



УДК 504.61:[615:66.0]:[502.3:613.15]:546](045)  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.14>

## ВПЛИВ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН НА ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВА ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Н. Ю. Душечкіна<sup>1</sup>, О. В. Кочубей<sup>2</sup>, С. В. Совгіра<sup>3</sup>

У статті досліджено вплив підприємств фармацевтичної промисловості на якість атмосферного повітря та оцінено екологічні ризики, пов'язані з викидами неорганічних речовин, що містяться в технологічних газових викидах. Встановлено, що, хоча фармацевтичні підприємства не належать до основних джерел забруднення атмосфери, їхня діяльність може формувати локальні осередки підвищеного вмісту оксидів азоту, діоксиду сірки, аміаку та неорганічного пилу. Аналіз концентрацій цих речовин у межах санітарно-захисних зон підприємств показав, що навіть наближення до гранично допустимих значень створює потенційні ризики для здоров'я населення, особливо для осіб із хронічними захворюваннями органів дихання та осіб, що постійно проживають у зоні впливу. Результати дослідження підтвердили доцільність використання комплексних індексів забруднення для оцінки стану повітря, що дозволяє проводити порівняльний аналіз антропогенного навантаження та визначати пріоритетні напрями екологічного управління на промислових територіях. Виявлено, що характер забруднення є локальним і концентрується у межах санітарно-захисних зон, що обумовлює необхідність систематичного моніторингу якості атмосферного повітря та застосування інтегрованих підходів до оцінки екологічної безпеки. На основі отриманих результатів запропоновано комплексний підхід до екологічного управління на підприємствах фармацевтичної промисловості, що включає технологічну модернізацію виробничих процесів, впровадження сучасних методів очищення газових викидів, а також організаційні заходи щодо контролю за станом навколишнього середовища. Реалізація таких заходів сприятиме зменшенню негативного впливу на довкілля, підвищенню рівня екологічної безпеки населення та забезпеченню сталого розвитку промислових територій, а також дозволить поєднати ефективну діяльність підприємств з виконанням вимог сучасного природоохоронного законодавства.

**Ключові слова:** фармацевтична промисловість, атмосферне повітря, неорганічні викиди, локальне забруднення, екологічна безпека, моніторинг якості повітря, технологічна модернізація.

<sup>1</sup> кандидат педагогічних наук, доцент,  
доцент кафедри хімії та екології  
(Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань)  
e-mail: nataxeta74@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4203-7122

<sup>2</sup> доктор філософії, викладач кафедри хімії та екології  
(Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань)  
e-mail: sncelena@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-5047-6694

<sup>3</sup> доктор педагогічних наук, професор,  
професор кафедри хімії та екології  
(Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань)  
e-mail: sovgyrasvitlana@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-8742-7773

## THE IMPACT OF INORGANIC SUBSTANCES ON AIR QUALITY FROM TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PHARMACEUTICAL INDUSTRY ENTERPRISES

N. Yu. Dushechkina, O. V. Kochubei, S. V. Sovhira

*The article investigates the influence of pharmaceutical industry enterprises on atmospheric air quality and assesses the environmental risks associated with emissions of inorganic substances contained in technological gas emissions. It was found that, although pharmaceutical enterprises are not among the main sources of atmospheric pollution, their activities can form local foci of increased nitrogen oxides, sulfur dioxide, ammonia and inorganic dust. Analysis of the concentrations of these substances within the sanitary protection zones of enterprises showed that even approaching the maximum permissible values creates potential risks for public health, especially for people with chronic respiratory diseases and people permanently residing in the zone of influence. The results of the study confirmed the feasibility of using complex pollution indices to assess the state of the air, which allows for a comparative analysis of anthropogenic load and to determine priority areas of environmental management in industrial areas. It was found that the nature of pollution is local and concentrated within sanitary protection zones, which necessitates the need for systematic monitoring of atmospheric air quality and the use of integrated approaches to assessing environmental safety. Based on the results obtained, a comprehensive approach to environmental management at pharmaceutical industry enterprises is proposed, which includes technological modernization of production processes, the introduction of modern methods of gas emission purification, as well as organizational measures to monitor the state of the environment. The implementation of such measures will contribute to reducing the negative impact on the environment, increasing the level of environmental safety of the population and ensuring sustainable development of industrial areas, and will also allow combining the effective operation of enterprises with the implementation of the requirements of modern environmental legislation.*

**Key words:** pharmaceutical industry, atmospheric air, inorganic emissions, local pollution, environmental safety, air quality monitoring, technological modernization.

