



<https://doi.org/10.15407/ugz2024.02.051>

УДК 628.472.3:528.88:504.5:574.4]:911.8(477.81)(045)

Азімов О. Т.¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5210-3920>,
Томченко О. В.¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6975-9099>,

Шевчук О. В.², ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3287-8216>.

¹ Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», Київ

² Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ

Просторово-часовий аналіз змін в екосистемах районів локалізації муніципальних відходів із застосуванням геоінформаційних систем і даних дистанційних знімів

На прикладі Здовбицького сміттєзвалища твердих муніципальних відходів (Рівненська область) продемонстровано інформативність дешифрування карт об'єкта захоронення і прилеглих до нього ділянок за спектрометричними характеристиками і текстурою земних покривів, що були отримані за космічними знімками різних років. Також було продемонстровано інформативність вивчення динаміки зміни геометричних параметрів звалища, його внутрішньої «структури», а також функціональні зміни в прилеглих компонентах екосистем (лісових масивах і сільськогосподарських угіддях). Зокрема, використовуючи матеріали космічних знімів за період з 2003 по 2021 р., встановлено збільшення кількості черг Здовбицького сміттєзвалища за рахунок прилеглих ділянок лісу. Так, якщо на 2003 р. на звалищі функціонувала одна карта, то на 2019 р. — вже три, які в 2021 р. злилися між собою. Досліджуючи динаміку змін загальної площі звалища було виявлено, що протягом 18 років її зростання в 6,25 раза (відповідно з 6 521 м² до 40 773 м²). Також у 3,35 раза збільшився сумарний периметр контурів його карт (відповідно з 438 м до 1 466 м).

Ключові слова: муніципальні відходи, сміттєзвалища, екосистеми, аналіз змін, геоінформаційні системи, дистанційні дані.

UDC 628.472.3:528.88:504.5:574.4]:911.8(477.81)(045)

Azimov, O. T.¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5210-3920>,
Tomchenko, O. V.¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6975-9099>,

Shevchuk, O. V.², ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3287-8216>.

¹ State Institution Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of IGS of NAS of Ukraine, Kyiv

² Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv

Spatio-Temporal Analysis of Changes in Ecosystems of Municipal Waste Localisation Areas Using GIS and Remote Sensing Data

The Zdobychsia municipal solid waste (MSW) dump (the Rivne region, Ukraine) as a case study allows demonstrating informativeness of identifying waste dump sites and the adjusted areas using the spectral characteristics and texture of earth's covers obtained from the satellite images for the different years. To identify the MSW dump in the surveyed area, direct coding features were considered, which characterized the properties of the object and are directly represented in the images. These are such features as geometric (shape, shadow, size), brightness (phototone, brightness level, color, spectral image), structural (texture, structure) ones. In addition, satellite images reliably identified the presence of discharging from the dump area, their directions, areas of unloading, the damage to herbaceous cover and other vegetation, etc. The informativeness of the study of dynamics for dump geometrical parameters, the change of its internal "structure," the functional changes in the surrounding ecosystem elements (first, the changes in the forest stands and agricultural lands) is demonstrated.

In particular, satellite image data for the period of 2003 to 2021 allow identifying the increase in a number of the Zdobychsia MSW dump sites at the expense of adjacent forest stands. Thus, in 2003 one site of the dump is operated, whereas in 2019—already three ones, that integrated in 2021. The study of dynamics for the change of the total area of dump has revealed the increase of this area by approximately 6.25 times (from 6 521 m² in 2003 to 20 438 m² in 2021). In addition, the total perimeter along the contours of its stages has enlarged more than 3.35 times (from 438 to 1 466 m, respectively). The use of satellite images of higher spatial resolution in the area of about 0.6 m/pixel will specify the cases of unsatisfactory condition of the dump.

Keywords: municipal waste, dumps, ecosystems, analysis of changes, geoinformation systems, remote sensed data.

Актуальність теми дослідження

Детальні дослідження геодинамічної безпеки і сучасних екзогенних процесів на підставі космічних знімків дозволяють виявляти потенційно-небезпечні ділянки на полігонах захоронення твердих побутових відходів (ТПВ). На знімках також виділяються зсуви та деформації земної поверхні на місці старих ділянок звалищ, а також інші процеси, що потребують уваги. Застосування даних космічного знімання дає змогу виявити стихійні звалища, ділянки несанкціонованого скидання сміття тощо.

