

Триснюк Тарас Васильович

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ
ORCID 0000-0002-3672-8242

Шевчук Олександр Вікторович

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ
ORCID 0000-0003-3287-8216

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕМПЕРАТУРНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ СМІТТЄЗВАЛИЩ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Анотація. Метою даного дослідження є вдосконалення інформаційних технологій для оцінки температурних показників сміттєзвалищ, що зміщуються на основі даних дистанційного зондування Землі. Для досягнення цієї мети вирішено завдання просторового моделювання температурних полів у ГІС-середовищах. Проведено аналіз моделей зіставлення даних за різні часові періоди для визначення змінених температурних характеристик. Об'єктом дослідження є процес застосування інформаційних технологій для температурного картографування сміттєзвалищ на основі супутникових даних. Геоінформаційні технології в поєднанні з дистанційним зондуванням Землі є ефективним засобом для температурного картографування сміттєзвалищ, що дозволяє проводити оперативний моніторинг, прогнозувати якісь загрози та зменшувати екологічні ризики. У процесі дешифрування було виявлено поступове збільшення площі Здолбунівського сміттєзвалища з 2008 по 2023 роки на 43% . Використання супутникових даних сприяє швидкому виявленню пожежонебезпечних ділянок, оптимізації управління відходами через прогнозування зони активного розкладу, оцінці екологічних ризиків, пов'язаних із виділенням парникових газів (метану, CO₂), а також розробці рекомендацій для місцевих органів влади щодо негативного зниження впливу на довкілля. Запропоновано подальший розвиток аналітичних методів, включаючи впровадження штучного інтелекту для автоматизованої інтерпретації теплових аномалій, що відкриває нові можливості для досліджень геоекологічної безпеки територій.

Ключові слова: інформаційні технології, оперативний моніторинг, просторове моделювання, дистанційні методи, системи супутникового зв'язку, екологічні ризики, сміттєзвалища, потутові відходи.

Trysnyuk Taras

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
ORCID 0000-0002-3672-8242

Shevchuk Oleksandr

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
ORCID 0000-0003-3287-8216

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR TEMPERATURE MAPPING OF LANDFILLS USING REMOTE SENSING DATA

Abstract. The purpose of this study is to improve information technologies for assessing the temperature indicators of landfills that are shifting based on remote sensing data. To achieve this goal, the task of spatial modeling of temperature fields in GIS environments was solved. An analysis of data comparison models for different time periods was conducted to determine the changed temperature characteristics. The object of the study is the process of applying information technologies for temperature mapping of landfills based on satellite data. Geoinformation technologies in combination with remote sensing of the Earth are an effective

tool for temperature mapping of landfills, which allows for operational monitoring, predicting some threats and reducing environmental risks. In the process of deciphering, a gradual increase in the area of the Zdolbuniv landfill from 2008 to 2023 by 43% was revealed. The use of satellite data contributes to the rapid detection of fire-hazardous areas, optimization of waste management through the prediction of the active decomposition zone, assessment of environmental risks associated with the release of greenhouse gases (methane, CO₂), as well as the development of recommendations for local authorities to reduce negative environmental impacts. Further development of analytical methods is proposed, including the implementation of artificial intelligence for automated interpretation of thermal anomalies, which opens up new opportunities for research into the geocological safety of territories.

Keywords: *information technologies, operational monitoring, spatial modeling, remote methods, satellite communication systems, environmental risks, landfills, potash waste.*

1. Вступ.

Сучасні екологічні виклики, пов'язані зі зростанням обсягів відходів та несанкціонованими звалищами, вимагають ефективних методів моніторингу їхнього стану. Одним із важливих напрямів є температурне картографування сміттєзвалищ, що дозволяє виявляти зони теплових аномалій, загрозу займання та оцінювати екологічний вплив. Для цього використовуються геоінформаційні технології (ГІС) та дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), що забезпечують багатоспектральний аналіз територій з використанням супутникових та аерокосмічних даних.

2. Аналіз досліджень і публікацій.

Теплові знімки дозволяють виявляти активні ділянки деградації органічних відходів, які є джерелами виділення тепла через біохімічні процеси. Особливо небезпечні підземні займання, що можуть тривати роками без візуальних проявів. Геоінформаційні технології дають змогу визначати:

- ділянки з високими температурними показниками (>60°C), що вказують на ймовірне самозаймання;
- поступове підвищення температури на ділянках, що свідчить про накопичення горючих газів;
- вплив сезонних факторів на температурний режим звалищ.

