

УДК 502:504

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ОДЕСА ДІОКСИДОМ АЗОТУ

А. В. Чугай, В. В. Терземан

Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, [avchugai@ukr.net](mailto:avchugai@ukr.net)

В Україні у великих містах з високою концентрацією населення якість атмосферного повітря здебільшого не відповідає вимогам. Для Одеси якість атмосферного повітря є критичною важливою складовою, оскільки місто є рекреаційним і курортним центром України. Поряд з цим Одеса – місто мільйонник з великою кількістю автотранспорту, вантажоперевезень через знаходження на території міста морського порту. Однією з основних забруднюючих речовин є діоксид азоту, основним джерелом надходження якого у повітряний басейн є автотранспорт.

У роботі представлено результати апробації окремих методів короткострокового прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту. В якості вихідних даних використані матеріали Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні, дані спостережень за забрудненням атмосферного повітря на мережі стаціонарних пунктів.

Отримані результати прогнозу у зимовий період за методом УкрНДГМІ показали, що динаміка зміни фактичних значень показника  $Q$  співпадає з прогностичними значеннями даного показника. У літній період фактичне значення  $Q$  майже в кожному випадку співпадало з прогностичними показниками. Справджуваність прогнозу за методом УкрНДГМІ в зимовий період в середньому складала 96,6 %, у літній період – 98,3 %. За методом розпізнавання образів у зимовий і літній періоди відсоток справджуваності прогнозів склав 67 %.

Метод УкрНДГМІ виявився більш надійнішим, ніж метод розпізнавання образів. Низький відсоток справджуваності за методом розпізнавання образів може бути пов'язаний з малим розкидом класів забруднення в даній вибірці, а також зі спрямованістю методики на визначення класу забруднення, а не рівня забруднення. Недоліком використання методу УкрНДГМІ є неможливість його використання в осінній та весняний періоди.

Прогнозування забруднення атмосферного повітря є одним з основних способів вирішення проблем якості повітря у промислово-міських агломераціях. Розробка ефективної прогностичної схеми забруднення повітряного басейну міста може дозволити превентивно реагувати на погіршення якості атмосферного повітря.

**Ключові слова:** прогноз забруднення; інтегральний показник; справджуваність.

### 1. ВСТУП

У великих містах з високою концентрацією населення якість атмосферного повітря здебільшого не відповідає вимогам, що можна пояснити великою кількістю автотранспорту, густотою забудови і численними промисловими підприємствами. Для Одеси якість атмосферного повітря є критичною важливою складовою, оскільки місто є рекреаційним і курортним центром України. Місто Одеса є великим мегаполісом, населення якого зростає з кожним роком. Також збільшуються кількість джерел забруднення атмосферного повітря (переважно пересувних), що знижує якість повітря і, як наслідок, призводить до погіршення здоров'я мешканців міста.

Загальний рівень забруднення атмосферного повітря в Україні за індексом забруднення атмосфери становив у 2020 р. згідно Національної доповіді про стан довкілля України 7,0 і оцінювався як високий [1].

Однією з основних забруднюючих речовин (ЗР) є діоксид азоту ( $NO_2$ ), основним джерелом надходження якого у повітряний басейн є автотранспорт. За відсотковим співвідношенням обсяг викидів  $NO_2$  від пересувних джерел забруднення в Україні у 2020 р. становив 10,6 % (близько 190 тис. т) [1].

З метою покращення стану атмосферного повітря важливим є прогнозування, що дозволяє визначити зміни рівня забруднення певною ЗР в атмосферному басейні міста при стабільно незмінних викидах комплексу речовин.

## 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є порівняльний аналіз окремих методів короткострокового прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом азоту.

В якості вихідних даних використані матеріали Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні, дані спостережень за забрудненням атмосферного повітря на мережі стаціонарних пунктів спостережень за грудень 2016 – серпень 2017 рр. Також окремі метеорологічні характеристики були визначені за допомогою ресурсу [2].

