

УДК 502:504

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-12>

Ангеліна ЧУГАЙ

доктор технічних наук, професор, декан природоохоронного факультету, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016

ORCID: 0000-0002-8091-8430

Лариса ПОЛЕТАЄВА

кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016

ORCID: 0000-0002-4576-4958

Володимир ТЕРЗЕМАН

магістрант кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016

Бібліографічний опис статті: Чугай, А., Полетаєва, Л., Терземан, В. (2022). Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря міста Одеса діоксидом азоту. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 88–93, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-12>

КОРОТКОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ОДЕСА ДІОКСИДОМ АЗОТУ

Якість атмосферного повітря є основною складовою, яка впливає на стан здоров'я населення. Для м. Одеса якість атмосферного повітря є важливою складовою, оскільки місто є одним з рекреаційних і курортних центрів України. Поряд з цим Одеса – промислове місто зі значною кількістю автотранспорту, а також вантажоперевезень через наявність на території міста морського порту. З метою зменшення рівня забруднення атмосферного повітря в регіонах України здійснюється ряд заходів на основі даних моніторингу. Одним з таких заходів є прогнозування забруднення з метою попередження високих рівнів концентрацій окремих забруднюючих речовин. Розробка прогностичної схеми забруднення атмосферного басейну міста може дозволити превентивно реагувати на погіршення якості атмосферного повітря. В цілому питання розробки ефективних схем прогнозу забруднення повітряного басейну є важливою і актуальною задачею для м. Одеса. Метою роботи є дослідження практичного використання методу короткострокового прогнозу рівня забруднення атмосферного повітря на незалежному матеріалі різних років. Прогностична схема була побудована для прогнозування забруднення повітряного басейну м. Одеса діоксидом азоту в літній період. Як прогнозована величина використана середня за добу і по місту нормована концентрація кожної домішки Q , яка являє собою відношення абсолютної концентрації до середньосезонної концентрації домішки. В цілому було складено 108 прогнозів. Для перевірки справджуваності прогнозів були побудовані графіки динаміки фактичних та прогностичних значень рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту. При цьому відзначено узгодженість фактичних і прогностичних показників за період дослідження. Отримані результати свідчать про те, що обрані предиктори добре описують процес забруднення атмосфери м. Одеса у літній період. Зазначена прогностична схема може бути рекомендована для впровадження для оперативного прогнозування забруднення атмосфери міста діоксидом азоту.

Ключові слова: забруднення, атмосферне повітря, прогнозування, предиктор.

Angelina CHUGAI

Doctor of Science (Technical), Professor, Dean of Nature Protection Faculty, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, Ukraine, 65106

ORCID: 0000-0002-8091-8430

Larysa POLETAIEVA

Ph.D (Geography), Associate Professor at the Department of Environmental Science and Environmental Protection, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, Ukraine, 65106

ORCID: 0000-0002-4576-4958

Volodymyr TERZEMAN*Undergraduate of the Department of Environmental Science and Environmental Protection, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, Ukraine, 65106*

To cite this article: Chugai, A., Poletaeva, L., Terzeman, V. (2022). Korotkostrokovyi prohnoz zabrudnennia atmosferного povitria mista Odesa dioksydom azotu [Short-term forecast of air pollution in Odesa with nitrogen dioxide]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 88–93, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-12>