Використанню інформаційних технологій для аналізу, обробки та передачі даних у сфері температурного картографування сміттєзвалищ за даними дистанційного зондування землі присвятили праці Адаменко О.М., Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Триснюк В.М., Попов М.О., Шумейко В.О. та інші.

3. Метою цієї роботи є вдосконалення інформаційних технологій для оцінювання показників температурного картографування сміттєзвалищ за даними дистанційного зондування землі.

. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- просторове моделювання температурних полів у ГІС-середовищах;
- дослідити моделі для зіставлення даних за різні періоди для виявлення змін температурних показників.

Об'єктом дослідження є процес інформаційних технологій температурного картографування сміттєзвалищ за даними дистанційного зондування землі

4. Виклад основного матеріалу. Основними джерелами інформації для температурного картографування є супутникові знімки середньої та високої роздільної здатності, отримані за допомогою сенсорів, чутливих до теплового інфрачервоного діапазону (TIRS – Thermal Infrared Sensor). До найпоширеніших платформ належать Landsat-8/9, Sentinel-3, MODIS, ASTER та комерційні супутникові системи (наприклад, Maxar, PlanetScope). Методи аналізу включають:

- обробку теплових знімків – визначення температурних аномалій за допомогою радіометричних калібрувань;

- геопросторовий аналіз – просторове моделювання температурних полів у ГІС-середовищах (ArcGIS, QGIS, ENVI);
- мультитимовий аналіз – зіставлення даних за різні періоди для виявлення змін температурних показників;
- інтеграцію з іншими джерелами – поєднання теплових даних із спектральними індексами (NDVI, NDBI) для оцінки антропогенного впливу.
- температурні характеристики та їх аналіз.

Методика спостереження за полігонами твердих побутових відходів підбирає супутникові знімки з відповідними параметрами періодичності зйомки та розрізнення заданих територій, а також їх подальше тематичне дешифрування [1,2]. У межах дослідження місця сміттєзвалища, розташованого у Здолбунівському районі Рівненської області[3]. Аналіз космічних знімків (рис. 1) дозволяє чітко ідентифікувати поточний стан полігону, зокрема його внутрішню структуру: ділянки, що вже вичерпані та вкриті шаром підстави; зони активного зберігання відходів; відстійники для фільтрату; під'їзні дороги тощо. Динаміка змін площі звалища за період 2008–2023 років визначена на основі спектрометричних характеристик[4,5]. Виділено території, які експлуатуються в різні часові проміжки. Також на супутникових знімках (рис. 1) помітні зміни рослинного покриву на прилеглих територіях та візуалізовані під'їзні шляхи. Детальний аналіз геодинамічної безпеки та активних екзогенних процесів за допомогою космічних знімків дає змогу ідентифікувати наявні небезпечні ділянки полігону. Крім того, супутникові дані можуть виявляти зсуви, деформації рельєфу в межах старих відпрацьованих зон, а також інші небезпечні процеси, що потребують контролю. Додатково зафіксовано стихійні звалища та ділянки несанкціонованого сміттєзвалища. Аналіз сміттєзвалища доцільно проявляти у двох основних етапах: виявлення об'єкта на зображенні та визначення його класу. На першому етапі розміщення полігону ТПВ на карті місцевості базується на просторовій апріорній інформації, яка поєднується із супутниковими знімками[6]. Для кожного пікселя формується векторний знак, що містить ключовий характер дослідження. Другий етап передбачає розпізнавання класу об'єкта. На цьому етапі формується вектор позначки для кожного об'єкта, після чого буде створена його класифікація на основі комп'ютерної програми. Для ідентифікації сміттєзвалищ і дослідження прилеглої території застосовуються прямі дешифрувальні ознаки, які відображають особливості об'єкта на зображенні.

