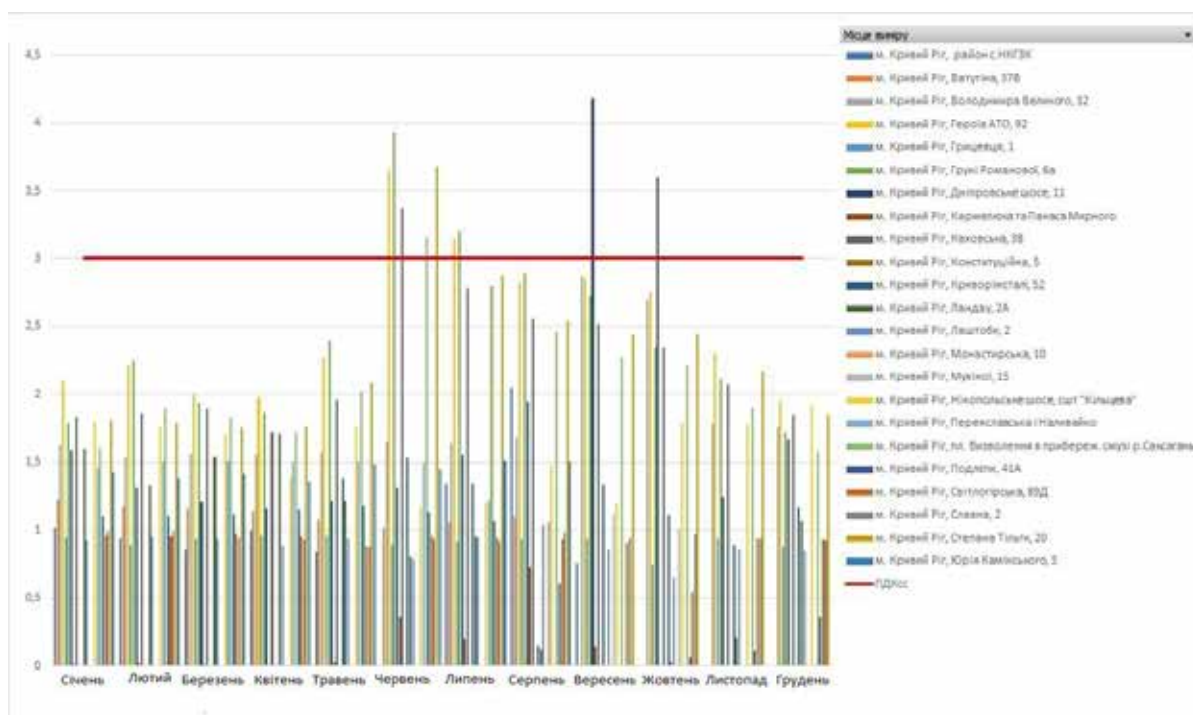


Рис. 3. Зведена діаграма вимірів умісту в атмосферному повітрі CO впродовж 2019 року

ваних станцій моніторингу повітря в житловому масиві, розташованого неподалік від забруднювача.

**Головні висновки.** Визначено, що повітря в Кривому Розі не відповідає встановленим нормативам якості. Уміст забруднюючих речовин істотно перевищує ГДК за вмістом пилу, двоокису азоту й оксиду вуглецю. Згідно з моделюючою базою даних

забруднення довкілля, надані пропозиції щодо місць розміщення в Кривому Розі сучасних автоматизованих станцій моніторингу повітря для виміру пилу та газів відповідно до вимог Директив Євросоюзу, що дасть змогу ефективніше проводити екомоніторинг і готувати відповідні пропозиції щодо поліпшення захисту довкілля і здоров'я мешканців міста.

