

received by him on safety and performance of the system. It is shown that the system performance decreases logarithmically as the volume of information received by the operative increases. It increases logarithmically with the increase of the parameter characterizing skills, experience and qualifications of the operative. And it increases linearly with the increase of the time resources required for solutions and the information confidence level.

**Originality.** For the first time we have established the regularities of the system safety and performance change depending on the psychophysical parameters of a miner, qualitative characteristics of information and its amount.

**Practical value.** We have developed methods and devices for obtaining more information about mining objects: the method of rapid visual control of the mine workings and equipment, individual device for monitoring of working conditions and receiving video, and information complex of events prediction using virtual overlay of reality.

**Keywords:** *safe working conditions, methods and devices obtaining additional information, geotechnical facilities, modeling, regularities*

*Рекомендована до публікації докт. техн. наук  
В.І. Дирдою. Дата надходження рукопису 12.06.13.*

УДК 550+502.175

**М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.,  
І.Р. Стахів**

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,  
м. Київ, Україна, e-mail: fatix@ukr.net

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ДЕТАЛЬНОСТІ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ЗАБРУДНЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ КИЇВСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ)

**M.N. Zhukov, Dr. Sci. (Geol.), Professor,  
I.R. Stakhiv**

Kyiv Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine,  
e-mail: fatix@ukr.net

## THE METHOD OF DETALIZATION OF POLLUTION SPATIAL DISTRIBUTION (ON THE EXAMPLE OF KIEV METROPOLITAN AREA)

**Мета.** Створити метод підвищення детальності просторового розподілу забруднення шкідливими домішками великих міст для моніторингу екологічного стану навколишнього середовища.

**Методика.** Полягає у відтворенні значень показника забруднення за оцифрованими показниками геолого-ландшафтних та екологічних умов.

**Результати.** Розроблено метод підвищення репрезентативності мережі спостережень, що суттєво підвищує ступінь відповідності оцінки просторового розподілу характеристик екологічного стану реальній ситуації. Побудовано карти просторового відображення забруднення м.Київ пилом. Встановлено множинні коефіцієнти кореляції між рівнем забруднення та показниками умов, що виявилися високими, у межах 0,82–0,98. Продемонстровано ефективність на прикладі м.Київ. Визначено показники умов, що найбільш тісним чином пов'язані з показником забруднення.

**Наукова новизна.** Полягає в розробці методу підвищення детальності просторового розподілу забруднення атмосферного повітря шкідливими домішками. Метод ґрунтується на встановленні множинного кореляційного зв'язку між показником забруднення та показником умов, в яких розташована точка спостереження. Для реєстрації цих умов запропонована бальна шкала для 8 показників (склад ґрунтів, рельєф території, забудованість, інтенсивність руху автотранспорту, зелені насадження, ступінь провітрюваності, віддаленість від джерела забруднення, характер покриття території).

**Практична значимість.** Метод дає можливість більш точно відобразити стан довкілля міста за таким показником як вміст пилу. Це дає можливість більш повно контролювати стан довкілля у ході проведення екологічного моніторингу.

**Ключові слова:** *просторовий розподіл, забруднення, атмосферне повітря, моніторинг, екологічний стан, Київська агломерація, мережа спостережень*

**Постановка проблеми.** Забруднення природного середовища великих міст набуває особливої актуальності в умовах зростання масштабів техногенезу.

Щорічно до повітряних басейнів міст із викидами промислових підприємств і транспорту надхо-

дять тисячі тонн різних шкідливих речовин [1]. У залежності від сполук промислових викидів, їх періодичності, висоти, на якій вони потрапляють у повітря, а також від кліматичних умов, що визначають перенос повітряних мас, розсіювання викидів і багатьох інших факторів, формується рівень забруднення атмосфери. Щоб поліпшити екологіч-

ний стан потрібно вчасно та адекватно оцінювати поточне забруднення навколишнього середовища [2]. Саме тому й не виникає сумнівів в актуальність даної проблеми.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідженню забруднення атмосферного повітря присвячені роботи А.Н. Маренка, О.В. Федорової, О.І. Коляди, І.Н. Пономаренка, І.В. Мартиновського, А.Н. Грищенко, С.І. Сніжка, О.Г. Шевченка. У них описано характерні шкідливі домішки та джерела їх надходження, визначені загальні закономірності впливу метеорологічних та ландшафтних чинників на формування рівня забруднення атмосферного повітря.

