

УДК 004.94:502.5:004.8

Dmytro Mosiichuk, postgraduate

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-3864-1019> **e-mail:** deusplus@gmail.com

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGY FOR MONITORING ENVIRONMENTAL THREATS USING AEROSPACE DATA AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract. *The article is devoted to solving an urgent scientific and applied problem related to the development of information technology for monitoring environmental threats based on the integration of aerospace data and artificial intelligence methods. Modern environmental monitoring systems require the use of advanced information technologies capable of processing large volumes of heterogeneous spatial data and providing reliable information about the state of natural and anthropogenic systems.*

The proposed approach is based on the integrated use of satellite remote sensing data, unmanned aerial vehicle observations, geoinformation technologies, and machine learning algorithms. The developed information technology includes methods for collecting, processing, and analyzing aerospace data, as well as algorithms for automated identification of environmental threats.

Special attention is paid to the use of artificial intelligence methods for automated interpretation of satellite images and the detection of environmental changes in marine and coastal ecosystems. Neural network models are used to perform classification and segmentation of remote sensing data, which significantly increases the accuracy of identifying environmental hazards. The main functional subsystems of the technology have been identified, which provide a consistent information processing cycle – from the collection of aerospace data to the formation of analytical materials for assessing the state of the natural environment.

The proposed technology also provides the creation of geoinformation models for assessing environmental risks and forecasting the development of hazardous processes. The developed algorithms make it possible to automate the processes of environmental monitoring and support decision-making in environmental management systems.

The results of the research can be used in environmental monitoring systems, decision support systems for environmental safety, and in the development of intelligent geoinformation systems. Further research should be directed towards improving artificial intelligence algorithms for processing aerospace data and expanding the capabilities of environmental monitoring information systems.

Keywords: *information technology, environmental monitoring, aerospace data, artificial intelligence, satellite images, geoinformation systems, ecological threats.*

Д.І. Мосійчук

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
м. Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНИХ ДАНИХ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

***Анотація.** Статтю присвячено розв'язанню актуального науково-практичного завдання, що полягає у розробленні інформаційної технології моніторингу екологічних загроз на основі інтегрованого використання аерокосмічних даних та методів штучного інтелекту. У сучасних умовах зростання антропогенного навантаження на природне середовище, зміни клімату та техногенних впливів виникає необхідність створення ефективних систем екологічного моніторингу, здатних забезпечити оперативне виявлення змін стану довкілля та оцінювання екологічних ризиків.*

Запропонований підхід базується на комплексному використанні супутникових даних дистанційного зондування Землі, спостережень із застосуванням безпілотних літальних апаратів, геоінформаційних технологій та алгоритмів машинного навчання. Розроблена інформаційна технологія включає методи збору, оброблення та аналізу аерокосмічних даних, а також алгоритми автоматизованого виявлення екологічних загроз.

Особливу увагу приділено застосуванню методів штучного інтелекту для автоматизованого дешифрування супутникових зображень та виявлення змін природного середовища. Для підвищення точності аналізу супутникових даних використовуються нейронні мережі, що забезпечують ефективну класифікацію та сегментацію об'єктів природного середовища.

Запропонована інформаційна технологія дозволяє формувати геоінформаційні моделі оцінювання екологічних ризиків та прогнозування розвитку небезпечних екологічних процесів. Отримані результати можуть бути використані у системах екологічного моніторингу, системах підтримки прийняття рішень у сфері екологічної безпеки та у наукових дослідженнях природного середовища.

***Ключові слова:** інформаційні технології, екологічний моніторинг, аерокосмічні дані, штучний інтелект, дистанційне зондування Землі, геоінформаційні системи.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2026.1.190-198>

Вступ

У сучасних умовах розвитку техногенної цивілізації проблема забезпечення екологічної безпеки природного середовища набуває особливої актуальності. Зростання антропогенного навантаження на природні екосистеми, інтенсивний розвиток промисловості, транспортної інфраструктури та урбанізованих територій призводять до погіршення стану довкілля та виникнення нових екологічних ризиків.

