

УДК: 912.43

Путренко В. В., Пашинська Н. М., Назаренко С. Ю.

Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку,
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КАРТОГРАФУВАННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Запропоновано наукові та практичні засади моніторингу стану атмосферного повітря на основі використання даних супутникової

© В. В. Путренко, Н. М. Пашинська, С. Ю. Назаренко

зйомки Землі з метою дослідження вмісту окису азоту NO_2 . На основі регресійного та географічно зваженого регресійного аналізу встановлено зв'язок між даними космічного моніторингу та наземних спостережень.

Ключові слова: моніторинг, забруднення атмосфери, дані дистанційного зондування Землі, регресійний аналіз.

Постановка завдання. Проблеми забруднення повітря є важливими та актуальними для підтримки сталого розвитку та чистого навколишнього середовища. Для України проблеми оцінювання якості повітря є особливо актуальними у зв'язку з великою кількістю викидів зі стаціонарних та нестаціонарних джерел забруднення та низьким рівнем розвитку системи спостережень. Тому використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) надає переваги для здійснення моніторингу стану повітря по всій території країни за рахунок широкого територіального охопту та низької вартості, але для використання даних ДЗЗ необхідно проведення комплексу робіт з верифікації та порівняння з наземними інструментальними вимірюваннями.

Огляд попередніх досліджень. В останні роки, атмосферні моделі засновані на ГІС, все частіше використовуються для аналізу навколишнього середовища і пов'язаної з ним підтримки управлінських рішень для осіб, що працюють в сфері екології. Наприклад, в нашій державі було розроблено декілька спеціалізованих інформаційно-аналітичних систем оцінки стану екологічної безпеки при забрудненнях атмосферного повітря. Основними з них є: геоінформаційна аналітична система візуалізації медико-екологічного моніторингу України ПАСВ МЕМУ; автономна моделююча система для завдань моніторингу техногенних навантажень на атмосферу від небезпечних підприємств MathMapMod, яка в подальшому увійшла до складу спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи еколого-енергетичного моніторингу AISEEM [1-4].

В останній час все більшу увагу привертають публікації, пов'язані з використанням даних ДЗЗ для моніторингу та оцінювання стану атмосферного повітря, зокрема методики обробки даних із метеорологічних супутників [5-6]. В тому числі значна кількість досліджень присвячена впливу NO_2 на якість атмосферного повітря [7-9] та оцінці викидів від антропогенних

джерел з використання даних ДЗЗ [10-11]. В Україні використання даних ДЗЗ у поєднанні із наземними спостереженнями для отримання інтегральних полів якості повітря тільки починає свій розвиток.

Мета та завдання Метою роботи є дослідження даних ДЗЗ для цілей моніторингу стану повітря на території України.

Завданнями є вивчення літературних джерел з питань ДЗЗ, придатності сучасних супутникових систем та їх продуктів для аналізу стану повітря, встановлення математичних залежностей між супутниковими даними та результатами наземних спостережень, виявлення особливостей розподілу забруднення атмосферного повітря в Україні.

Виклад основних результатів. Для проведення дослідження використовуються дані з геопорталу проекту Atmospheric Composition Analysis Group за адресою <http://fizz.phys.dal.ca/>. В якості базових даних було обрано дослідження за допомогою ДЗЗ вмісту окису азоту NO_2 як одного із базових видів забруднення атмосферного повітря.

Серед усіх оксидів азоту у атмосферу викидається в основному двоокис азоту NO_2 – безбарвний отруйний газ, що не має запаху, дратівливо діє на органи дихання. Двоокис азоту (NO_2) утворюється в навколишньому повітрі в результаті окислення оксиду азоту (NO), який у свою чергу з'являється в атмосфері природним шляхом і в результаті людської діяльності, оксиди азоту формуються в основному за рахунок спалювання вичопного палива. Це відбувається в результаті хімічної реакції між атмосферним N_2 і O_2 в присутності тепла з утворенням NO , який потім знову вступає в реакцію з O_2 з утворенням NO_2 . Швидкість реакції визначається температурою згоряння. Таким чином, на відміну від SO_2 , NO_2 не є компонентом вичопного палива, а результатом каталітичної реакції тепла з атмосферним N_2 і O_2 в процесі згоряння [9].