SHORT-TERM FORECAST OF AIR POLLUTION IN ODESSA WITH NITROGEN DIOXIDE

Atmospheric air quality is a major component of public health. For the city of Odesa, air quality is an important component, as the city is one of the recreational and resort centers of Ukraine. Along with this, Odesa is an industrial city with a significant number of vehicles, as well as freight traffic due to the presence of a seaport in the city. In order to reduce the level of air pollution in the regions of Ukraine, a number of measures are taken on the basis of monitoring data. One such measure is pollution forecasting in order to prevent high levels of concentrations of individual pollutants. The development of a forecast scheme for air pollution in the city may allow to respond preventively to the deterioration of air quality. In general, the issue of developing effective air pollution forecasting schemes is an important and urgent task for the city of Odesa. The aim of the work is to study the practical use of the method of short-term forecasting of the level of air pollution on the independent material of different years. The forecast scheme was built to predict the pollution of the air basin of Odesa with nitrogen dioxide in the summer. The average value per day and the city normalized concentration of each impurity Q , which is the ratio of the absolute concentration to the average seasonal concentration of the impurity, was used as the predicted value. A total of 108 forecasts were made. To verify the accuracy of the forecasts, graphs of the dynamics of actual and forecast values of the level of air pollution with nitrogen dioxide were constructed. The consistency of actual and prognostic indicators for the study period was noted. The obtained results indicate that the selected predictors well describe the process of air pollution in Odesa in the summer. This forecasting scheme can be recommended for implementation for operational forecasting of urban air pollution by nitrogen dioxide.

Key words: pollution, atmospheric air, forecasting, predictor.

Вступ. Якість атмосферного повітря є основою складовою, яка впливає на стан здоров'я населення. У великих містах України з високою концентрацією населення якість атмосферного повітря здебільшого не відповідає вимогам, що можна пояснити великою кількістю автотранспорту, густотою забудови і наявністю значної кількості промислових підприємств.

Для м. Одеса якість атмосферного повітря є критичною важливою складовою, оскільки місто є одним з рекреаційних і курортних центрів України. Поряд з цим Одеса – це місто-мільйонник з великою кількістю автотранспорту, а також вантажоперевезень через наявність на території міста морського порту.

З метою зменшення рівня забруднення атмосферного повітря в регіонах України здійснюється ряд заходів на основі даних моніторингу. Одним з таких заходів є прогнозування забруднення з метою попередження високих рівнів концентрацій окремих забруднюючих речовин (ЗР). Прогнозування дозволяє визначати зміни рівня забруднення певною ЗР в атмосферному басейні міста при стабільно незмінних викидах

комплексу речовин. Прогноз є одним з основних способів вирішення проблем якості атмосферного повітря мегаполісу. Розробка прогностичної схеми забруднення атмосферного басейну міста може дозволити превентивно реагувати на погіршення якості атмосферного повітря.

В останні роки прогностичні схеми розроблялись для різних міст України. У роботі (Кіптенко та ін., 2019) розроблена прогностична схема для м. Маріуполь з урахуванням особливостей метеорологічних умов. Цікавим є врахування економічного підходу при прогнозуванні забруднення повітряного басейну, наведеного авторами роботи (Тимошенко, Ус, 2016). Даний підхід був реалізований для промислових міст Дніпропетровської області. Раніше комплексна робота щодо прогнозування високих рівнів забруднення атмосферного повітря для окремих міст України була виконана співробітниками УкрНДГМІ (Кіптенко, Козленко, 2002; Кіптенко, Козленко, 2007).

Стосовно м. Одеса, то в останні роки виконано декілька робіт, в тому числі комплексних НДР щодо вдосконалення схем прогнозу з ура-

хуванням впливу метеорологічних факторів (Розробка та вдосконалення..., 2017; Чугай, Сердега, 2018). Виходячи з вище викладеного, питання розробки ефективних схем прогнозу забруднення повітряного басейну є важливою і актуальною задачею для регіонів України, в тому числі і для м. Одеса.

Матеріали і методи досліджень. Метою роботи є дослідження практичного використання методу короткострокового прогнозу рівня забруднення атмосферного повітря, розробленого УкрНДГМІ, на незалежному матеріалі різних років.