Сучасні мегаполіси, такі як Одеса, займають величезну територію (близько десяти – сотень квадратних кілометрів). Тому концентрації ЗР в атмосфері можуть змінюватися під впливом різних мезо- і макромасштабних процесів, що проходять в атмосферному повітрі [3]. Саме тому велика увага приділяється розгляду метеорологічних параметрів, які впливають на перенесення шкідливих домішок, і умов стійкості атмосфери під час процесів відповідних масштабів.

У роботі [4] авторами було представлено результати використання методу короткострокового прогнозу рівня забруднення повітряного басейну м. Одеса  $NO_2$  в літній період. Як прогностичний метод було використано методуку УкрНДГМІ [5], апробовану пізніше у роботах [6, 7].

У даній роботі розроблена схема прогнозу і для зимового періоду (грудень, січень, лютий). Прогнозувалась середня за добу і по місту нормована концентрація  $Q$ .

У прогностичну схему включені такі показники:

- температура повітря ( $t$ ) для зимового та літнього періодів в приземному шарі в 03:00 і 15:00 год.;
- напрямок ( $D$ ) та швидкість вітру ( $V$ ) у строки 03:00 і 15:00 год.;
- тип синоптичного процесу ( $C$ ) в 03:00 год.;
- середня за добу і по місту нормована концентрація ЗР за попередню добу ( $Q'$ ).

Оцінка справджуваності проводиться відповідно до груп забруднення (табл. 1).

Іншої прогностичною схемою був метод розпізнавання образів (МРО).

Розпізнавання образів – це віднесення вихідних до певного класу за допомогою виділення існуючих ознак або властивостей, що характеризують ці дані, із загальної сукупності ознак.

Таблиця 1 – Оцінка справджуваності прогнозу [8]  
Table 1 – Assessment of the forecast reliability

№ групи	Ступінь забруднення атмосфери	Градація	Допустима градація, при якій прогноз вважається справжуваним
1.	Понижене	$\leq 0,7$	$\leq 0,9$
2.	Помірне	$0,8 - 1,3$	$0,6 - 1,5$
3.	Високе	$\geq 1,4$	$\geq 1,2$

МРО відноситься до групи синоптико-статистичних моделей прогнозу. Він полягає у визначенні подібності конкретної ситуації з ситуацією, характерною для будь-якої групи рівня забруднення, наприклад, підвищеного, середнього або зниженого. Для розбиття на групи всі значення параметра фонового показника забруднення  $P$  розташовуються в порядку зменшення. Зазвичай виділяють 3 групи рівнів забруднення: I група –  $P > 0,35$ , II група –  $0,35 \geq P > 0,20$ , III група –  $P \leq 0,20$  [8].

Розробка прогностичної схеми зводиться до визначення середніх значень і дисперсій предикторів даної групи концентрацій (високих, середніх або низьких концентрацій). При складанні прогнозу обчислюються «відстань» від передбачуваної ситуації до отриманих груп, і ця ситуація відноситься до групи, до якої мінімальна відстань [9]:

$$\rho_I^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(X_i - \bar{X}_i^I)^2}{(\sigma_i^I)^2}, \quad (1)$$

де

$$(\sigma_i^I)^2 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (X_{ij}^I - \bar{X}_i^I)^2. \quad (2)$$

## 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Оскільки прогностична модель УкрНДГМІ заснована на спостереженнях 1999 р., було виконано перерахунок значень метеопараметрів в середнє значення нормованої концентрації  $NO_2$  [5]. На основі перетворених параметрів побудовано рівняння множинної регресії побудовано.

Як зазначалось вище, результати складення прогнозу для літнього періоду наведено авторами у роботі [4]. Наведемо прогностичну схему для зимового періоду.

Рівняння множинної регресії побудовано на основі перетворених параметрів рівняння регресії, які наведені в табл. 2.