Особливої гостроти проблема моніторингу екологічних загроз набуває в умовах глобальних змін клімату та зростання кількості техногенних аварій і природних катастроф. У таких умовах виникає необхідність створення сучасних інформаційних технологій, здатних забезпечити оперативне отримання, оброблення та аналіз великого обсягу геопросторових даних про стан природного середовища.

Одним із найбільш ефективних інструментів дослідження природних процесів є дистанційне зондування Землі. Супутникові системи спостереження забезпечують можливість отримання оперативної інформації про стан природного середовища на великих територіях. Сучасні супутникові платформи Sentinel, Landsat, WorldView та інші забезпечують регулярні спостереження за станом земної поверхні, водних ресурсів, рослинного покриву та урбанізованих територій.

Разом з тим, використання аерокосмічних даних супроводжується необхідністю обробки великих обсягів інформації, що потребує застосування сучасних методів аналізу даних. У цьому контексті важливу роль відіграють методи штучного інтелекту та машинного навчання, які дозволяють автоматизувати процес інтерпретації супутникових зображень та підвищити точність виявлення екологічних змін.

Сучасні алгоритми комп'ютерного зору та нейронні мережі дозволяють здійснювати автоматичне дешифрування супутникових зображень, що значно підвищує ефективність екологічного моніторингу. Застосування таких технологій відкриває нові можливості для створення інтелектуальних систем аналізу геопросторових даних.

У зв'язку з цим актуальним науковим завданням є розроблення інформаційної технології моніторингу екологічних загроз, що базується на інтегрованому використанні аерокосмічних даних, геоінформаційних систем та методів штучного інтелекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема використання дистанційного зондування Землі для дослідження природних процесів розглядається у роботах багатьох українських та зарубіжних науковців. Значний внесок у розвиток методів дистанційного дослідження природного середовища зробили роботи В.І. Лялька, М.О. Попова, О.М. Трофимчука, Г.Я. Красовського, Л.Д. Грекова та інших учених [1-4].

У працях В.І. Лялька досліджено спектральні характеристики природних об'єктів та можливості використання супутникових знімків для дослідження стану рослинного покриву. М.О. Попов розробив методи прогнозування врожайності сільськогосподарських культур на основі багатоспектральних даних дистанційного зондування.

О.М. Трофимчук та Г.Я. Красовський досліджували методи космічного моніторингу забруднення земель та оцінювання екологічного стану територій. У їхніх роботах значну увагу приділено застосуванню геоінформаційних систем для аналізу екологічних процесів [1, 3].

У сучасних дослідженнях значну увагу приділяють використанню безпілотних літальних апаратів для екологічного моніторингу. Використання БПЛА дозволяє отримувати детальні зображення земної поверхні з високою просторовою роздільною здатністю та забезпечує оперативний збір інформації про стан природного середовища, що відображено в працях В.М. Триснюка та О.А. Машкова [5, 7, 8].

Разом з тим, більшість існуючих систем екологічного моніторингу орієнтовані на використання окремих джерел даних і не забезпечують інтегрованого аналізу різномірної інформації. Крім того, існуючі методи оброблення аерокосмічних даних часто потребують значного обсягу ручної роботи та не забезпечують достатнього рівня автоматизації.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення нових інформаційних технологій, що забезпечують автоматизований аналіз аерокосмічних даних на основі методів штучного інтелекту.

Мета роботи. Метою дослідження є підвищення ефективності екологічного моніторингу шляхом розроблення інформаційної технології автоматизованого аналізу аерокосмічних даних із використанням методів штучного інтелекту для виявлення екологічних загроз.

Об'єктом дослідження є процес застосування інформаційної технології автоматизованого аналізу аерокосмічних даних із використанням методів штучного інтелекту для виявлення екологічних загроз у природних та техногенно навантажених територіях, зокрема у морських акваторіях та прибережних зонах.