Дані, що використані у статті, надала Центральна геофізична (ЦГ) обсерваторія МНС України. Моніторинг забруднення атмосферного повітря проводився на шістнадцяти стаціонарних постах у восьми районах Києва, з різною інтенсивністю транспортного руху, викидами від промислових підприємств. Визначався вміст шкідливих домішок: завислі речовини (пил), діоксид сірки, оксид вуглецю

та діоксид азоту. Відбір та аналіз проб атмосферного повітря проводився згідно з вимогами РД 52.04.186-89 „Руководство по контролю загрязнения атмосферы“, Москва, 1991 р. [3].

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 показаний просторовий розподіл концентрацій пилу на території Київської агломерації у 2007 р. Як видно на рис. 1, а та 1, б, простежуються суттєві недоліки відображення, викликані, насамперед, надто низькою просторовою репрезентативністю спостережень. На рис. 1, а та 1, б відображено область надмірних концентрацій пилу в тих районах, де насправді екологічна ситуація є далекою від критичної. Наприклад, це стосується обширної зеленої зони в Києво-Святошинському районі, на якій відображена область підвищеної концентрації пилу. Пакет “Surfer”, використаний для побудови просторового відображення поля, так апроксимує реальне поле забруднення через низьку репрезентативність у цілому та відсутність спостережень у цій частині території.

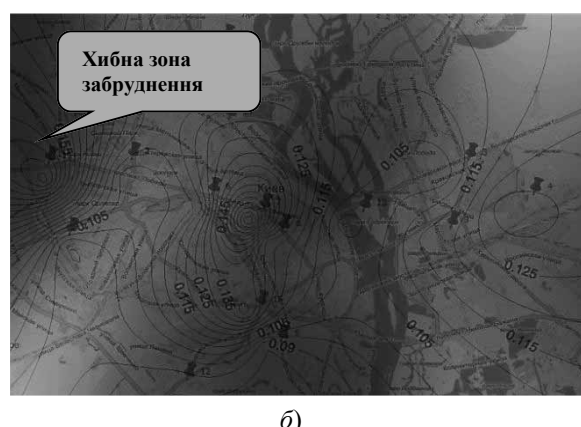
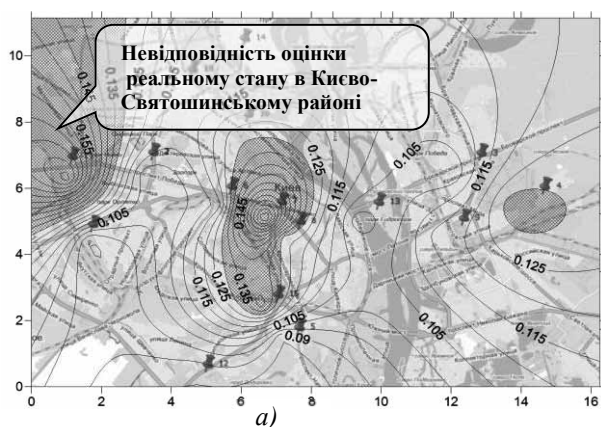


Рис. 1. Просторове відображення забруднення території пилом за спостереженнями 2007 р. за 16 спостереженнями ЦГ обсерваторії: а) рівень забруднення поля показано в ізолініях; б) рівень забруднення поля показано інтенсивністю сірого кольору

Таким чином, реальний просторовий розподіл концентрацій домішок із потрібною детальністю за наявною мережею спостережень виявився неможливим. Потрібно було знайти метод, що дозволив би усунути проблему браку репрезентативності, розробити механізм, який дозволив би встановити з прийнятно низькою похибкою значення показника забруднення в додаткових точках мережі.