Використання космічних знімків і цифрових карт місцевості дозволяє проаналізувати

просторове розміщення полігонів побутових та промислових відходів, причому не тільки щодо населених пунктів, але і враховувати при цьому особливості геосистем у зонах розташування об'єктів захоронення. Ці особливості визначають ландшафтні умови, в яких відбувається накопичення відходів. Космічні знімки також дають змогу вивчати процеси енергомасообміну, що відбуваються у геосистемах — умови міграції забруднюючих речовин, які утворюються у процесі експлуатації звалищ, а також ті умови, що необхідні для підтримання штатного технологічного режиму складування і переробки відходів.

Стан вивчення питання, основні праці

Полігони та сміттєзвалища захоронення ТПВ належать до екологічно небезпечних об'єктів. Їх експлуатація призводить до забруднення практично всіх компонентів навколишнього середовища — ґрунтів, поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря, рослинності тощо. Це засвідчено у численних публікаціях [1–20 та ін.]. Також полігони й сміттєзвалища є джерелами негативного впливу на здоров'я населення, що проживає поблизу них [20, 21 та ін.].

Станом на кінець 2021 р. в Україні 79 % населення охоплено послугами з вивезення побутових відходів [22]. Найгірший показник стосовно цього сервісу в 2020 р. відзначався у Кіровоградській (64,8 %) та у Житомирській (65,3 %) областях [23]. Завдяки впровадженню в 1 725 населених пунктах роздільного збирання побутових відходів, роботі 34 сміттєсортувальних ліній, одного сміттєспалювального заводу і трьох сміттєспалювальних установок протягом 2021 р. перероблено та утилізовано близько 7,64 % цього типу відходів, зокрема 1,14 % — спалено, а 6,5 % — потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні лінії. Отже, з утворених у державі за 2021 р. понад 51 млн м³ побутових відходів (понад 10 млн т), переважна частина захоронювалася на 6 тис. сміттєзвалищах

і полігонах загальною площею понад 9 тис. га. При цьому кількість перевантажених сміттєзвалищ становила 230 одиниць (3,8 %), а 824 одиниці (16 %) не відповідали нормам екологічної безпеки [22].

Неналежним чином проводилася робота з паспортизації та рекультивації сміттєзвалищ. З 1 489 сміттєзвалищ, які потребують паспортизації, у 2021 р. фактично паспортизовано лише 48 одиниць (потребує паспортизації 24 % сміттєзвалищ від їх загальної кількості) [22]. Найбільша кількість полігонів, що в 2020 р. потребувала паспортизації, розташована у Житомирській (243), Дніпропетровській (147) та у Чернігівській (132) областях [23]. Із 371 сміттєзвалища, що потребують рекультивації (6,2 % від загальної їх кількості), у 2021 р. фактично рекультивовано тільки 29 [22]. Найбільша кількість полігонів, що станом на кінець 2020 р. потребувала рекультивації, зосереджена в Одеській (82) та у Закарпатській (59) областях [23].

Потреба в будівництві нових полігонів складає 288 одиниць. Зокрема, найбільшу потребу щодо цього питання у 2020 р. мала Дніпропетровська область (42 од.) [23]. Через неналежну систему поводження з ТПВ у населених пунктах України, як правило в приватному секторі, у 2021 р.

виявлено 26,8 тис. несанкціонованих звалищ, що займають площу 0,6 тис. га. З їх числа у 2021 р. ліквідовано 25,5 тис. несанкціонованих звалищ площею 0,38 тис. га [22].