Особливо небезпечні оксиди азоту в містах, де вони взаємодіють з вуглецями вихлопних газів, де утворюють фотохімічний туман – смог [3]. Діоксид азоту (NO_2) відіграє важливу роль у формуванні тропосферного озону і є шкідливим для здоров'я людини і екосистеми. Тож NO_2 виділяється в тропосферу в результаті антропогенних (наприклад: використання вичопного палива, спалювання біопалива, спалювання біомаси) і

природних (наприклад: лісові пожежі і блискавки) явищ [11].

Ми використовували спостереження забруднення NO_2 з глобального експерименту зі спостереження озону (GOME), SCIAMACHY і GOME-2 супутникових приладів [8]. Розрахунок концентрації діоксиду приземного азоту (NO_2) відбувається шляхом застосування локальних коефіцієнтів масштабування з глобальної тривимірної моделі (GEOS-Chem) до розподілу тропосферного NO_2 , що отримані з моніторингу озонового шару інструментом (ОМІ) на борту супутника Aura.

Після завантаження даних ДЗЗ для NO_2 нами був взятий Індекс Забрудненості Атмосфери (ІЗА) з сайту Українського гідрометеорологічного центру. На території України і країн колишнього СРСР для визначення стану забруднення повітря використовують комплексний показник – індекс забруднення атмосфери (ІЗА). При розрахунку ІЗА враховується не тільки концентрації різних речовин, але і їх вплив на здоров'я людини.

Даний індекс розраховується по окремих забруднюючих речовинах для оцінки внеску окремих домішок в загальний рівень забруднення атмосфери або комплексно за декількома речовинами для порівняння ступеня забруднення атмосфери в різних містах. Комплексний ІЗА, що враховує L речовин, присутніх в атмосфері, розраховується за формулою:

$$I_n = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n (x_i / \text{ПДК}_i) C_i$$

X_i — середня за рік концентрація i -того речовини,

C_i — коефіцієнт, що дозволяє привести ступінь забруднення повітря i -тим речовиною до ступеня забруднення повітря діоксидом сірки,

I_n — ІЗА, безрозмірна величина.

Значення C_i визначається для речовин в залежності від їх класу небезпеки. Діоксид азоту відноситься за ступенем шкідливості до другого класу небезпеки ($C_i = 1$), до неї наводиться шкідливість всіх речовин. C_i для речовин 4, 3, 2 і 1 класів небезпеки, які дорівнюють 0,85, 1,0, 1,3 і 1,5 відповідно.

При розрахунку ІЗА передбачається, що всі забруднюючі речовини, які не перевищують гранично допустимі концентрації,

однаково впливають на організм людини, але із збільшенням їх концентрацій збільшується і ступінь їх шкідливості зростає з різною швидкістю, яка залежить від класу небезпеки речовини.

Сумарний ІЗА використовується для порівняння ступеня забруднення атмосфери в різних містах, проте це можливо лише в разі якщо вимірюються концентрації однакового набору речовин. Як показує практика, набір вимірюваних забруднюючих речовин в різних містах, більш того на різних постах одного міста, може розрізнитися. В такому випадку розраховується ІЗА для кожної речовини, а потім складається регресійний варіаційний ряд отриманих величин. Вибираються речовини з найбільшими значеннями індексів (зазвичай 5), по яких і проводиться розрахунок, а за тим і порівняння сумарного індексу забруднення атмосфери.

За значенням ІЗА можна судити про ступінь забруднення атмосферного повітря, динаміку забруднення, а також про необхідні управлінських рішеннях у сфері природокористування.

В якості вхідних даних в моделі використовувалися розрахункові глобальні показники NO_2 за період 1996-2014 рр., що були представлені як середньорічними, так і усередненими за період часу даними. Також в ході дослідження використовувалися дані розрахунку ІЗА та його складових за період з 1992 до 2013 р., що були надані Центральною геофізичною обсерваторією для 53 населених пунктів України. В якості базового програмного забезпечення використовувався програмне забезпечення ArcGIS.

Первинні обрахунки були виконані для співставлення річних та кумулятивних значень забруднення та ІЗА. Нажаль, жодний із варіантів не зміг встановити істотний зв'язок між цими показниками. Тому в подальшій роботі було вирішено працювати зі складовими ІЗА, зокрема, вимірами NO_2 в складі ІЗА населених пунктів.