Рівень забруднення повітря та ґрунтів залежить від геолого-ландшафтних умов, антропогенних та техногенних факторів. Було вирішено спробувати оцифрувати такі фактори та з'ясувати рівень зв'язку між показником забруднення та умовами.

Високий кореляційний рівень зв'язку створив би умови для встановлення значень цільових показників методом непрямих вимірювань у будь-якій точці досліджуваної території, якщо тільки умови в ній будуть виражені в цифровому форматі. Для цього була створена бальна шкала, що складалася з 8 показників умов:

склад ґрунтів, рельєф території, її забудованість, інтенсивність руху автотранспорту, зелені насадження, ступінь провітрюваності, віддаленість від джерела забруднення, характер покриття території. Дані показники були виражені в бальній шкалі (табл. 1).

Для оцінки практичних можливостей методу було проведено апробацію на предмет встановлення рівня множинного статистичного зв'язку між рівнем забруднення та умовами, що реєструються в показниках. Було проведено множинний кореляційний аналіз за алгоритмом, описаним М.Н. Жуковим [4].

У табл. 2 представлені рівняння регресії та коефіцієнти кореляції цільових показників забруднення з умовами спостережень. Множинні коефіцієнти кореляції виявилися достатньо високими, у межах 0,82–0,98 (табл. 2). Найбільш впливовими за рівнем пилу виявилися показники умов № 3, 6 та 8 (табл. 1). Для діоксиду сірки – показники № 5, 6 та 8; для оксиду вуглецю – № 1, 5 та 6; для діоксиду азоту – № 1, 5 та 6.

Таблиця 1

Цифрова ідентифікація геолого-ландшафтних показників та екологічних умов території м. Київ

№ п/п	Показник	Стан показника	Бал
1	Склад ґрунтів	супісок	0
		легкий суглинок	1
		середній суглинок	2
2	Рельєф території	височина – 1 (>160 м)	0
		височина – 0 (140–160 м)	1
		низовина – 1 (120–140 м)	2
		низовина – 0 (до 120 м)	3
3	Забудованість території	відсутня	0
		низька	1
		середня	2
		щільна, висотна	3
4	Інтенсивність руху автотранспорту	низька	0
		середня	1
		висока	2
5	Зелені насадження	паркова зона	0
		зелена зона	1
		насадження біля проїжджої частини	2
6	Ступінь провітрюваності	висока	0
		середня	1
		низька	2
7	Віддаленість від джерела забруднення	далека (>100 м)	0
		середня (50–100 м)	1
		близька (до 50 м)	2
8	Характер покриття	зелена зона	0
		зелена зона, частково асфальт, дорожнє покриття, тротуар	1
		асфальт, дорожнє покриття, тротуар, частково зелена зона	2
		асфальт, дорожнє покриття	3

Було створено програмний модуль, вхідну інформацію для якого надають файли зареєстрованих умов та вимірних рівнів забруднення у стаціонарних точках. На рис. 2 представлені дані порівняння результа-

тів прогнозування з прямими вимірюваннями концентрацій пилу. Як видно з рис. 2, спостерігається висока збіжність прогнозних значень з прямими вимірюваннями. Отже, встановлення значень поля забруднення є ефективним і відповідає реальним даним. Аналогічна картина спостерігалася й за іншими цільовими показниками забруднення.