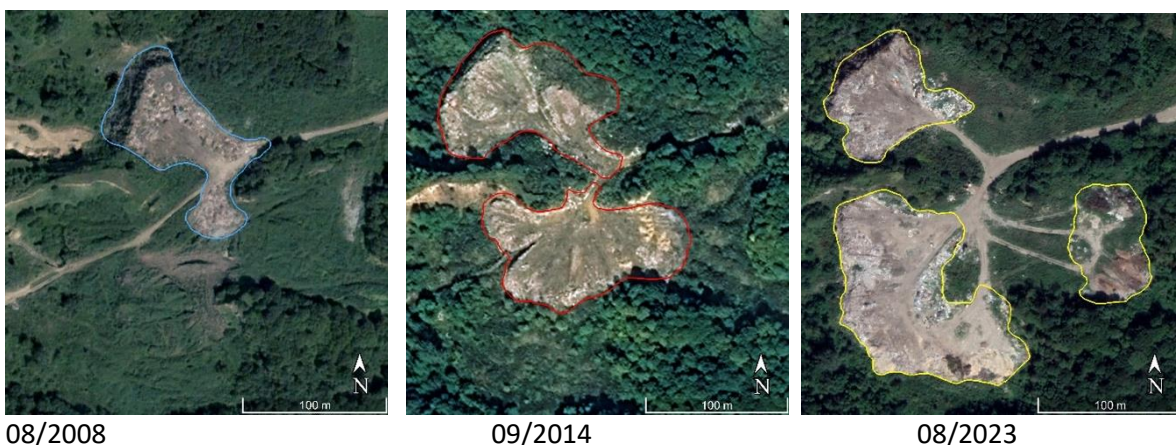


Рис. 1. Контури черг Здолбунівського полігону ТПВ, що виділені на космічних знімках різних років

У процесі дешифрування було виявлено поступове збільшення площі сміттєзвалища до 2023 року, що видно на рис. 1. Аналіз знімків території сміттєзвалища поблизу м. Здолбунова показав збільшення площі з 2008 по 2023 роки на 43% (табл. 1).

Оцінка динаміки зміни геометричних параметрів черг Здолбунівського полігону ТПВ за даними космічних знімків різних років

Дата космічної зйомки, місяць/рік	Кількість окремих частин (черг, карт) сміттєзвалища, одиниць	Площа, м ²	Загальна площа, м ²	Периметр, м
08/2003	1	6521	6521	438
09/2014	1	8103	16460	432
	2	8357		438
08/2019	1	5179	20438	319
	2	11497		514
	3	3762		250

Дослідження динаміки розширення площі звалища на території Здолбунівського району Рівненської області показало, що з 2008 по 2023 рік його площа збільшилась на 43%. Отримані результати показують, що однією з причин ситуації, що склалася, є вибір несприятливих ділянок для розміщення полігонів захоронення відходів. Використання космічних знімків з просторовою роздільною здатністю 0,06 км. дозволяє визначати випадки незадовільного стану звалищ.

Узагальнені результати проведених досліджень подано у вигляді двох графіків. Перший із них (Рис. 2) представлений у формі стовпчастої гістограми, що відображає часовий ряд температури поверхні за даними теплового каналу Landsat-8. Графік ілюструє відмінності температурних показників між двома типами територій: власне сміттєзвалищем і прилеглим лісовим масивом. Отримані результати свідчать про відсутність значних температурних аномалій на території сміттєзвалища. Максимальна зафіксована температура складала 38,1 °С у спекотний день 6 серпня 2017 року, що вказує на відсутність великих пожеж, спричинених самозайманням відходів, у період 2013–2022 років. Також спостерігається тенденція до того, що температура поверхні сміттєзвалища зазвичай перевищує температурні показники лісового покриття, де максимальне значення становило 36,3 °С.