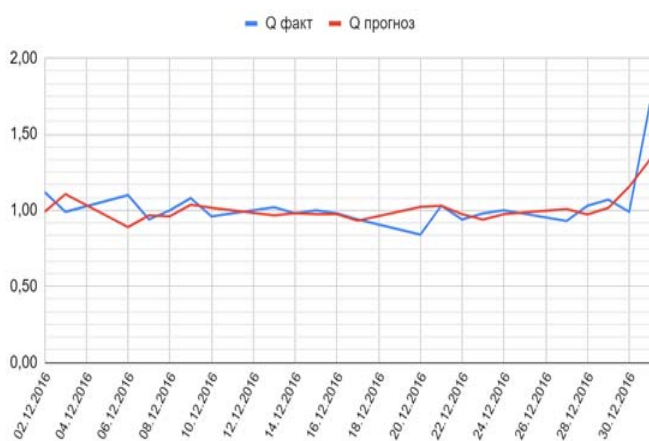
**Таблиця 2** – Параметри рівняння регресії для  $NO_2$   
**Table 2** - Regression equation parameters for  $NO_2$

Перетворені предиктори					Вільний член
$T_{03}$	$D_{15}$	$V_{15}$	$C$	$Q'$	
0.52	0.43	0.44	0.40	0.80	-1.60

Так, рівняння для  $NO_2$  в зимовий період має вигляд:

$$Q_{NO_2} = 0.52Q(T_{03}) + 0.43Q(D_{15}) + 0.44Q(V_{15}) + 0.40Q(C) + 0.80Q(Q') - 1.60. \quad (3)$$

Розрахувавши за допомогою даного рівняння прогнозовані значення концентрації  $NO_2$  за грудень, січень, лютий 2016 – 2017 рр., було побудовано динаміку фактичних і прогностичних значень  $Q$  (рис. 1 – 3).



**Рис. 1** – Динаміка зміни фактичних і прогностичних значень  $Q$  ( $NO_2$ , грудень 2016 р.)  
**Fig. 1** – Dynamics of change of actual and prognostic  $Q$  values ( $NO_2$ , December 2016)

Аналіз рис. 1–3 показав, що динаміка зміни фактичних значень показника  $Q$  для  $NO_2$  в м. Одеса у зимовий період 2016 – 2017 рр. співпадає з його прогностичними значеннями.

Для більш точної оцінки адекватності прогностичної моделі було складено таблиці для оцінки справджуваності прогнозів. Так, у грудні 2016 р. були використані дані спостережень за 27 діб, з яких було відкинута 5, що не відповідали вимогам використання даного методу. З 22 спрогнозованих випадків забруднення 21 випадок відповідав 2 класу забруднення і 1 випадок – 3 класу. При оцінці справджуваності відсоток прогнозів, які потрапили в той самий клас, що й фактичне значення, склав 100 %. Для січня 2017 р. використані дані спостережень за 24 доби, з яких було відкинута 5. Було спрогнозовано 19 випад-

ків. Всі відповідали 2 класу забруднення. Відсоток справджуваності склав 94,7 %.



**Рис. 2** – Динаміка зміни фактичних і прогностичних значень  $Q$  ( $NO_2$ , січень 2017 р.)

**Fig. 2** – Dynamics of change of actual and prognostic  $Q$  values ( $NO_2$ , January 2017)



**Рис. 3** – Динаміка зміни фактичних і прогностичних значень  $Q$  ( $NO_2$ , лютий 2017 р.)

**Fig. 3** – Dynamics of change of actual and prognostic  $Q$  values ( $NO_2$ , February 2017)

У лютому 2017 р. використані дані спостережень за 24 доби, з яких було відкинута 4. Всі спрогнозовані випадки відповідали 2 класу забруднення. Справджуваність склала 95 %.

Зазначимо, що за літній період 2017 р. було складено 60 прогнозів. Справджуваність прогнозів склала 96,67 % (58 прогнозів з 60 справилися). З них 0 випадків високого забруднення, 58 – помірного, 2 – низького.

Для порівняння була застосована інша прогностична схема, а саме прогнозування МРО.

На рис. 4–6 наведено результати прогнозування у зимовий період 2016 – 2017 рр.

На рис. 7–9 наведені результати прогнозування у літній період 2017 р.