З огляду на все вищесказане, можна виділити основні завдання досліджень:

- розроблення інформаційної технології моніторингу екологічних загроз на основі інтегрованого використання аерокосмічних даних дистанційного зондування Землі та даних безпілотних літальних апаратів;
- удосконалення алгоритмів автоматизованого аналізу аерокосмічних зображень із застосуванням методів штучного інтелекту для виявлення змін стану природного середовища;
- розроблення моделей та програмних засобів оцінювання екологічного стану морських акваторій і прибережних зон та формування карт екологічних загроз для підтримки прийняття управлінських рішень у системах екологічного моніторингу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сучасний стан розвитку систем екологічного моніторингу характеризується зростанням обсягів просторових даних, що отримуються за допомогою супутникових систем дистанційного зондування Землі, безпілотних літальних апаратів та наземних сенсорних мереж. Використання аерокосмічних даних створює передумови для формування нових інформаційних технологій, здатних забезпечити оперативний аналіз стану природного середовища та своєчасне виявлення екологічних загроз. Разом з тим, значна кількість отримуваної інформації потребує застосування інтелектуальних методів її оброблення, що обумовлює необхідність використання алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання.

У межах даного дослідження запропоновано інформаційну технологію моніторингу екологічних загроз, що базується на інтегрованому використанні аерокосмічних даних дистанційного зондування Землі, геоінформаційних систем та методів штучного інтелекту. Реалізація запропонованої технології передбачає виконання кількох взаємопов'язаних етапів, які відповідають поставленим у роботі завданням дослідження [6].

Розроблення інформаційної технології моніторингу екологічних загроз на основі аерокосмічних даних

Першим етапом дослідження є формування інформаційної технології моніторингу екологічних загроз на основі інтеграції різних джерел просторових даних. Основу інформаційної бази системи становлять супутникові знімки, отримані з космічних платформ дистанційного зондування Землі, а також дані, отримані за допомогою безпілотних літальних апаратів.

Застосування супутникових даних дозволяє здійснювати широкомасштабний моніторинг природного середовища, що включає оцінювання стану водних акваторій, рослинного покриву, ґрунтового середовища та техногенно навантажених територій. Супутникові системи Sentinel, Landsat та інші забезпечують отримання багатоспектральних зображень, які дозволяють проводити аналіз екологічних процесів на основі спектральних характеристик об'єктів.

У свою чергу, використання безпілотних літальних апаратів дозволяє отримувати зображення високої просторової роздільної здатності, що є особливо важливим для детального аналізу стану прибережних зон, локалізації зон забруднення та ідентифікації техногенних об'єктів. Комбіноване використання супутникових та аерофотознімків забезпечує формування комплексної інформаційної бази для проведення екологічного моніторингу.

Удосконалення алгоритмів автоматизованого аналізу аерокосмічних зображень із використанням методів штучного інтелекту

Другим важливим етапом дослідження є удосконалення алгоритмів автоматизованого аналізу аерокосмічних даних із використанням методів штучного інтелекту. Аналіз супутникових зображень традиційними методами потребує значних часових витрат і не завжди забезпечує необхідний рівень точності. У зв'язку з цим застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє значно підвищити ефективність оброблення даних.

У рамках дослідження розглядається можливість використання згорткових нейронних мереж для класифікації та сегментації супутникових зображень. Такі моделі дозволяють автоматично визначати об'єкти природного середовища, виявляти зміни стану територій та ідентифікувати потенційні джерела екологічних загроз.

Процес автоматизованого аналізу аерокосмічних зображень включає кілька основних етапів. На першому етапі проводиться попередня обробка супутникових знімків, яка включає радіометричну та геометричну корекцію, нормалізацію спектральних каналів та формування багатоспектральних композитів. Далі здійснюється виділення інформативних ознак, що характеризують спектральні та текстурні властивості об'єктів.