### Вступ

Сучасна фармацевтична промисловість є стратегічно важливою галуззю економіки, що забезпечує населення лікарськими засобами та формує основу системи охорони здоров'я. Водночас інтенсифікація фармацевтичного виробництва, розширення асортименту активних фармацевтичних інгредієнтів і ускладнення технологічних процесів супроводжуються зростанням антропогенного навантаження на довкілля, зокрема на атмосферне повітря (Вітюк і Траченко, 2018). У структурі промислових викидів фармацевтичних підприємств поряд з органічними компонентами суттєву роль відіграють неорганічні речовини, які характеризуються високою хімічною активністю та здатністю до трансформацій у повітряному середовищі (Бабієнко та ін., 2022).

Актуальність дослідження зумовлена тим, що неорганічні сполуки, які надходять в атмосферу внаслідок фармацевтичних технологічних процесів, здатні брати участь у фотохімічних і гетерогенних реакціях з утворенням вторинних забруднювачів, зокрема нітратних і сульфатних аерозолів, що істотно погіршують якість повітря та підвищують рівень інгаляційного навантаження на населення (Allen et al., 2019; Dat

et al., 2024). Особливої екологічної небезпеки набувають газоподібні сполуки азоту та сірки, які в атмосфері трансформуються у кислоти та солі, змінюючи кислотно-лужний баланс повітря й атмосферних опадів (Amar Nath, 2025).

Проблематика дослідження полягає у тому, що більшість досліджень зосереджені на оцінюванні загального екологічного навантаження або на впливі органічних забруднювачів, тоді як механізми атмосферних перетворень неорганічних сполук, їх взаємодія з водяною парою, аміаком та твердими аерозольними частинками залишаються недостатньо висвітленими.

Питання впливу промислових викидів на якість атмосферного повітря широко висвітлюється у працях вітчизняних та зарубіжних науковців, однак більшість досліджень зосереджена на підприємствах важкої промисловості, тоді як фармацевтична галузь залишається недостатньо вивченою. У навчальному посібнику з фармацевтичної гігієни розглянуто гігієнічні аспекти виробничого середовища фармацевтичних підприємств, зокрема вплив хімічних чинників на здоров'я працівників, проте екологічні наслідки викидів неорганічних елементів у атмосферне повітря висвітлені фрагментарно (Бабієнко та ін., 2022).

У підручнику В. Бардова та ін., значну увагу приділено загальним закономірностям формування хімічного забруднення атмосферного повітря, токсикологічній характеристиці неорганічних сполук і їх впливу на організм людини (Бардов та ін., 2020). Водночас автори акцентують на необхідності галузевих досліджень, оскільки специфіка технологічних процесів суттєво впливає на склад і концентрацію викидів.

Низка наукових праць присвячена оцінці забруднення повітря важкими металами від металургійних підприємств. Так, у дослідженнях К. Белоконь (та ін.) та Є. Матухно (та ін.), показано значний внесок промислових викидів у формування підвищених концентрацій неорганічних елементів у повітрі промислових регіонів України та доведено негативний вплив таких викидів на екологічний стан урбанізованих територій (Белоконь та ін., 2018; Matukhno et al., 2019). Отримані результати мають важливе методологічне значення, однак не можуть бути безпосередньо екстрапольовані на фармацевтичні підприємства через відмінність технологій і складу забруднювальних речовин.

Суттєвий внесок у розвиток методів оцінки якості атмосферного повітря зробили дослідження присвячені застосуванню комплексних індексів забруднення. У праці В. Колесника та співавторів запропоновано екологічну класифікацію якості атмосферного повітря, що дозволяє враховувати сумарну дію кількох хімічних компонентів і підвищує об'єктивність оцінки екологічного стану територій (Колесник та ін., 2017). Але у цих дослідженнях не враховано специфічні неорганічні домішки, характерні для фармацевтичного виробництва.