В результаті цих вимірів було встановлено наявність істотного зв'язку між даними супутникового моніторингу та виміряними значеннями NO_2 з використанням інструментальної зйомки. Це вказує на результативність використання супутникових даних для оцінки забруднення атмосферного повітря на всій території країни. При цьому значення зв'язку збільшуються у напрямі збільшення абсолютних значень показника. В цьому випадку коефіцієнт кореляції становить 0,8183 і є істотним. Подальшим кроком

стало дослідження характеру зв'язку між даними. Для цього було побудовано розподіл населених пунктів у двовимірному просторі варіограми, де по осі Х відкладено значення наземних спостережень, а по осі У – супутникові дані (рис. 1).

На основі даного зв'язку було розраховано рівняння лінійної регресії для переходу від даних наземних спостережень до результатів космічного знімання:

$$NO_{2e} = 1,23278021 + 0,498128761 * NO_2,$$

де NO_{2e} – розрахункове значення двоокису азоту,

NO_2 – первинні супутникові данні виміру двоокису азоту.

Значення $R^2=0,8183$ – що підтверджує надійність моделі.

Це регресійне рівняння допомагає отримати кореговані значення NO_2 для всієї території. Практична реалізація перерахунку здійснювалась за допомогою інструменту Калькулятор растрів, який входить до складу модулю Spatial Analyst. Калькулятор растрів дозволяє працювати одночасно з усім масивом комірок растру, здійснюючи будь-які математичні операції. Результат обрахунку показано на рисунку 2.

Карта значень NO_2 показує найбільші значення у східній

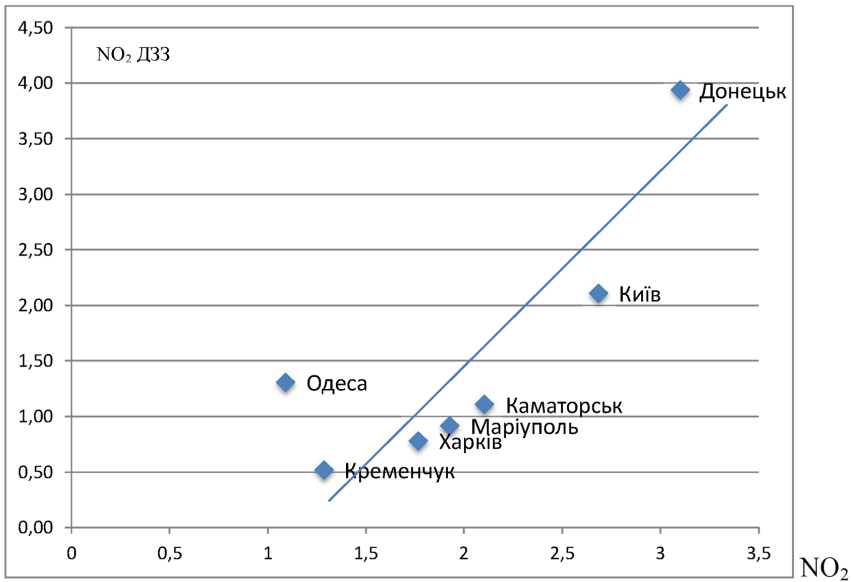


Рис. 1. Зв'язок між даними наземних спостережень та дистанційного зондування вмісту NO_2