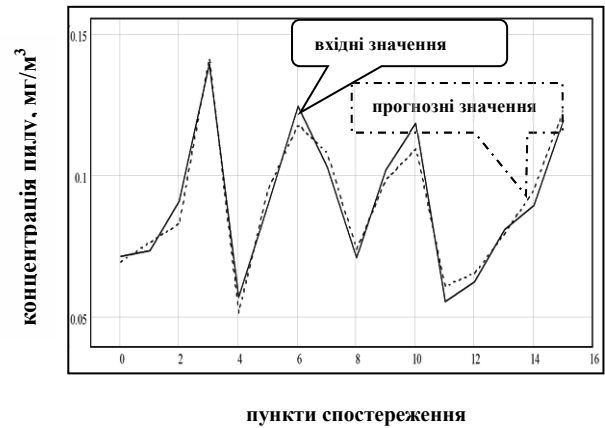


Рис. 2. Зіставлення результатів прогнозування з прямими вимірюваннями концентрацій пилу (множинна лінійна регресія)

З метою оцінки впливу окремих показників було визначено оцінки коефіцієнтів кореляції між концентраціями шкідливих домішок (пил, діоксид азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю) та показниками умов забруднення. Результати наведено в табл. 3.

Як видно з табл. 3, найбільший коефіцієнт кореляції концентрацій пилу спостерігається з 8-м показником (характер покриття), з 5-м (зелені насадження), 7-м (віддаленість від джерела забруднення), а найслабший – між 2-м (рельєф) та 1-м (склад ґрунтів). Несподівано сильний, на перший погляд, зв'язок між концентрацією пилу та характером покриття є цілком зрозумілим. Цей показник характеризує наявність або відсутність зеленої зони, що безпосередньо впливає на здатність віддавати пил у повітря. Що стосується діоксиду сірки, то коефіцієнт кореляції між концентрацією цього забруднювача та 8-м показником (характер покриття) дещо менший, що також є цілком зрозумілим. Відносно висока кореляція між діоксидом азоту та 3-м показником (забудованістю), 5-м (зеленими насадженнями) та 6-м (ступенем провітрюваності). Оксид вуглецю корелює з 5-м (зелені насадженнями) та 8-м показниками (характер покриття).

Було визначено 74 додаткових точки спостереження. Для кожної з цих точок були зафіксовані умови реєстрації за створеною бальною шкалою (табл. 1) та розраховані концентрації забруднювача.

На рис. 3 показано відображення просторових закономірностей поля забруднення за 2007 р. Як показує порівняння рис. 1 та рис. 3, досягнуто значно вищий рівень деталізації, так само як суттєво краща відповідність реальному просторовому розподілу забруднення Києва.