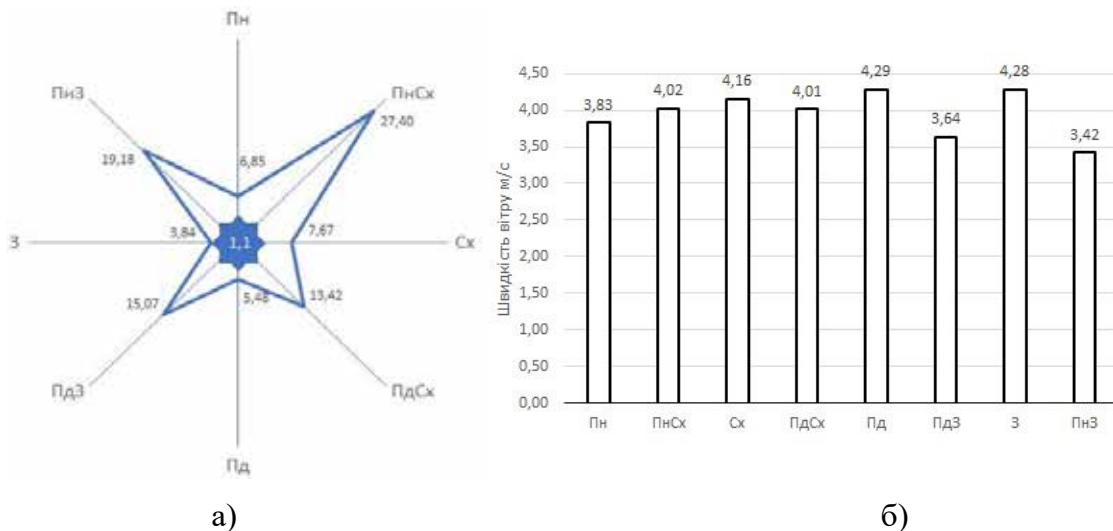


Рис. 4. «Роза вітрів» (а) та їх середньорічна швидкість за напрямками (б)