Наступним етапом є застосування алгоритмів машинного навчання для класифікації зображень. На основі навчальних вибірок формуються моделі розпізнавання об'єктів, які дозволяють автоматично визначати типи земної поверхні, локалізувати зони забруднення та виявляти антропогенні зміни природного середовища.

Особливу увагу в дослідженнях приділено використанню методів глибокого навчання, які забезпечують можливість оброблення складних багатовимірних даних. Використання нейронних мереж дозволяє підвищити точність класифікації об'єктів та зменшити кількість помилок при інтерпретації супутникових зображень.

Розроблення моделей оцінювання екологічного стану територій та формування карт екологічних загроз

Третім етапом дослідження є розроблення моделей оцінювання екологічного стану територій та формування карт екологічних загроз. Для цього використовується геоінформаційний підхід, який дозволяє інтегрувати різномірні просторові дані та виконувати їх комплексний аналіз.

На основі результатів автоматизованого аналізу супутникових зображень формується база даних просторових показників, що характеризують стан природного середовища. До таких показників належать індекси рослинності, індекси водних поверхонь, показники техногенного навантаження та інші параметри.

Отримані дані використовуються для побудови геоінформаційних моделей оцінювання екологічних ризиків. За допомогою просторового аналізу визначаються території з підвищеним рівнем екологічної небезпеки, а також проводиться оцінювання можливих наслідків антропогенного впливу на природне середовище. Основні джерела забруднення зазвичай відомі, однак масштаби їх впливу змінюються залежно від обсягів, ступеня очищення та просторової динаміки процесів. Це потребує оконтурювання плям, де спектральні характеристики яскравості виходять за межі встановлених нормативних значень.

У роботі розроблено алгоритм автоматизованої векторизації меж забруднених ділянок (рис. 1).