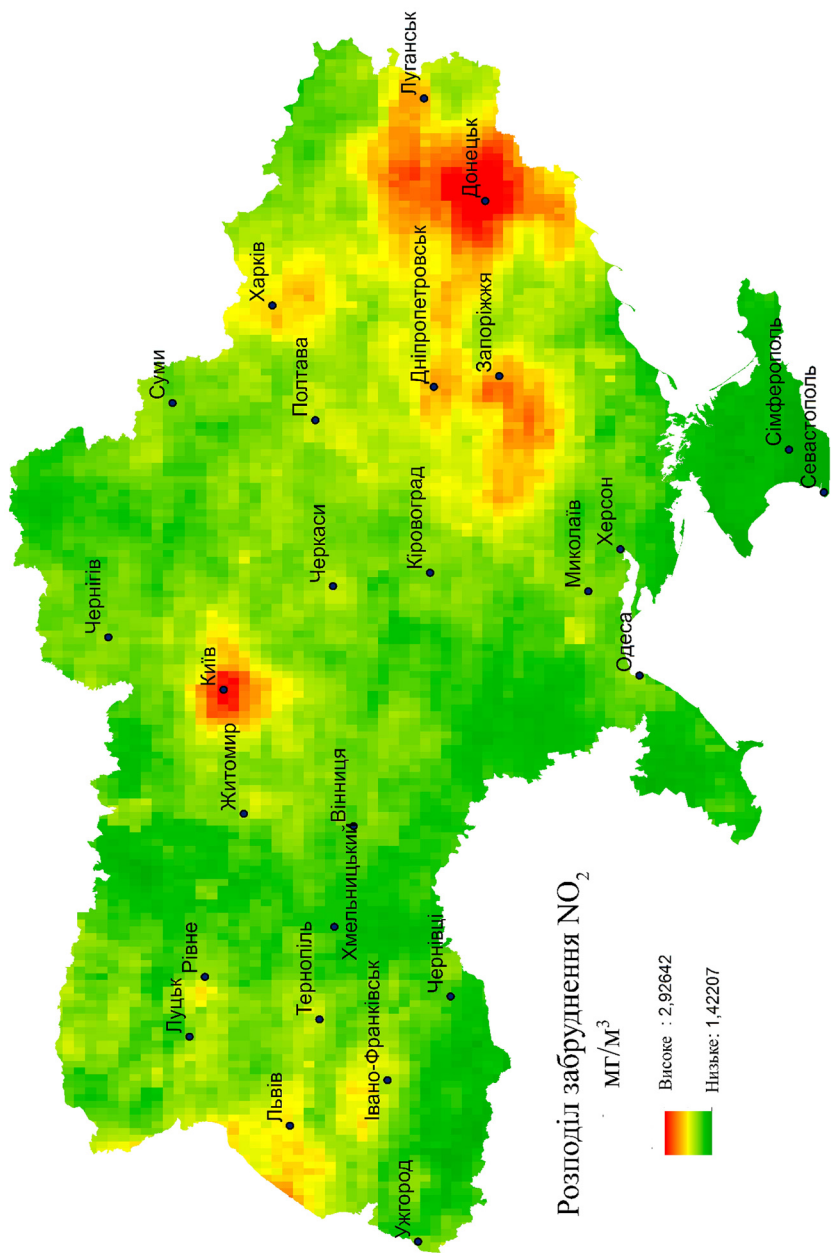


Рис. 2. Кореговані за інструментальними дослідження виміри забруднення NO_2 .

частині України, що характерно для промислово-розвинутих районів країни. Також чітко виділяється Придніпровський басейн з

Дніпром, Запоріжжям, Кривим Рогом. Значним осередком викидів NO_2 є Київська агломерація із Києвом, яка впливає на відстані до 100 км на якість повітря навколишніх населених пунктів. Також значними центрами залишаються Харків, Івано-Франківськ, Львів. В останньому випадку також має вплив транскордонний переніс.

Висновки. Отже, у результаті виконаної роботи підтверджено доцільність використання даних ДЗЗ та результатів їх обробки для екологічної оцінки та моніторингу стану повітря. На основі дослідження даних встановлено що найбільш репрезентативними показниками для оцінки стану повітря є результати вимірювання NO_2 . Встановлено залежність між наземними спостереженнями та результатами обробки космічних даних для виміру NO_2 та характер залежності між NO_2 та ІЗА, на основі регресійних рівнянь, що дає можливість для екстраполяції даних про якість повітря на всю територію України.

Рецензент – доктор технічних наук, професор М. З. Згуровський

Література:

1. Іщук О. О. Методологічні особливості використання аналітичних та моделюючих засобів ГІС для прогнозування і оцінки наслідків надзвичайних ситуацій на території України [Текст] / О. О. Іщук // Уч. зап. Таврич. ун-та. Географія. – 2002. – Т. 15 (54). – № 1. – С. 94–101.

2. Ночвай В. Використання ГІС у задачах управління якістю повітря [Текст] / Ночвай В., Криваковська Р., Іщук О. – Електроніка та інформаційні технології. – 2012. – Випуск 2. – С. 154–163.

3. Посудін Ю. І. Моніторинг довкілля з основами метрології: підручник [Текст] / Ю. І. Посудін. – К. : Світ, 2012. – 426 с.

4. Попов О. О. Математичне та комп'ютерне моделювання техногенних навантажень на атмосферу міста від стаціонарних точкових джерел забруднення : Автореф. дис... канд. техн. наук : спец: 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи [Текст] / О. О. Попов – К., 2010. – 20 с.