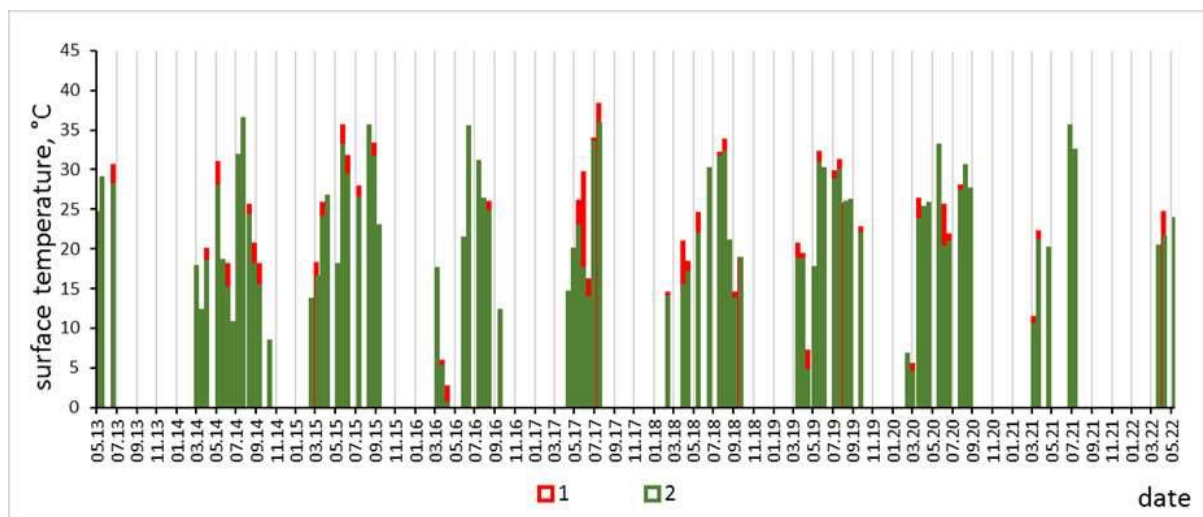


Рис. 2. Графік порівняння ходу температури Здолбунівського сміттєзвалища та сусіднього лісового масиву за 2013-2022 рр. 1 – Здолбунівське сміттєзвалище, 2 – лісовий масив.

Другий графік (Рис. 3) подано у вигляді точкової діаграми, яка демонструє аналогічні дані у форматі хмари точок. Додатково на ньому відображено моніторингові спостереження змін

температури поверхні сільськогосподарських угідь і кар'єру будівельних матеріалів, що розташовані поблизу досліджуваного полігону ТПВ у Здолбунові. Аналіз цих даних показує, що температурні піки на сільськогосподарських угіддях, хоч і перевищують відповідні показники сміттєзвалища, не є суттєво вищими. Максимальна температура, зафіксована на сільськогосподарських угіддях, сягала 42 °С (станом на 6 серпня 2017 року).

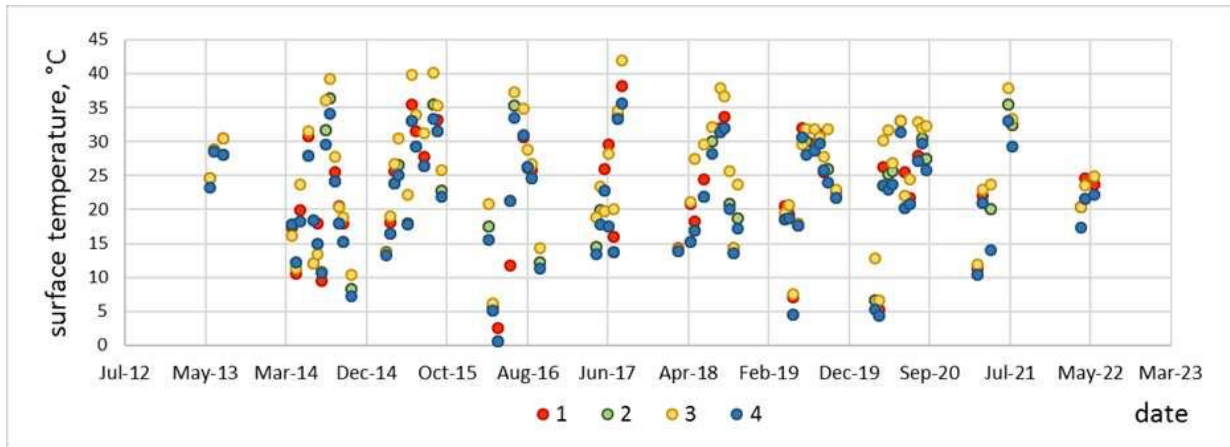


Рис. 3. Графік зміни температури поверхні компонентів довкілля в межах Здолбунівського сміттєзвалища ТПВ та прилеглих до нього площ протягом 2013–2022 рр. (на шкалі дат вказані: місяць-рік). 1 – Здолбунівське сміттєзвалище, 2 – лісовий масив, 3 – сільськогосподарське угіддя, 4 – кар'єр будівельних матеріалів.

Таким чином, отримані результати вказують на те, що в межах Здолбунівського сміттєзвалища ТПВ та прилеглих до нього сільськогосподарських угідь, лісових масивів протягом дослідженого десятирічного періоду загорань не спостерігалось. Щонайменше, це стосується чотирьох точок моніторингових спостережень у дослідженому регіоні.

У результаті дослідження запропоновано методику температурного картографування сміттєзвалищ на основі супутникових знімків середньої та високої роздільної здатності, що дозволяє проводити ефективний радіометричний аналіз та геопросторове моделювання температурних полів. Використання методів мультитимчасового аналізу та інтеграції спектральних індексів (NDVI, NDBI) забезпечило можливість визначення змін у площі полігонів твердих побутових відходів (ТПВ), що експлуатуються у різні часові проміжки.