Прогностична схема була побудована для прогнозування забруднення повітряного басейну м. Одеса діоксидом азоту в літній період. В якості вихідних даних у дослідженні використані значення концентрацій діоксиду азоту за літній період 2013 і 2017 рр., а також синхронізовані з ними метеорологічні параметри. Вихідні дані були надані лабораторією спостережень за забрудненням атмосферного Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів. Також окремі метеорологічні характеристики були визначені за допомогою ресурсу (Deutscher Wetterdiest, 2020).

Основою для складання прогнозу була прогностична схема, розроблена науковцями УкрНДГМІ та апробована для різних міст України (Кіптенко, Козленко, 2002). Прогнозується середня за добу і по місту нормована концентрація кожної домішки Q , яка являє собою відношення абсолютної концентрації до середньосезонної концентрації домішки. Основною вимогою використання даного методу є наявність достатнього лінійного зв'язку між характеристиками забруднення повітря та певними предикторами.

У прогностичну схему можуть включатися такі показники:

- температура повітря (t) в приземному шарі в 03:00 і 15:00 год.;
- різниця між температурою повітря в суміжні дні;
- напрямок (D) та швидкість вітру (V) у 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 проводилась відповідно до груп забруднення згідно «Методичних

вказівок щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України» (КД 52.9.4.01–09, 2010).

Результати дослідження та їх обговорення.

Оскільки прогностична модель заснована на спостереженнях, проведених набагато раніше, то були використані дані перерахунку значень метеопараметрів в середнє значення нормованої концентрації діоксиду азоту за літній період (табл. 1 – 4).

На основі перетворених параметрів, які наведені в табл. 5, було побудовано рівняння множинної регресії.

Так, рівняння множинної регресії для прогнозування вмісту діоксиду азоту в літній період у м. Одеса прийняло такий вид:

$$\bar{Q}_{NO_2} = 0,70Q(V_{03}) + 0,50Q(t_{15}) + 0,70Q(C) + 0,97Q(Q') - 1,87$$

Розрахувавши за допомогою цих рівнянь прогнозовані значення концентрації діоксиду азоту за червень, липень, серпень, було побудовано динаміку фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту за літній період 2013 і 2017 рр. В якості прикладу наведемо динаміку фактичних і прогностичних значень концентрацій за червень 2017 р. (рис. 1).

Аналіз всіх побудованих прогностичних графіків показав, що фактичне значення середньої нормованої концентрації діоксиду азоту у переважній більшості випадків співпадає зі значеннями прогнозованої середньої нормованої концентрації.

Для більш точної оцінки адекватності прогностичної моделі було складено таблиці для оцінки справджуваності прогнозів (приклад наведено у табл. 6).

В цілому за літній період 2013 р. складено 48 прогнозів. Загальна справджуваність прогнозів склала 100 %. При цьому прогнозувалось 0 випадків високого забруднення, 48 – помірного та 0 – низького. Фактично спостерігалось 0 випадків високого забруднення, 48 – помірного та 0 – низького. За літній період 2017 р. було складено 60 прогнозів. Справджуваність прогнозів склала 96,67 % (58 прогнозів з 60 справдилися). З цих прогнозів 0 – високе забруднення, 58 – помірне, 2 – низьке.

Слід відзначити, що окремі результати досліджень були висвітлені у роботах авторів

Таблиця 1

Середні значення нормованої концентрації NO_2 при різних градаціях швидкості вітру за 03.00 (літо)

$V03$	0	1	2	3	4	5	6	7
Q	1,08	1,02	1,00	0,96	0,95	1,02	1,06	1,02

Таблиця 2

Середні значення нормованої концентрації NO_2 при різних градаціях температури за 15.00 (літо)

$T15$	5,1 – 10,0	10,1 – 15,0	15,1 – 20,0	20,1 – 25,0	25,1 – 30,0
Q	1,00	0,99	0,99	1,01	0,97

Таблиця 3

Середні значення нормованої концентрації NO_2 при різних градаціях синоптичної ситуації (літо)