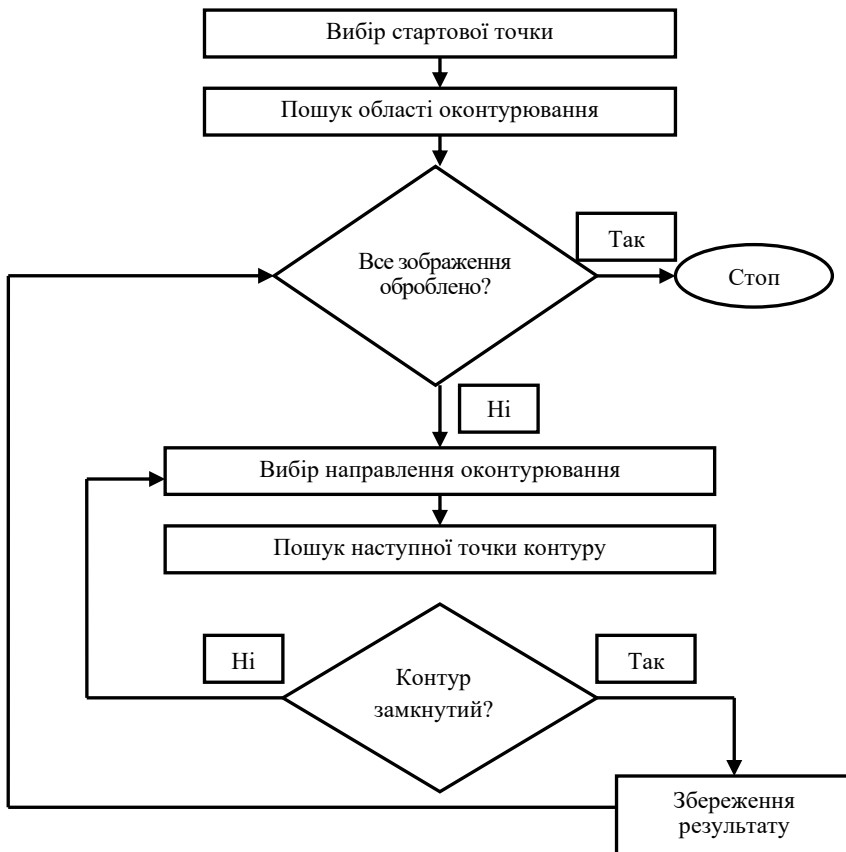


Рис. 1. Алгоритм векторизації контуру виділеної ділянки

Запропонована методика автоматизованого оконтурювання та векторизації забезпечує підвищену точність і об'єктивність в оцінюванні параметрів забруднення на основі супутникових знімків, із перспективою інтеграції у сучасні ГІС-платформи (рис. 2).



Рис. 2. Забруднення Чорного моря береговим стоком

Одним із важливих результатів застосування запропонованої інформаційної технології є формування карт екологічних загроз. Такі карти дозволяють візуалізувати результати аналізу аерокосмічних даних та визначити просторову структуру екологічних ризиків.

Вони можуть використовуватися органами управління природними ресурсами та екологічними службами для прийняття управлінських рішень.

Таким чином, запропонована інформаційна технологія забезпечує інтеграцію аерокосмічних даних, методів штучного інтелекту та геоінформаційних технологій для вирішення задач моніторингу екологічних загроз. Її застосування дозволяє підвищити оперативність отримання інформації про стан природного середовища, покращити точність виявлення екологічних змін та забезпечити ефективну підтримку прийняття рішень у сфері екологічної безпеки.

Висновки

У статті розглянуто підходи до створення інформаційної технології моніторингу екологічних загроз на основі інтегрованого використання аерокосмічних даних та методів штучного інтелекту. Дослідження спрямоване на підвищення ефективності екологічного моніторингу шляхом автоматизації аналізу даних дистанційного зондування Землі та застосування сучасних методів оброблення геопросторової інформації.

У результаті дослідження сформовано концептуальні засади інформаційної технології, що базується на використанні супутникових даних дистанційного зондування Землі, матеріалів аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів, геоінформаційних технологій та алгоритмів штучного інтелекту. Визначено основні функціональні підсистеми технології, які забезпечують послідовний цикл оброблення інформації – від збору аерокосмічних даних до формування аналітичних матеріалів для оцінювання стану природного середовища.

Запропоновано підходи до автоматизованого аналізу аерокосмічних зображень із використанням методів машинного навчання, що дозволяє підвищити точність класифікації об'єктів природного середовища та оперативно виявляти екологічні зміни. На основі інтеграції результатів аналізу даних дистанційного зондування та геоінформаційного моделювання обґрунтовано можливість формування карт екологічних загроз для оцінювання екологічного стану територій.

Отримані результати можуть бути використані при створенні інформаційно-аналітичних систем екологічного моніторингу та систем підтримки прийняття рішень у сфері екологічної безпеки. Подальші дослідження доцільно спрямувати на удосконалення алгоритмів штучного інтелекту для оброблення аерокосмічних даних та розширення можливостей інформаційних систем екологічного моніторингу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Красовський, Г. Я., Трофимчук, О. М., Крета, Д. Л., Клименко, В. І., Пономаренко, І. Г., & Суходубов, О. О. (2005). Синтез картографічних моделей забруднення земель техногенним пилом з використанням космічних знімків. *Екологія і ресурси*, 12, 37–55.
2. Греков, Л. Д., Красовський, Г. Я., & Трофимчук, О. М. (2007). *Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом*. Київ: Наукова думка.
3. Трофимчук, О. М., Адаменко, О. М., & Триснюк, В. М. (2021). *Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду*. Івано-Франківськ: Супрун В. П. ISBN 978-617-7468-53-9. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902083>
4. Лялько, В. І. (2002). Стан і перспективи розвитку аерокосмічних досліджень Землі в Україні. *Космічна наука і технологія*, 8(2–3), 29–35.
5. Триснюк, В. М. (2016). Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. *Системи обробки інформації*, 12, 185–188.
6. Триснюк, Т. В., & Мосійчук, Д. І. (2024). Інформаційні системи спостереження морських акваторій та прилеглих зон з використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів. *Екологічна безпека та природокористування*, 2(50), 130–141. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.130-141>
<https://es-journal.in.ua/issue/view/18243>
7. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic models of Dniester River basin probable flooding. *Centrul Universitar Nord din Baia Mare*, 1, 61–67.
8. Машков, О. А., Триснюк, В. М., Мамчур, Ю. В., Жукаускас, С. В., Нігородова, С. А., & Курило, А. В. (2019). Новий підхід до синтезу відновлюючого керування для дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, 1(19), 69–77. <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/162108/03-Mashkov.pdf>