Окремі публікації присвячені екологічним аспектам фармацевтичної діяльності загалом. У зарубіжному огляді розглянуто вплив фармацевтичної промисловості на навколишнє середовище, зокрема забруднення водних об'єктів і ґрунтів, проте атмосферні викиди неорганічних компонентів висвітлено недостатньо детально (Bankole et al., 2023). Вітчизняні праці з водопостачання та очищення стічних вод акцентують увагу на ефективності технологій очищення, які потенційно можуть бути адаптовані й для систем очищення газових викидів, однак прямий зв'язок із якістю атмосферного повітря фармацевтичних підприємств залишається опосередкованим (Айрапетян, 2021; Сорокіна, 2021).

Нормативно-правові документи, зокрема гігієнічні регламенти допустимого вмісту хімічних речовин в атмосферному повітрі, визначають граничні концентрації неорганічних елементів і створюють правову основу для екологічного контролю. Проте на практиці відсутні достатні наукові дані щодо відповідності фактичних викидів фармацевтичних підприємств установленим нормативам та ефективності застосовуваних очисних технологій (Про затвердження ..., 2020). Отже, аналіз останніх публікацій свідчить про наявність значного наукового доробку у сфері гігієни атмосферного повітря та оцінки промислового забруднення, однак виявляє низку невирішених питань. До них належать недостатня кількість галузевих досліджень, присвячених фармацевтичним підприємствам, обмежені дані щодо складу та рівнів викидів неорганічних елементів, а також відсутність комплексної методики оцінки їх впливу на якість атмосферного повітря з урахуванням специфіки фармацевтичного виробництва. Саме ці аспекти зумовлюють необхідність подальших наукових досліджень у зазначеному напрямі.

Мета дослідження – оцінити вплив неорганічних елементів, що утворюються під час технологічних процесів підприємств фармацевтичної промисловості, на якість атмосферного повітря.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати основні джерела викидів неорганічних елементів у фармацевтичній промисловості.
2. Визначити склад і характеристику основних неорганічних забруднювачів атмосферного повітря.
3. Оцінити вплив неорганічних елементів на якість повітря та потенційні ризики для здоров'я населення.
4. Узагальнити методи контролю та зниження викидів неорганічних речовин на фармацевтичних підприємствах.

#### **Матеріали і методи**

Матеріалами дослідження слугували наукові публікації вітчизняних і зарубіжних авторів, навчальні посібники та підручники з гігієни, екології та фармацевтичної промисловості, неорганічної хімії, а також нормативно-правові документи, що регламентують допустимий вміст хімічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. У роботі використано літературні джерела, присвячені питанням впливу промислових викидів на якість атмосферного повітря,

методам його оцінки та екологічної класифікації рівнів забруднення.

У процесі дослідження застосовано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів, що забезпечили всебічний аналіз впливу неорганічних елементів на якість атмосферного повітря. Основним методом був аналіз наукових джерел. Використано порівняльний метод для зіставлення даних щодо складу, рівнів і характеру викидів неорганічних елементів, що утворюються в різних технологічних процесах фармацевтичної промисловості. Застосовано метод систематизації та узагальнення, який дав змогу класифікувати неорганічні забруднювачі, визначити основні джерела їх утворення та проаналізувати гігієнічні нормативи допустимих концентрацій в атмосферному повітрі.

Для оцінки впливу викидів на якість повітря використано методи екологічної та гігієнічної оцінки, зокрема підхід комплексного аналізу рівня забруднення атмосферного повітря з урахуванням індексів забруднення та чинних санітарних регламентів.

#### **Результати та їх обговорення**

Аналіз отриманих даних показує, що основними неорганічними компонентами викидів фармацевтичних підприємств є оксиди азоту ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), аміак ( $\text{NH}_3$ ) та дрібнодисперсні металеві частки. Оксиди азоту утворюються в результаті термічних реакцій амонієвих і нітратних сполук, що використовуються у виробництві лікарських препаратів, а також під час спалювання енергоносіїв у технологічних печах. У повітрі  $\text{NO}$  окиснюється до  $\text{NO}_2$ , який далі взаємодіє з озonom та водяною парою, утворюючи нітратні аерозолі ( $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{NO}_3^-$ ). Ці дрібнодисперсні частки  $\text{PM}_{2.5}$  і  $\text{PM}_{0.1}$  можуть тривалий час залишатися в атмосфері та осідати на поверхнях, забруднюючи ґрунт і водні об'єкти.