C	1	2	3	4	5	6	7	8
Q	0,88	0,97	0,96	1,06	0,98	0,97	0,85	0,88

Таблиця 4

Середні значення нормованої концентрації NO_2 при різних градаціях нормованої концентрації NO_2 за попередню добу (літо)

Q'	0,0 – 0,3	0,4 – 0,7	0,8 – 1,1	1,2 – 1,5	1,6 – 1,9	2,0 – 2,3
Q	0,55	0,79	0,99	1,25	1,36	-

Таблиця 5

Параметри рівняння регресії

ЗР	Перетворені предиктори									Вільний член
	$T03$	$\Delta T03$	$D03$	$V03$	$T15$	$D15$	$V15$	C	Q'	
	літо									
NO_2	-	-	-	0,70	0,50	-	-	0,70	0,97	-1,87

Таблиця 6

Оцінка справджуваності прогнозу (NO_2 , м. Одеса, червень 2017 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
1,01	2	0,99	2	+
1,02	2	0,99	2	+
1,01	2	0,80	2	+
1,07	2	0,92	2	+
1,00	2	1,03	2	+
0,98	2	0,90	2	+
0,92	2	0,85	2	+
1,00	2	0,79	1	-
0,97	2	0,90	2	+
0,94	2	0,93	2	+
0,97	2	0,79	1	-
0,91	2	1,03	2	+
0,95	2	0,95	2	+
0,95	2	1,03	2	+
0,97	2	1,07	2	+
1,00	2	0,96	2	+
0,97	2	1,01	2	+
0,91	2	1,03	2	+

(Терземан, Полетаєва, 2021; Полетаєва, Терземан, 2021).

Висновки. У роботі побудована модель короткострокового прогнозу забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту в м. Одеса для літнього періоду на основі даних фактичних спостережень 2013 і 2017 рр.

Для перевірки справджуваності прогнозів були побудовані графіки динаміки фактичних та прогностичних значень рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту. При цьому відзначено узгодженість фактичних і прогностичних показників за період дослідження.

Виконано оцінку справджуваності за відповідними градаціями. Так, у 2013 р. справджуваність склала 100 % (усі прогностичні значення віднесені до другого класу небезпеки – помірне забруднення), а у 2017 р. – 96,67 % (58 випадків з 60 склали другий клас небезпеки).

Отримані результатами свідчать про те, що предиктори, обрані у методиці короткострокового прогнозу УкрНДГМІ, добре описують процес забруднення атмосфери м. Одеса у літній період. Зазначена прогностична схема може бути рекомендована для впровадження для оперативного прогнозування забруднення атмосфери міста діоксидом азоту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. 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 (дата звернення: 19.02.2022).
2. Тимошенко Л.В., Ус О.М. Еколого-економічні аспекти оцінювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря у промисловому місті. *Економічний вісник*. 2016. № 1. С. 156–168.
3. 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 (дата звернення: 19.02.2022).
4. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Вплив метеорологічних умов забруднення повітря у промислових містах України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2007. № 13. С. 208–216.
5. Розробка та вдосконалення методів прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над промисловими районами Одеси. Звіт про НДР. № ДР 0113U007881. Одеса: ОДЕКУ, 2017. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/2159/1/Zvit_K_Ivus_0113U007881_2017.pdf (дата звернення: 20.02.2022).
6. Чугай А.В., Сердега І.Л. Оцінка метеорологічного потенціалу забруднення атмосфери міст Одеса та Миколаїв. *Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей*. 2018. № 1 (21). С. 76–82.
7. Deutscher Wetterdienst. Електронний ресурс: URL: http://www1.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html (дата звернення: 06.11.2020).
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. Терземан В.В., Полетаєва Л.М. Порівняння двох прогностичних методів забруднення атмосферного повітря міста Одеси діоксидом азоту у літній період. *Четверта Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»: збірник матеріалів*. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 279–282.
10. Полетаєва Л.М., Терземан В.В. Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря міста Одеси діоксидом азоту у літній період 2013 та 2017 років. *Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції»*. Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2021. С. 58–59.