Рівняння регресії показників забруднення території м. Київ

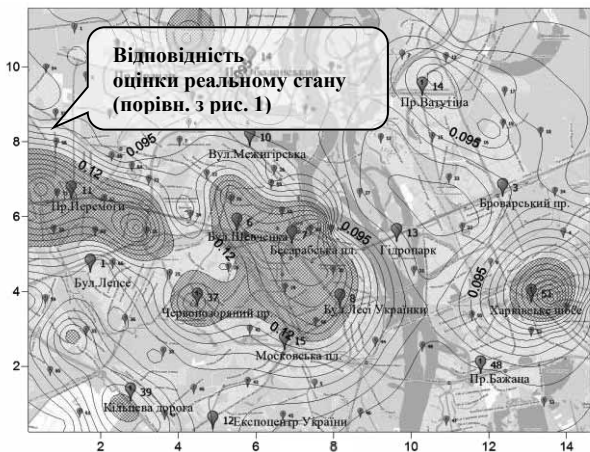
Рік	Показник забруднення	Рівняння регресії	Найбільші коефіцієнти регресії * 10 <sup>-3</sup>	Найбільш впливовий показник	Множинний коефіцієнт кореляції	Найбільші часткові коефіцієнти кореляції
2001	пил	$F(x)=(3,29x_1+1,3x_2+3,49x_3+5,47x_4+0,012x_5+1,64x_6+5,12x_7+15x_8)*10^{-3}+0,044$	15; 5,47	x <sub>8</sub> , x <sub>4</sub>	0,94	0,91; 0,67
2004	пил	$F(x)=(1,74x_1+4,63x_2+1,72x_3+9,43x_4+27x_5+0,88x_6+18x_7+18x_8)*10^{-3}+0,055$	18; 18	x <sub>7</sub> , x <sub>8</sub>	0,98	0,78; 0,85
2006	пил	$F(x)=(1,65x_1+3,08x_2+16x_3+4,3x_4+6,33x_5+6,13x_6+6,14x_7+0,019x_8)*10^{-3}+0,087$	16; 6,33	x <sub>3</sub> , x <sub>5</sub>	0,86	0,21; 0,615
2009	пил	$F(x)=(4,81x_1+6,91x_2+37x_3+17x_4+24x_5+27x_6+3,07x_7+15x_8)*10^{-3}+0,117$	37; 27	x <sub>3</sub> , x <sub>6</sub>	0,91	0,225; 0,556
2002	діоксид сірки	$F(x)=(0,361x_1-0,153x_2-0,684x_3-0,729x_4+11x_5+0,83x_6+11x_7+0,10x_8)*10^{-3}+0,012$	11; 11	x <sub>8</sub> , x <sub>5</sub>	0,94	0,639; 0,767
2005	діоксид сірки	$F(x)=(0,51x_1-0,16x_2-1,32x_3-0,98x_4+4,98x_5-0,544x_6+0,026x_7-0,51x_8)*10^{-3}+0,011$	4,98; 0,51	x <sub>5</sub> , x <sub>1</sub>	0,78	0,658; -0,345
2007	діоксид сірки	$F(x)=(0,546x_1+0,615x_2-0,013x_3-0,516x_4+1,79x_5+0,484x_6+0,881x_7-0,117x_8)*10^{-3}+0,0034$	1,79; 0,88	x <sub>5</sub> , x <sub>7</sub>	0,94	0,757; 0,662
2009	діоксид сірки	$F(x)=(1,32x_1+0,746x_2+2,38x_3-0,0588x_4-0,891x_5-0,592x_6+0,911x_7+1,85x_8)*10^{-3}+0,0057$	2,38; 1,85	x <sub>3</sub> , x <sub>8</sub>	0,85	0,636; 0,674
2001	оксид вуглецю	$F(x)=(-114x_1+2,85x_2-661x_3-119x_4+152x_5+748x_6-314x_7-293x_8)*10^{-3}+3,671$	748; 152	x <sub>6</sub> , x <sub>5</sub>	0,87	0,657; 0,73
2006	оксид вуглецю	$F(x)=(-228x_1+23x_2-370x_3-303x_4+841x_5+167x_6-181x_7-232x_8)*10^{-3}+1,508$	841; 181	x <sub>5</sub> , x <sub>7</sub>	0,86	0,765; 0,712
2008	оксид вуглецю	$F(x)=(493x_1-198x_2-836x_3+830x_4+0,166x_5+962x_6+335x_7+274x_8)*10^{-3}-0,389$	962; 493	x <sub>6</sub> , x <sub>1</sub>	0,85	0,609; -0,342
2010	оксид вуглецю	$F(x)=(427x_1-146x_2-657x_3+155x_4-213x_5+109x_6+294x_7+372x_8)*10^{-3}-0,42$	427; 372	x <sub>1</sub> , x <sub>8</sub>	0,82	-0,41; 0,52
2001	діоксид азоту	$F(x)=( -3,19x_1+0,054x_2+9,45x_3-6,66x_4+12x_5+1,29x_6-0,718x_7-1,45x_8)*10^{-3}+0,042$	12; 9,45	x <sub>5</sub> , x <sub>3</sub>	0,92	0,792; 0,873
2006	діоксид азоту	$F(x)=(24x_1+1,67x_2+12x_3+2,68x_4+13x_5+5,51x_6+15x_7+10x_8)*10^{-3}+0,015$	24; 15	x <sub>1</sub> , x <sub>7</sub>	0,97	0,504; 0,747
2008	діоксид азоту	$F(x)=(25x_1-3,24x_2-22x_3+5,03x_4-3,9x_5+39x_6+23x_7+11x_8)*10^{-3}-0,0053$	39; 25	x <sub>6</sub> , x <sub>1</sub>	0,89	0,736; -0,361
2010	діоксид азоту	$F(x)=(24x_1-3,61x_2-18x_3+14x_4-45x_5+56x_6+18x_7+28x_8)*10^{-3}-0,006$	56; 28	x <sub>6</sub> , x <sub>8</sub>	0,89	0,75; 0,611