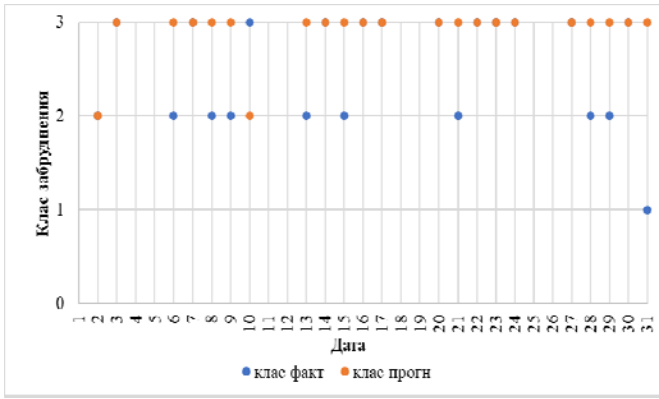


Рис. 4 – Прогноз забруднення параметра  $P$  (грудень 2016 р.)  
 Fig. 4 – Forecast of pollution of parameter  $P$  (December 2016)

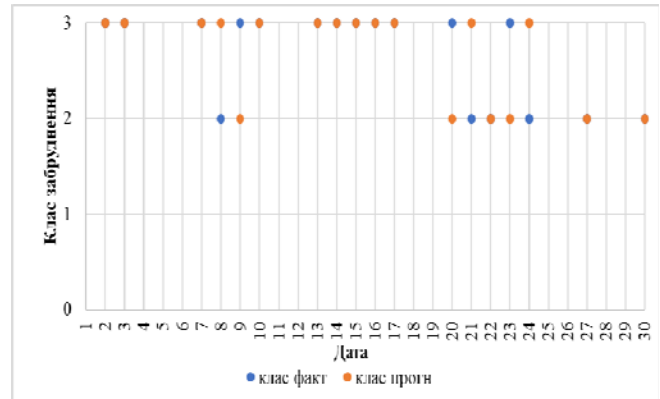


Рис. 7 – Прогноз забруднення параметра  $P$  (червень 2017 р.)  
 Fig. 7 – Forecast of pollution of parameter  $P$  (June 2017)

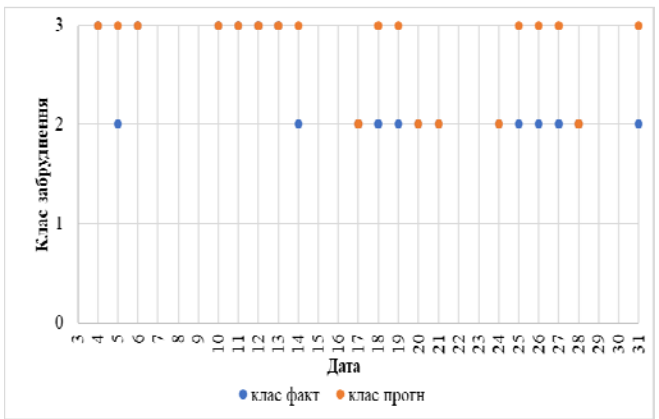


Рис. 5 – Прогноз забруднення параметра  $P$  (січень 2017 р.)  
 Fig. 5 – Forecast of pollution of parameter  $P$  (January 2017)

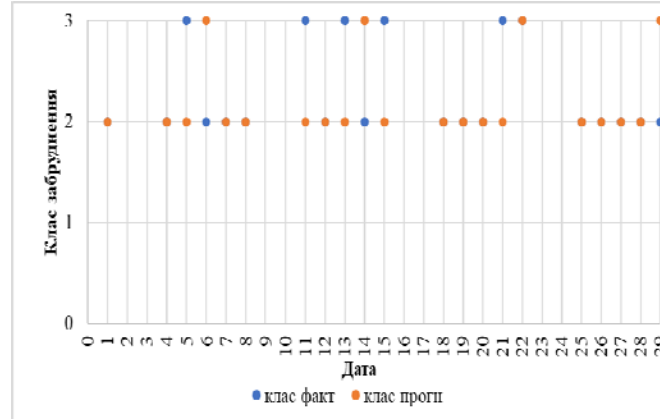


Рис. 8 – Прогноз забруднення параметра  $P$  (липень 2017 р.)  
 Fig. 8 – Forecast of pollution of parameter  $P$  (July 2017)