REFERENCES:

1. Kiptenko Ye.M., Kozlenko T.V., Nadtochii L.M. (2019). Metodyka korotkostrokovoho prohnozu rivniv zabrudnennia atmosferneho 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 kartohrafi – Journal of Cartography*, 20, 84 – 99. Retrieved from: http://maptimes.inf.ua/CH_20/Ch20_Article6_Prognosis-of-air-pollution-level.html. [in Ukrainian]
2. Tymoshenko L.V., Us O.M. (2016). Ekoloho-ekonomichni aspekty otsiniuvannia ta prohnozuvannia zabrudnennia atmosferneho povitria u promyslovomu misti. [Environmental and economic aspects of air pollution assessment and forecasting in an industrial city]. *Ekonomichniy visnyk – Economic Bulletin*, 1, 156–168. [in Ukrainian]

3. Kiptenko Ye.M., Kozlenko T.V. (2002). Prohnozuvannia rivniv vysokoho zabrudnennia atmosferneho povitria u mistakh Ukrainy. [Forecasting the levels of high air pollution in the cities of Ukraine]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI – Scientific works of UkrNDGMI*, 250. Retrieved from: https://uhmi.org.ua/pub/np/250/24_Kiptenko.pdf. [in Ukrainian]
4. Kiptenko Ye.M., Kozlenko T.V. (2007). Vplyv meteorolohichnykh umov zabrudnennia povitria u promyslovykh mistakh Ukrainy. [Influence of meteorological conditions of air pollution in industrial cities of Ukraine]. *Hidrolohii, hidrokimiia i hidroekolohii – Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 13, 208–216. [in Ukrainian]
5. Rozrobka ta vdoskonalennia metodiv prohnozu meteorolohichnykh umov zabrudnennia atmosfery nad promyslovymy raionamy Odesy. Zvit pro NDR. № DR 0113U007881. (2017). [Development and improvement of methods for forecasting meteorological conditions of air pollution over industrial areas of Odessa. Research report. № SR 0113U007881]. Odessa. Retrieved from: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/2159/1/Zvit_K_Ivus_0113U007881_2017.pdf. [in Ukrainian]
6. Chugai A.V., Serdeha I.L. (2018). Otsinka meteorolohichnoho potentsialu zabrudnennia atmosfery mist Odesa ta Mykolaiv. [Estimation of meteorological potential of air pollution of the cities of Odessa and Mykolayiv]. *Vestnyk Hydromettsentra Chernoho y Azovskoho morei – Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas*, 1 (21), 76–82. [in Ukrainian].
7. Deutscher Wetterdiest. (2020). Retrieved from: http://www1.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html [in German].
8. KD 52.9.4.01–09. Metodychni vказivky shchodo prohnozuvannia 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 Ukrainian].
9. Terzeman V.V., Poletaieva L.M. (2021). Porivniannia dvokh prohnostychnykh metodiv zabrudnennia atmosferneho povitria mista Odesy dioksydom azotu u litnii period. [Comparison of two prognostic methods of air pollution of the city of Odessa with nitrogen dioxide in the summer]. *Chetverta Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Ekolohichni problemy navkolyshnoho seredovyscha ta ratsionalnoho pryrodokorystuvannia v konteksti staloho rozvytku»: zbirnyk materialiv*. Kherson, 279–282. [in Ukrainian].
10. Poletaieva L.M., Terzeman V.V. (2021). Korotkostrokovyi prohnoz zabrudnennia atmosferneho povitria mista Odesy dioksydom azotu u litnii period 2013 ta 2017 rokiv. [Short-term forecast of air pollution of the city of Odessa with nitrogen dioxide in the summer of 2013 and 2017]. Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh «Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii». Zhytomyr, 58–59. [in Ukrainian].