Діоксид сірки здатний окислюватися у присутності каталізаторів, таких як іони металів у викидах, утворюючи сульфат-іони ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), які також формують дрібнодисперсні частки. При цьому реакції можуть йти у взаємодії з аміаком, що утворює амонійні сульфати ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), і збільшує кількість аерозолів у повітрі. Такі вторинні сполуки підвищують кислотність атмосферного осаду та сприяють локальному формуванню «кислотного дощу», що може негативно впливати на навколишнє середовище та технологічні системи підприємства.

Аміак, який вивиділяється при дії технологічних установок, активно взаємодіє із кислотними компонентами, формуючи амонійні сполуки. Він також може реагувати з леткими органічними кислотами, які присутні у низьких концентраціях, що інколи призводить до утворення органо-аміачних комплексів. Хоча органічні леткі сполуки на фармацевтичних підприємствах становлять меншу частку викидів, їх взаємодія з неорганічними компонентами може сприяти утворенню фотохімічно активних частинок, які підсилюють формування вторинних аерозолів.

Дрібнодисперсні металеві частки, що виділяються під час термічних і грануляційних процесів, здатні каталізувати атмосферні реакції. Наприклад, іони заліза або міді прискорюють окислення  $\text{NO}_2$  і  $\text{SO}_2$ , що підвищує швидкість утворення нітратних та сульфатних часток. Крім того, металеві частки можуть абсорбувати аміак і кислі гази, утворюючи хімічно стабільні агрегати, що осідають у довкіллі або залишаються у повітрі тривалий час, збільшуючи рівень токсичного впливу на організм людини.

Важливим аспектом є взаємодія цих компонентів із атмосферними умовами. Наприклад, підвищена вологість сприяє утворенню кислотних крапель, у яких концентруються іони нітратів і сульфатів, тоді як сильне сонячне випромінювання активує фотохімічне окиснення  $\text{NO}_2$  і  $\text{SO}_2$ , збільшуючи концентрацію дрібнодисперсних частинок у нічний і денний час доби. Такі процеси визначають динаміку забруднення повітря і складність прогнозування екологічного впливу. Отримані дані свідчать, що навіть при дотриманні нормативних гігієнічних концентрацій первинні викиди неорганічних сполук можуть змінюватися у повітрі під дією фотохімічних і окисних процесів, утворюючи вторинні аерозолі з підвищеною реакційною здатністю та токсичністю. Це підкреслює необхідність впровадження комплексних технологій очищення газових потоків, що враховують хімічний склад і реакційну здатність викидів, а також постійного моніторингу дрібнодисперсних часток і вторинних аерозолів у зоні впливу фармацевтичних підприємств.

Отже, результати підтверджують, що неорганічні компоненти викидів є ключовим фактором формування забруднення атмосферного повітря. Вторинні хімічні реакції у повітрі значно посилюють потенційну токсичність і вплив на екосистеми та здоров'я людей. Для зменшення еколо-

гічного навантаження необхідне комплексне оцінювання хімічного складу, впровадження адаптованих систем очищення та контроль утворення вторинних аерозолів з урахуванням специфіки фармацевтичного виробництва.

### Висновки

Дослідження показало, що основними неорганічними компонентами викидів фармацевтичних підприємств є оксиди азоту (NO, NO<sub>2</sub>), діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), аміак (NH<sub>3</sub>) та дрібнодисперсні металеві частки. У повітрі вони піддаються окисненню та фотохімічним перетворенням, формуючи вторинні аерозолі (нітрати, сульфати, амонійні сполуки), що підвищують концентрацію дрібнодисперсних частинок PM<sub>2.5</sub>

і PM<sub>0.1</sub> і впливають на здоров'я людей та екосистеми.

Хоча органічні леткі сполуки присутні у викидах, їхній внесок у забруднення повітря другорядний, проте вони можуть посилювати утворення вторинних аерозолів. Вторинні хімічні реакції у повітрі змінюють первинний склад викидів, підвищуючи їхню токсичність і тривалість перебування в атмосфері.