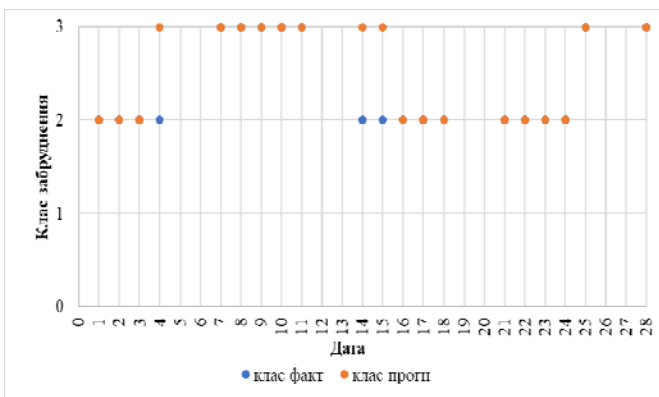


Рис. 6 – Прогноз забруднення параметра  $P$  (лютий 2017 р.)  
 Fig. 6 – Forecast of pollution of parameter  $P$  (February 2017)

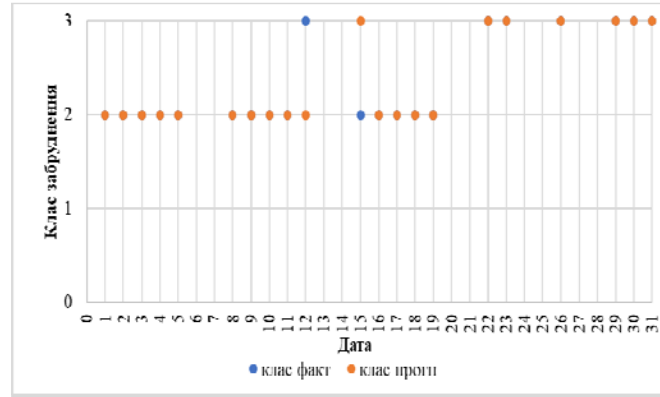


Рис. 9 – Прогноз забруднення параметра  $P$  (серпень 2017 р.)  
 Fig. 9 – Forecast of pollution of parameter  $P$  (August 2017)

При прогнозуванні забруднення атмосферно-го повітря м. Одеса  $NO_2$  у літній і зимовий періоди 2016 – 2017 рр. МРО були використані дані спостережень за 151 добу, з яких було відкинута 28 днів через невідповідність вимог до використання даних для цього методу. З розрахунку моделі з вибірки лише одне значення потрапило до 1 класу забруднення, тому для даного класу неможливо розрахувати середнє значення і

дисперсію. Після розрахунків для оцінки справджуваності були відкинута ще значення, які неможливо перевірити, оскільки немає відомостей щодо забруднення атмосфери за наступну добу. Із залишившихся 91 випадків справдилися прогнози у 61 випадку, відсоток справджуваності за літній і зимовий періоди 2016 – 2017 рр. склав 67 %.

#### 4. ВИСНОВКИ

В результаті виконаного дослідження можна зробити такі висновки стосовно ефективності використання обох прогностичних схем:

1. Прогноз забруднення атмосферного повітря  $NO_2$  у зимовий період 2016 – 2017 рр. за методом УкрНДГМІ показав, що динаміка зміни фактичних значень показника  $Q$  співпадає з його прогностичними значеннями. У літній період 2017 рр. фактичне значення  $Q$  майже в кожному випадку співпадало з прогностичними показниками.

2. Справджуваність прогнозу за методом УкрНДГМІ в зимовий період в середньому складала 96,6 %, у літній період – 98,3 %.

3. За МРО у зимовий і літній періоди 2016 – 2017 рр. відсоток справджуваності прогнозів склав 67 %.