У рівняннях табл. 2 вжито такі позначення: x<sub>1</sub> – склад ґрунтів; x<sub>2</sub> – рельєф; x<sub>3</sub> – забудованість; x<sub>4</sub> – інтенсивність руху автотранспорту; x<sub>5</sub> – зелені насадження; x<sub>6</sub> – ступінь провітрюваності; x<sub>7</sub> – віддаленість від джерела забруднення; x<sub>8</sub> – характер покриття.

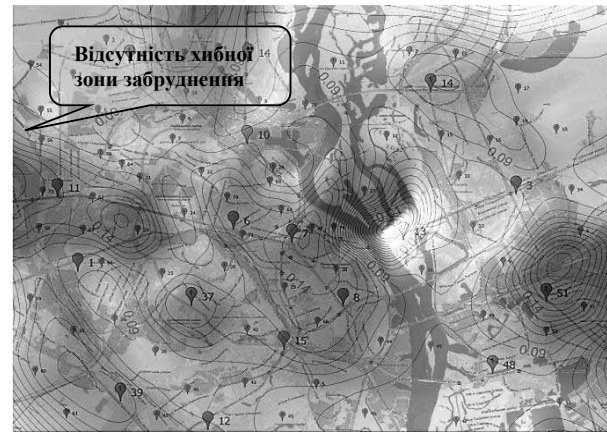
Таблиця 3

Коефіцієнти кореляції між концентраціями шкідливих домішок (пил, діоксид азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю) та показниками умов м. Київ

Номер показника	Показник забруднення	Пил, коэф. кор.	Діоксид сірки, коэф. кор.	Діоксид азоту, коэф. кор.	Оксид вуглецю, коэф. кор.
1	склад ґрунтів	-0,797	-0,549	-0,565	-0,692
2	рельєф території	0,227	-0,269	-0,0024	0,201
3	забудованість території	0,543	0,644	0,873	0,438
4	інтенсивність руху автотранспорту	0,647	0,643	0,516	0,554
5	зелені насадження	0,773	0,711	0,792	0,730
6	ступінь провітрюваності	0,616	0,617	0,784	0,657
7	віддаленість від джерела забруднення	0,731	0,526	0,649	0,571
8	характер покриття	0,915	0,564	0,656	0,728



а)



б)

Рис. 3. Просторове відображення забруднення пилом у 2007 р. за розширеною мережею спостережень (74 точки): а) рівень забруднення поля показано в ізолінях; б) рівень забруднення поля показано інтенсивністю сірого кольору

**Висновки й перспективи розвитку напрямку.**

Запропонований метод дозволяє суттєво підвищити ступінь відповідності оцінки просторового розподілу характеристик екологічного стану реальній ситуації. Доведено практичною апробацією на прикладі Київської агломерації високу ефективність методу за рахунок використання вираженої в цифровій формі інформації щодо умов у точках спостережень.

**Список літератури / References**

1. Сніжко С.І. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста / С.І. Сніжко, О.Г. Шевченко. – К. : Видавництво географічної літератури „Обрії“, 2011. – 297 с.  
 Snizhko, S.I., Shevchenko, O.G., (2011), *Urbometeorologichni aspekty zabrudnennia atmosfernogo povitria velykogo mista* [Meteorological Aspects of Air Pollution

of Urban Areas], “Obrii”, Kyiv, Ukraine.  
 2. Каменева І.П. Комплексний аналіз екологічної безпеки міста на основі сучасних ГІС-технологій / І.П. Каменева, Д.О. Полішко, О.О. Попов // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – №5. – С. 41–46.  
 Kameneva, I.P., Polishko, D.O. and Popov, O.O. (2008), “Comprehensive analysis of environmental protection on the basis of modern GIS technology”, *Ekologiya dovkillia ta bezpeka zhyttdiialnosti*, no. 5, pp. 41–46.  
 3. Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: РД 52.04. 186-89. – М.: Министерство здравоохранения СССР, 1991. – 549 с.  
 Rykovodyashuy document. *Rukovodstvo po kontroly zahryazneniya atmosfery* (1991), [Guidance Document.