Для зменшення екологічного навантаження необхідне впровадження комплексних систем очищення газових потоків, а також моніторинг вторинних аерозолів і дрібнодисперсних часток, що дозволить ефективно контролювати вплив фармацевтичних підприємств на якість атмосферного повітря.

### Список використаної літератури

- Айрапетян Т. С. Водопостачання та очистка стічних вод промислових підприємств : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 138 с.
- Бабієнко В. В., Мокієнко А. В., Грузевський О. А. Фармацевтична гігієна : навчальний посібник. Одеса : Прес-кур'єр, 2022. 324 с.
- Белоконь К. В., Манідіна Є. А., Куранова Я. О. Дослідження впливу викидів металургійних підприємств на забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя. *Металургія*. 2018. Вип. 1(39). С. 136–140.
- Вітюк А. В., Траченко К. Р. Суперечливі тенденції розвитку фармацевтичної промисловості України. *Вісник ВПІ*. 2018. Вип. 6. С. 35–43.
- Гігієна та екологія : підручник / В. Г. Бардов, С. Т. Омельчук, Н. В. Мережкіна [та ін.]. Вінниця : Нова Книга, 2020. 472 с.
- Колесник В. Є., Павличенко А. В., Калініна К. Р. Екологічна класифікація якості атмосферного повітря за комплексними індексами його забруднення. *Геотехнічна механіка*. 2017. Вип. 137. С. 156–169.
- Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : наказ МОЗ України № 52 від 14.01.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> (дата звернення: 06.01.2026).
- Сорокіна К. Б. Технологія очистки природних вод : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 115 с.
- Allen S. A. A., Ree A. G., Ayodeji S. A. M. et al. Secondary inorganic aerosols: impacts on the global climate system and human health. *Biodiversity International Journal*. 2019. Vol. 3(6). P. 249–259. DOI: <https://doi.org/10.15406/bij.2019.03.00152>
- Amar Nath. Effects of Inorganic Compounds on the Environment and Their Control: A Review. *Asian Journal of Chemical Sciences*. 2025. Vol. 15(6). P. 77–92. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajocs/2025/v15i6407>
- Bankole I. A., Chinedum G. U., Ochuko F. O. Environmental Impact of Pharmaceuticals: A Comprehensive Review. *Matrix Science Pharma*. 2023. Vol. 7(3). P. 85–94. DOI: [https://doi.org/10.4103/mtsp.mtsp\\_15\\_23](https://doi.org/10.4103/mtsp.mtsp_15_23)
- Belkhir L., Elmeligi A. Carbon footprint of the global pharmaceutical industry and relative impact of its major players. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 214. P. 185–194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.204>
- Dat N. Q., Ly B. T., Nghiem T. D., Nguyen H. T. T., Sekiguchi K., Huyen T. T., Vinh T. H., Tien L. Q. Influence of Secondary Inorganic Aerosol on the Concentrations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>0.1</sub> during Air Pollution Episodes in Hanoi, Vietnam. *Aerosol and Air Quality Research*. 2024. Vol. 24. Article 220446. DOI: <https://doi.org/10.4209/aaqr.220446>
- Grassano N., Hernandez G. H., Tuebke A. et al. *The 2020 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 113 p.
- Matukhno E., Belokon K., Shatokha V., Baranova T. Ecological aspects of sustainable development of metallurgical complex in Ukraine. *Procedia Environmental Science – Engineering and Management*. 2019. Vol. 4. P. 671–680.
- Pak A. V., Pak A. O., Sychova T. O. et al. Research of system water of jelly products from different manufacturers by thermodynamic methods. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 1(13). P. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-0821.2025.01.08>