Наукові результати та аналіз супутникових знімків території полігону ТПВ у Здолбунівському районі Рівненської області дозволив зафіксувати збільшення його площі на 43% за період 2008–2023 років. Виявлено території, що активно використовуються для захоронення відходів, та визначено ділянки з підвищеними екологічними ризиками.

Запропонована методика дозволяє ідентифікувати небезпечні ділянки полігонів, зокрема зони зсувів і деформацій рельєфу, а також виявляти стихійні сміттєзвалища. У рамках дешифрування супутникових знімків визначено візуальні ознаки сміттєзвалищ, що можуть бути використані для автоматизованої класифікації територій із застосуванням геоінформаційних технологій.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення системи екологічного моніторингу, планування полігонів ТПВ та розробки заходів щодо зменшення негативного впливу на довкілля.

5. Висновки. Геоінформаційні технології в поєднанні з дистанційним зондуванням Землі є потужним інструментом для температурного картографування сміттєзвалищ. Використання супутникових даних дозволяє проводити оперативний моніторинг, прогнозувати можливі загрози та мінімізувати екологічні ризики. Подальший розвиток методів аналізу, зокрема застосування штучного інтелекту для автоматичної інтерпретації теплових аномалій,

відкриває нові перспективи для екологічної безпеки та сталого управління відходами. Застосування ГІС та ДЗЗ у моніторингу сміттєзвалищ сприяє:

- своєчасному виявленню пожежонебезпечних ділянок;
- оптимізації управління відходами через прогнозування зон активного розкладу;
- оцінці екологічних ризиків, пов'язаних із виділенням парникових газів (метану, CO₂);
- підготовці рекомендацій для місцевих органів влади щодо зменшення негативного впливу звалищ на довкілля.

Список використаної літератури

1. Grekov LD, Krasovsky GY, Trofimchuk OM Space monitoring of land pollution by man-made dust. Kiev. Scientific thought. 2007. -219 p.
2. Триснюк В.М. Моніторинг використання та екологічного стану земель за допомогою безпілотних літальних апаратів / Триснюк В.М., Шумейко В.О., Кащисин О.В., Курило А.В., Сметанін К.В. // Сучасні інформаційні системи. – Х.: Т.2. № 4, – 2018. – С.124-127.
3. Шевчук О.В., Азімов О.Т. Моніторинг Здолбунівського сміттєзвалища ТПВ (Рівненська область, Україна) із застосуванням безпілотного літального апарату / Колективна монограф. за матеріалами 20-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року» (м. Київ, 04-08 жовт. 2021 р.); За заг. ред. С.О. Довгого. Київ: ТОВ «Вид-во «Юстон», 2021. С. 121–126.
4. Триснюк В.М. Особливості побудови мобільної системи екологічного моніторингу оперативного визначення стану довкілля / В.М. Триснюк, К.В. Сметанін // Матеріали науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління», (м. Полтава–Баку–Харків–Жиліна, 26-27 квітня 2018 р.). – Харків: ФОП Петров В.В., 2018. – С. 93.
5. 5.V. Trysnyuk, T. Trysnyuk, V. Okhariev, V. Shumeiko, A. Nikitin. Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding Centrul Universitar Nord Din Bala Mare - UTPRESS ISSN 1582-0548, №1,2018 С.61-67.
6. Zaitsev S. V. Method of estimating reliability of information transmission in wireless networks channels increase in noise and interference / S. V. Zaitsev // International Journal «Information Models and Analyses». – Sofia : ITHEA, 2015. – Vol. 4 (1). – P. 87 – 99.
7. Zhebka V., Ananchenko O., Osadcha K., Zhebka S., Aronov A. Improving a machine learning method for an automated control system / CEUR Workshop Proceedings, 2024, 3826, p. 372–377
8. Zhebka V., Skladannyi P., Zhebka S., Shlianchak S., Bondarchuk A. Methodology for Predicting Failures in a Smart Home based on Machine Learning Methods / CEUR Workshop Proceedingsю 2024, 3654, p. 322–332
9. Storchak K., Sablina M., Anakhov P., Zhebka V., Bondarchuk A. Increasing the Reliability of a Heterogeneous Network using Redundant Means and Determining the Statistical Channel Availability Factor / Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems. 2023, 231-236
10. O Shevchenko, A Bondarchuk, O Polonevych, B Zhurakovskiy, N Korshun Methods of the objects identification and recognition research in the networks with the IoT concept support / CEUR Workshop Proceedings. 2021, 46-65