4. Метод УкрНДГМІ виявився більш надійнішим, ніж МРО. Низький відсоток справджуваності в результатах прогнозу за МРО може бути пов'язаний з проблемами побудови моделі та малим розкидом класів забруднення в даній вибірці, а також зі спрямованістю методики на визначення класу забруднення, а не рівня забруднення.

5. Недоліком використання методу УкрНДГМІ є неможливість його використання в осінній та весняний періоди. Також даний метод був розроблений для м. Одеси з урахуванням фізико-географічних та метеорологічних особливостей міста, тому можливо, що використання даного методу є недоцільним для інших міст або територій.

Так, прогнозування забруднення атмосферного повітря є одним з основних способів вирішення проблем якості повітря у промислово-міських агломераціях, до яких відноситься і м. Одеса. Розробка ефективної прогностичної схеми забруднення повітряного басейну міста може дозволити превентивно реагувати на погіршення якості атмосферного повітря.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 р. Київ, 2021. 421 с.
2. Deutscher Wetterdiest. URL: [http://www1.wetter3.de/Archiv/archiv\\_dwd.html](http://www1.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html) (дата звернення: 06.11.2020).
3. Безуглая Э.Ю., Сонькин Л.Р. Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. Ленинград: Гидрометеоздат, 1971. С. 241 – 252.
4. Чугай А., Поletaeva Л., Терзман В. Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря міста Одеса

- діоксидом азоту. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 1. С. 88 – 93.
5. Методика краткосрочного прогноза уровня загрязнения атмосферы в г. Одессе. Киев: УкрНИГМИ, 1999.
6. Кіптенко Є. М., Козленко Т. В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2002. Вип. 250. URL: [https://uhmi.org.ua/pub/np/250/24\\_Kiptenko.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/250/24_Kiptenko.pdf) (дата звернення: 19.02.2022).
7. Кіптенко Є. М., Козленко Т. В., Надточій Л. М. Методика короткострокового прогнозу рівнів забруднення атмосферного повітря з урахуванням метеорологічних умов для міста Маріуполь. *Часопис картографії*. 2019. № 20. С. 84 – 99. URL: [http://maptimes.inf.ua/CH\\_20/Ch20\\_Article6\\_Prognosis-of-air-pollution-level.html](http://maptimes.inf.ua/CH_20/Ch20_Article6_Prognosis-of-air-pollution-level.html) (дата звернення: 19.02.2022).
8. КД 52.9.4.01–09. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. Київ: Державна гідрометеорологічна служба, 2010. 84 с.
9. Сонькин Л. Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. Ленинград: Гидрометеоздат, 1991. 224 с.

#### REFERENCES

1. *Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u 2020 r. (2021) [National report on the state of the environment in Ukraine in 2020]*. Kyiv. (in Ukr.)
2. *Deutscher Wetterdiest (2020)*. Available at: [http://www1.wetter3.de/Archiv/archiv\\_dwd.html](http://www1.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html) (Accessed: 06 November 2020).
3. Bezuhlaia, E.Iu. & Sonkyn, L.R. (1971). *Meteorologicheskie aspekty zagryazneniya atmosfery [Meteorological aspects of air pollution]*. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
4. Chugai, A., Poletaeva, L. & Terzeman, V. (2022). *Korotkostrokovyi prohnaz zabrudnennia atmosfernoho povitria mista Odesa dioksydom azotu [Short-term forecast of air pollution in Odessa with nitrogen dioxide]*. *Problemy khimii ta staloho rozvytku [Problems of chemistry and sustainable development]*, 1, pp. 88 – 93. (in Ukr.)
5. *Metodyka kratkosrochnogo prognoza urovnya zagryazneniya atmosfery v g. Odesse [Methods of short-term forecast of the level of air pollution in Odessa]* (1999). Kiev: UkrSIHMI. (in Ukr.)
6. Kiptenko, Ye.M. & Kozlenko, T.V. (2002). *Prohnazuvannia rivniv vysokoho zabrudnennia atmosfernoho povitria u mistakh Ukrainy. [Forecasting the levels of high air pollution in the cities of Ukraine]*. *Naukovi pratsi UkrNDHMI [Scientific works of UkrSIHMI]*, 250. Available at: [https://uhmi.org.ua/pub/np/250/24\\_Kiptenko.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/250/24_Kiptenko.pdf) (Accessed: 19 February 2022). (in Ukr.)
7. Kiptenko, Ye.M., Kozlenko, T.V. & Nadtochii, L.M. (2019). *Metodyka korotkostrokovoho prohnazu rivniv zabrudnennia atmosfernoho povitria z urakhuvanniam meteorolohichnykh umov dlia mista Mariupol [Methods of short-term forecast of air pollution levels taking into account meteorological conditions for the city of Mariupol]*. *Chasopys kartohrafii [Journal of Cartography]*, 20, pp. 84 – 99. Available at: [http://maptimes.inf.ua/CH\\_20/Ch20\\_Article6\\_Prognosis-of-air-pollution-level.html](http://maptimes.inf.ua/CH_20/Ch20_Article6_Prognosis-of-air-pollution-level.html) (Accessed: 19 February 2022). (in Ukr.)
8. *KD 52.9.4.01–09. Metodychni vkazivky shchodo prohnazuvannia meteorolohichnykh umov formuvannia*