Стаття надійшла до редакції 13.01.26, надійшла після рецензування 02.02.26, прийнята 26.02.26

REFERENCES

1. Krasovskyi, H. Ya., Trofymchuk, O. M., Kreta, D. L., Klymenko, V. I., Ponomarenko, I. H., & Sukhodubov, O. O. (2005). Syntez kartohrafichnykh modelei zabrudnennia zemel tekhnohennym pylom z vykorystanniam kosmichnykh znimkiv [Synthesis of cartographic models of land pollution by technogenic dust using satellite imagery]. *Ekolohiia i resursy*, 12, 37–55. [in Ukrainian]

2. Hrekov, L. D., Krasovskyi, H. Ya., & Trofymchuk, O. M. (2007). *Kosmichnyi monitorynh zabrudnennia zemel tekhnohennym pylom* [Space monitoring of land pollution by technogenic dust]. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian]
3. Trofymchuk, O. M., Adamenko, O. M., & Trysnyuk, V. M. (2021). *Heoinformatsiini tekhnologii zakhystu dovykillia pryrodno-zapovidnoho fondu* [Geoinformation technologies for environmental protection of nature reserve areas]. Ivano-Frankivsk: Suprun V. P. ISBN 978-617-7468-53-9. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902083> [in Ukrainian]
4. Lialko, V. I. (2002). Stan i perspektyvy rozvytku aerokosmichnykh doslidzhen Zemli v Ukraini [State and prospects of aerospace research of the Earth in Ukraine]. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia*, 8(2–3), 29–35. [in Ukrainian]
5. Trysnyuk, V. M. (2016). Systema upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu pryrodnykh i antropohenno-modifikovanykh heosystem [Environmental safety management system of natural and anthropogenically modified geosystems]. *Systemy obrobky informatsii*, 12, 185–188. [in Ukrainian]
6. Trysnyuk, T. V., & Mosiichuk, D. I. (2024). Informatsiini systemy sposterezhenia morskyykh akvatorii ta prylyhlykh zon z vykorystanniam dystantsiino pilotovanykh litalnykh aparativ [Information systems for monitoring marine areas and adjacent zones using unmanned aerial vehicles]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*, 2(50), 130–141. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.130-141>
<https://es-journal.in.ua/issue/view/18243> [in Ukrainian]
7. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic models of Dniester River basin probable flooding. *Centrul Universitar Nord din Baia Mare*, 1, 61–67.
8. Mashkov, O. A., Trysnyuk, V. M., Mamchur, Yu. V., Zhukauskas, S. V., Nihorodova, S. A., & Kurylo, A. V. (2019). Novyi pidkhid do syntezy vidnovliuiuchoho keruvannia dlia dystantsiino pilotovanykh litalnykh aparativ ekolohichnoho monitorynhu [A new approach to the synthesis of recovery control for unmanned aerial vehicles in environmental monitoring]. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya*, 1(19), 69–77. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/162108/03-Mashkov.pdf> [in Ukrainian]

The article was received 13.01.26, received after revision 02.02.26, accepted 26.02.26

Мосійчук Дмитро Іванович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України

Адреса робоча: Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-3864-1019> **e-mail:** deusplus@gmail.com