## References

- Airapetian, T.S. (2021). *Vodopostachannia ta ochystka stichnykh vod promyslovykh pidpriemstv: konspekt lektsii* [Water supply and wastewater treatment of industrial enterprises: lecture notes]. Kharkiv: KhNUMG im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
- Babiienko, V.V., Mokiienko, A.V., & Gruzevskiy, O.A. (2022). *Farmatsevychna hihiiena: navchalnyi posibnyk* [Pharmaceutical hygiene: a study guide]. Odesa: Pres-kurier [in Ukrainian].
- Bielokon, K.V., Manidina, Ye.A., & Kuranova, Ya.O. (2018). Doslidzhennia vplyvu vykydiv metalurhiinykh pidpriemstv na zabrudnennia atmosferного povitria m. Zaporizhzhia [Study of the impact of emissions from metallurgical enterprises on air pollution in Zaporizhzhia]. *Metallurhiia [Metallurgy]*, 1(39), 136–140 [in Ukrainian].
- Vitiuk, A.V., & Trachenko, K.R. (2018). Superechlyvi tendentsii rozvytku farmatsevychnoi promyslovosti Ukrainy [Contradictory trends in the development of the pharmaceutical industry of Ukraine]. *Visnyk VPI [Bulletin of VPI]*, 6, 35–43 [in Ukrainian].
- Bardov, V.H., Omelchuk, S.T., Merezhkina, N.V. et al. (2020). *Hihiiena ta ekolohiia: pidruchnyk* [Hygiene and ecology: a textbook]. Vinnytsia: Nova Knyha [in Ukrainian].
- Kolesnyk, V.Ie., Pavlychenko, A.V., & Kalinina, K.R. (2017). Ekolohichna klasyfikatsiia yakosti atmosferного povitria za kompleksnymy indeksamy yoho zabrudnennia [Ecological classification of air quality by complex indices of its pollution]. *Heotekhnichna mekhanika [Geotechnical Mechanics]*, 137, 156–169 [in Ukrainian].
- Ministry of Health of Ukraine. (2020). *Pro zatverdzhennia hihienichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn v atmosferному povitri naselenykh mist* [On approval of hygienic regulations for the permissible content of chemical and biological substances in the atmospheric air of populated areas] (Order No. 52, January 14). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> [in Ukrainian].
- Sorokina, K.B. (2021). *Tekhnolohiia ochystky pryrodnykh vod: konspekt lektsii* [Natural water treatment technology: lecture notes]. Kharkiv: KhNUMG im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
- Allen, S.A.A., Ree, A.G., Ayodeji, S.A.M. et al. (2019). Secondary inorganic aerosols: impacts on the global climate system and human health. *Biodiversity International Journal*, 3(6), 249–259. <https://doi.org/10.15406/bij.2019.03.00152>.
- Amar Nath. (2025). Effects of Inorganic Compounds on the Environment and Their Control: A Review. *Asian Journal of Chemical Sciences*, 15(6), 77–92. <https://doi.org/10.9734/ajocs/2025/v15i6407>.
- Bankole, I.A., Chinedum, G.U., & Ochuko, F.O. (2023). Environmental Impact of Pharmaceuticals: A Comprehensive Review. *Matrix Science Pharma*, 7(3), 85–94. [https://doi.org/10.4103/mtsp.mtsp\\_15\\_23](https://doi.org/10.4103/mtsp.mtsp_15_23).
- Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2019). Carbon footprint of the global pharmaceutical industry and relative impact of its major players. *Journal of Cleaner Production*, 214, 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.204>.
- Dat, N.Q., Ly, B.T., Nghiem, T.D. et al. (2024). Influence of Secondary Inorganic Aerosol on the Concentrations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>0.1</sub> during Air Pollution Episodes in Hanoi, Vietnam. *Aerosol and Air Quality Research*, 24, 220446. <https://doi.org/10.4209/aaqr.220446>.
- Grassano, N., Hernandez, G.H., Tuebke, A. et al. (2020). *The 2020 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Matukhno, E., Belokon, K., Shatokha, V., & Baranova, T. (2019). Ecological aspects of sustainable development of metallurgical complex in Ukraine. *Procedia Environmental Science – Engineering and Management*, 4, 671–680.
- Pak, A.V., Pak, A.O., Sychova, T.O. et al. (2025). Research of system water of jelly products from different manufacturers by thermodynamic methods. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia [Bulletin of the National Technical University “KhPI”. Series: Chemistry, Chemical Technology and Ecology]*, 1(13), 54–61. <https://doi.org/10.20998/2079-0821.2025.01.08>.

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах  
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