rivniv zabrudnennia povitria v mistakh Ukrainy. (2010). [GD 52.9.4.01-09. Guidelines for forecasting meteorological conditions for the formation of air pollution levels in the cities of Ukraine]. Kyiv. (in Ukr.).

9. Sonkyn, L.R. (1991). *Sinoptiko-statisticheskiy analiz i*

kratkosrochnyy prognoz zagryazneniya atmosfery [Synoptic-statistical analysis and short-term forecast of atmospheric pollution]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)

## FORECASTING THE ATMOSPHERIC AIR POLLUTION CAUSED BY NITROGEN DIOXIDE IN THE CITY OF ODESA

A. V. Chugai, V. V. Terzeman

*Odessa State Environmental University,*

15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, [avchugai@ukr.net](mailto:avchugai@ukr.net)

<http://orcid.org/0000-0002-8091-8430>

In most of Ukrainian large cities with a high concentration of population the air quality often does not meet the requirements. The air quality is also a critical component for Odesa, a recreational and resort center of Ukraine. Moreover, Odesa is a city with a million inhabitants and a large number of vehicles, freight traffic resulting from the presence of the seaport. And nitrogen dioxide is one of the main pollutants. It is emitted to the air basin mainly by motor vehicles.

The paper presents the results of testing the certain methods of short-term forecasting of the atmospheric air nitrogen dioxide-related pollution level in Odesa. The study is based on the data taken from the materials of the National Report on the State of the Environment in Ukraine and the observations of air pollution using the network of stationary observation points.

The obtained results of the forecast for the winter period using the UkrSIHMI's method indicated that the dynamics of changes in the actual values of the indicator  $Q$  coincides with the prognostic values of such indicator. In summer the actual value of  $Q$  in almost all cases coincides with the prognostic indicators. The accuracy of the forecast according to the UkrSIHMI's method for the winter period averaged 96.6 %, and for the summer period – 98.3 %. According to the method of pattern recognition for the winter and summer periods the percentage of accuracy of predictions was only 67 %.

The UkrSIHMI's method proved to be more reliable than the method of pattern recognition. The low percentage of reliability of the forecasting results obtained via the method of pattern recognition may be due to modeling problems and small variance of pollution classes in the studied sample, as well as to the focus of the methodology on determining a pollution class rather than a level of pollution. The disadvantage of using the UkrSIHMI's method is the impossibility of using it in autumn and spring.

Forecasting the air pollution is one of the main ways to solve air quality problems in both industrial and urban agglomerations. Development of an effective prognostic scheme for forecasting the air pollution in our city can prevent further air quality deterioration.

**Key words:** pollution forecast, integral indicator, authenticity.

Подання до редакції : 21. 06. 2022

Надходження остаточної версії : 29. 06. 2022

Публікація статті : 07. 07. 2022