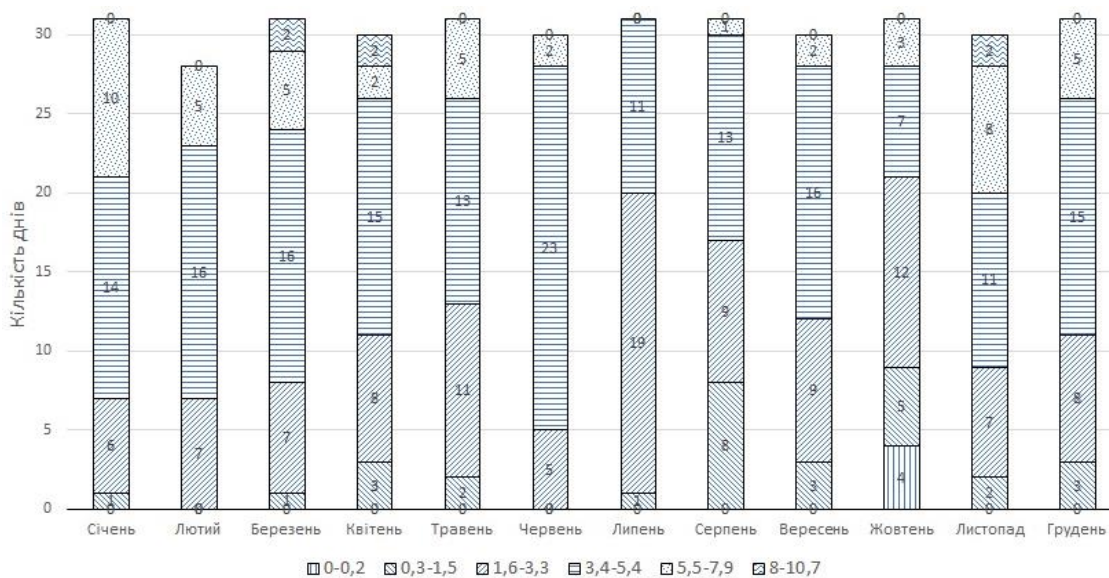


Рис. 5. Класифікація швидкості вітру за шкалою Бофорта

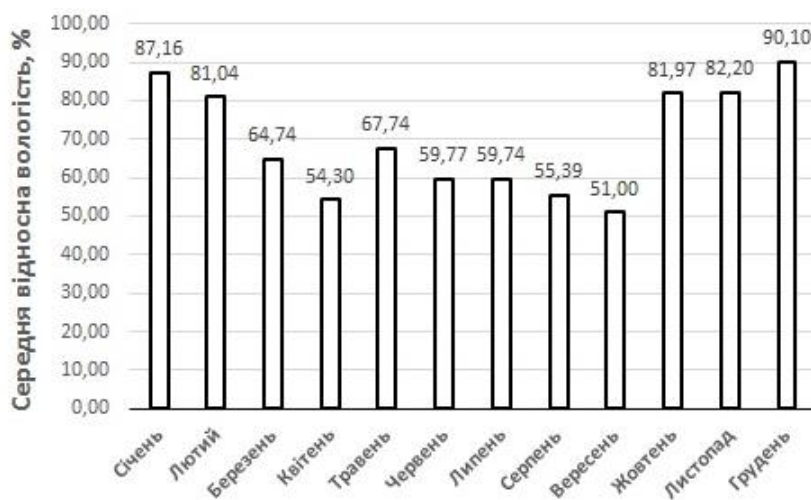


Рис. 6. Середня відносна вологість

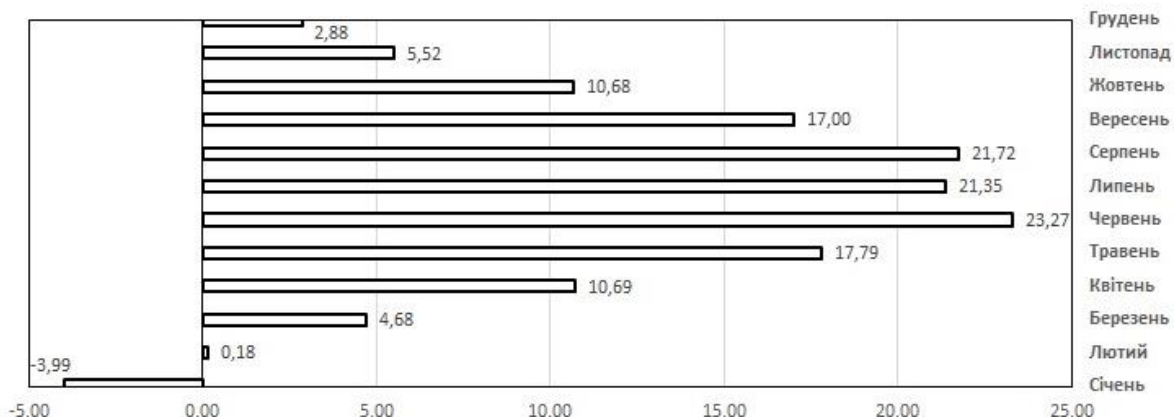


Рис. 7. Середня температура повітря, °C

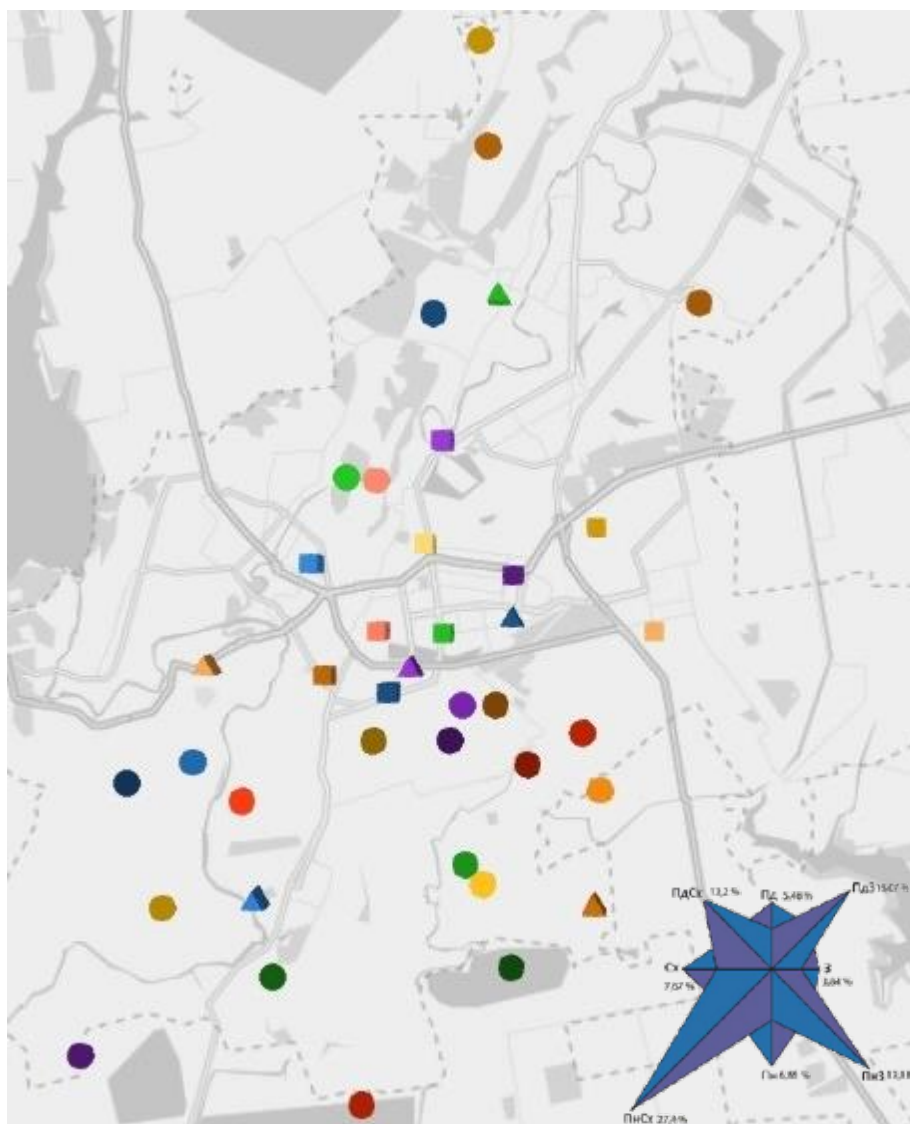


Рис. 8. Карта встановлення сучасних датчиків виміру пилу та забруднюючих газів в атмосферному повітрі житлових районів Кривого Рогу:

- – джерела забруднення; □ – рекомендоване розміщення компанією Airly (Польща);
- ▲ – пропонувані місця розміщення

## Література

1. Коцюруба В.В. На шляху до повного вивчення гірничо-промислових ландшафтів Кривбасу. Кривий Ріг : Природа Криворіжжя КДПУ, 2017. 11 с.
2. Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Колосов В.А. Переработка и комплексное использование минерального сырья техногенных месторождений. *Гірничий вісник*. 2013. Вип. 96. С. 3–10.
3. Медведева О.А. Анализ и современное состояние хранилищ продуктов переработки минерального сырья. *Збагачення корисних копалин*. 2012. Вип. 51 (92). С. 52–59.
4. Николишин Ю.М., Подойницын И.П. Анализ организационно-технических мероприятий по закреплению пылящих поверхностей. *Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі* : праці Міжнародної наук.-техн. конф. Кривий Ріг, 2016. С. 181.
5. Неменко Б.А., Илиясов А.Д., Арынова Г.А. Оценка степени опасности мелкодисперсных пылевых частиц воздуха. *Вестник Казанского национального медицинского университета*. 2014. Вип. 3 (1). С. 133–135.
6. Тыщук В.Ю., Деньгуб В.И. Развитие научных основ защиты воздуха рабочих зон карьеров от загрязнения пылью, выделяющейся со стационарных поверхностей. *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського*. Вип. 1 (72). С. 178–182.
7. Тыщук В.Ю. Развитие научных основ зашиту повітря робочих зон від забруднюючих речовин при відкритій розробці родовищ корисних копалин : автореф. дис. ... докт. тех. наук. Кривий Ріг, 2012. 36 с.