Guidelines for Air Pollution Control], Ministerstvo zdorovokhraneniya SSSR, Moscow.

4. Жуков М.Н. Математична статистика та обробка геологічних даних / Жуков М.Н. – К.: Вища школа, 2008. – 481 с.

Zhukov, M.N. (2008), *Matematychna statystyka i obrobka geologichnykh danykh* [Mathematical Statistics and Processing of Geological Data], Vusha shkola, Kyiv, Ukraine.

**Цель.** Создать метод повышения детальности пространственного распределения загрязнения вредными примесями крупных городов для мониторинга экологического состояния окружающей среды.

**Методика.** Заключается в воспроизведении значений показателя загрязнения по оцифрованным показателям геолого-ландшафтных и экологических условий.

**Результаты.** Разработан метод повышения репрезентативности сети наблюдений, который существенно повышает степень соответствия оценки пространственного распределения характеристик экологического состояния реальной ситуации. Построены карты пространственного отображения загрязнения г.Киев пылью. Установлены множественные коэффициенты корреляции между уровнем загрязнения и показателями условий, которые оказались высокими, в пределах 0,82–0,98. Продемонстрирована эффективность на примере г. Киев. Определены показатели условий, которые наиболее тесным образом связаны с показателем загрязнения.

**Научная новизна.** Заключается в разработке метода повышения детальности пространственного распределения загрязнения атмосферного воздуха вредными примесями. Метод основан на установлении множественной корреляционной связи между показателем загрязнения и показателем условий, в которых находится точка наблюдения. Для регистрации этих условий предложена бальная шкала для 8 показателей (состав почв, рельеф территории, застройка, интенсивность движения автотранспорта, зеленые насаждения, степень проветривания, удаленность от источника загрязнения, характер покрытия территории).

**Практическая значимость.** Метод дает возможность более точно отражать состояние окружающей среды города по такому показателю как содержание

пыли. Это дает возможность более полно контролировать состояние окружающей среды в ходе проведения экологического мониторинга.

**Ключевые слова:** *пространственное распределение, загрязнение, атмосферный воздух, мониторинг, экологическое состояние, Киевская агломерация, сеть наблюдений*

**Purpose.** To create the method of detalization of spatial distribution of harmful impurities in big cities for ecological monitoring of the environment.

**Methodology.** We have reproduced the values of pollution parameters by digitized parameters of geological and landscape, and environmental conditions.

**Findings.** We have developed the method of improvement of representativeness of monitoring network. This increases significantly the conformity of the assessment of the ecological characteristics spatial distribution to real situation. We have constructed the maps of pollution of the city of Kyiv by dust. Multiple correlation coefficients have been found between the pollution level and the parameters of environment conditions. They have high values of 0.82–0.98. The example of the city of Kyiv shows us the effectiveness of the method. We have determined the parameters of environment conditions most closely associated with the rate of pollution.

**Originality.** The method of detalization of spatial distribution of harmful impurities in air is based on measuring of the multiple correlations between the pollution index and the index of environment conditions in the observation point. To register environment conditions we have proposed the point scale for 8 parameters (soil composition, relief, urbanization degree, transport traffic, green spaces, aeration, distance from the source of contamination, nature of the surface).

**Practical value.** The method makes it possible to reflect the state of the environment in cities more accurately. This assures complete control over the state of environment by environmental monitoring.

**Keywords:** *spatial distribution, pollution, air monitoring, environmental status, Kyiv agglomeration, network observations*

*Рекомендовано до публікації докт. фіз.-мат. наук М.А. Якимчуком. Дата надходження рукопису 30.05.13.*