5. Яцишин А. В. Використання інформаційних технологій в задачах управління екологічною безпекою [Текст] / Яцишин А. В., Попов О. О., Артемчук В. О. – Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – Вип. 2(41) – С. 289 – 294.

6. Aaron van Donkelaar Global estimates of fine particulate matter

using a combined geophysical-statistical method with information from satellites, models, and monitors [Text] / Aaron van Donkelaar, Randall V. Martin, Michael Brauer, N. Christina Hsu, Ralph A. Kahn, Robert C. Levy, Alexei Lyapustin, Andrew M. Sayer, and David M. Winker – [Electronic resource]. – Mode of access : <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b05833>.

7. Halek F. Gis assessment of the PM₁₀, PM_{2.5} and PM_{1.0} concentrations in urban area of Tehran in warm and cold seasons [Text] / F. Halek, A. Kavousi-rahima. – The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences – 2014. – Volume XL-2/W3. – pp. 141 – 149.

8. Jeffrey A. Geddes Long-term trends worldwide in ambient NO₂ concentrations inferred from satellite observations [Text] / Jeffrey A. Geddes, Randall V. Martin, Brian L. Boys and Aaron van Donkelaar. – Environmental Health Perspectives. – 2016. – vol. 124 – № 3. – pp. 281 – 289.

9. Khaled Ahmad Ali Abdulla Al Koas GIS-based mapping and statistical analysis of air pollution and mortality in Brisbane, Australia [Text] / Khaled Ahmad Ali Abdulla Al Koas. – The Queensland University of Technology – April 2010 – 67 p.

10. Paul Monks Fine particulate matter (PM_{2.5}) in the United Kingdom [Text] / Paul Monks – Prepared for: Department for Environment, Food and Rural Affairs – Crown copyright. – 2012. – 202 p.

11. Richa Rai Gaseous air pollutants: a review on current and future trends of emissions and impact on agriculture [Text] / Richa Rai, Madhu Rajput, Madhoolika Agrawal and S.B. Agrawal – Journal of Scientific Research – BanarasHinduUniversity, Varanasi – pp. 77 – 102.

12. Wang S.W. Growth in NO_x emissions from power plants in China: bottom-up estimates and satellite observations [Text] / S. W. Wang, Q. Zhang, D. G. Streets, K. B. He, R. V. Martin, L. N. Lamsal, D. Chen, Y. Lei, and Z. Lu – Published in Atmos. Chem. Phys. Discuss.: 2 January 2012 – pp. 4429 – 4447.

V. В. Путренко, Н. Н. Пашинская, С. Ю. Назаренко
**КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА НА
ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ**

Предложены научные и практические основы мониторинга состояния атмосферного воздуха на основе использования данных

спутниковой съемки Земли с целью исследования содержания окиси азота NO₂. На основе регрессионного и географически взвешенного регрессионного анализа установлена связь между данными космического мониторинга и наземными наблюдениями.

Ключевые слова: мониторинг, загрязнение атмосферы, данные дистанционного зондирования Земли, регрессионный анализ.

V. Putrenko, N. Pashynska, S. Nazarenko

MAPPING OF AIR QUALITY BASED ON REMOTE SENSING DATA

A scientific and practical principles of state monitoring of air through the use of satellite imagery data of the Earth for study the content of nitrogen oxide NO₂ were proposed. Based geographically weighted regression, and regression analysis the relation between remote sensing monitoring data and ground observations were defined.

The problems of air pollution are important and relevant to support sustainable development and clean environment. For Ukraine, the problem of evaluating air quality is particularly relevant due to the large number of emissions from stationary and non-stationary pollution sources and low level of development of observations. Therefore, the use of remote sensing provides advantages for monitoring air quality throughout the country by a wide territorial coverage and low cost, but the use of remote sensing data necessary to conduct complex work on verification and comparison with ground-based measurements tool.

For the study data was used from Project geoportals Atmospheric Composition Analysis Group at <http://fizz.phys.dal.ca/>. As the underlying data was selected studies using remote sensing nitric oxide NO₂ content as one of the basic types of air pollution.

The main objective of the study was to establish linkage with indicators of index air pollution, measured during ground observations.

As a result, it was found a high correlation coefficient for satellite data and ground-based observations in big cities. It is possible to build a regression model that allows calculating existing remote sensing data to ground measurements and thus obtain distribution of pollution NO₂ across the country.

Keywords: monitoring, pollution, remote sensing of the Earth, regression analysis.

Надійшла до редакції 23 серпня 2016 р.