Відповідно до чинного законодавства України, об'єкти, що негативно впливають на стан довкілля, підлягають державному обліку [24]. Включенню таких об'єктів до реєстру і паспортизації підлягають також місця видалення відходів, а саме: діючі, закриті, законсервовані, постійні або тимчасові. До первинної інформації, яка необхідна для такої паспортизації, актуальним і доцільним є залучення результатів тематич-

ного дешифрування матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) (зокрема, знімків, що отримані з космічних супутників і безпілотних літальних апаратів — БПЛА) та інтегрованих у геоінформаційні системи (ГІС) наземних даних по території як власне полігонів і сміттєзвалищ захоронення ТПВ, так і по прилеглих до їхньої локалізації ділянках [7, 9, 12, 15–20, 25 та ін.]. Картографічні моделі заданого масштабу дозволяють доповнювати об'єктивну і достовірну інформацію про просторово-часові характеристики впливу на довкілля процесів, пов'язаних із деградацією накопичених відходів.

Мета і методи дослідження

Основна ціль цього дослідження збігається з однією з важливих проблем у галузі поводження з ТПВ, яка полягає у формуванні загальних принципів створення й у визначенні основних складових інформаційної системи геомоніторингу районів впливу полігонів і сміттєзвалищ захоронення ТПВ як частини інформаційно-аналітичної системи аналізу ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, спрямованої для забезпечення сталого регіонального розвитку України [15, 17]. Отже, частиною проблеми є дослідження можливостей використання геоінформаційних технологій та даних ДЗЗ для аналізу розміщення полігонів і звалищ захоронення й накопичення побутових та промислових відходів із врахуванням геодинамічних особливостей територій їх розташування. У цьому аспекті було поставлено основну мету дослідження: оцінювання зміни у часі геометричних параметрів і стану карт одного з узятих для прикладу сміттєзвалищ ТПВ у Рівненській області — Здовбицького, що розташоване у Здолбунівському районі, а також аналіз перетворень у прилеглих до нього екосистемах.

Здовбицьке сміттєзвалище розташоване на території Здовбицької сільської ради, на відстані 1,4–1,5 км на північний захід від західного контуру села (від вулиць Першої та Лісової), або ж у 2,4 км південно-західніше від південної околиці м. Здолбунів (від вулиці Глинської). Його експлуатація розпочалася ще у 1996 р. Як раніше, так і дотепер ТПВ на нього завозять з м. Здолбунів та зі значної частини населених пунктів району. Вже станом на осінь 2015 р. площа сміттєзвалища становила понад 10 га (з урахуванням санітарно-захисної зони довкола нього). Відтоді через значне збільшення обсягів муніципальних відхо-

дів, що локалізуються на сміттєзвалищі, істотно зросла як загальна його площа, так і площа власне майданчиків накопичення відходів. Така ситуація спонукає до проведення дослідного аналізу просторово-часових змін в екосистемах зазначеної території різними методами, зокрема, методами ДЗЗ, які у повному обсязі з цією метою не застосовувалися. Раніше [19] нами виконана подібна пілотна робота, що обмежувалася часовим періодом до серпня 2019 р.

Наші дослідження, базуючись на методі аналітичного порівняння, полягали в опрацюванні викладених у науковій літературі матеріалів стосовно інформаційних технологій моніторингу й управління сміттєзвалищами ТПВ, прогнозування техногенно-екологічної трансформації територій під їхнім впливом. При цьому особливий акцент робився на аналіз ролі геоінформаційних систем у розроблених або запропонованих технологіях. З метою моніторингової оцінки просторово-часових змін Здовбицького сміттєзвалища ТПВ та прилеглих екосистем застосовувалися методи тематичного комп'ютеризованого дешифрування даних ДЗЗ різних років та відповідної проблемно орієнтованої інтерпретації, а також технології ГІС. Як базові використовувались спеціалізовані програмні продукти *ERDAS Imagine*, *ArcGIS*, а також можливості хмарового порталу *EO Browser* (*Earth Observation Browser*) Європейського космічного агентства (*European Space Agency*).

Загалом основне завдання космічного моніторингу полігонів і сміттєзвалищ ТПВ полягає в інформаційній підтримці рішень з питань мінімізації їх негативного впливу на довкілля та поліпшення санітарно-екологічних показників прилеглих територій. Для вирішення цього завдання на прикладі Здовбицького сміттєзвалища ТПВ було

необхідно виконати ідентифікацію топогеодезичних параметрів об'єкта захоронення відходів задля встановлення їхньої динаміки на визначену глибину ретроспективи, оцінити зміни в типізованих земних покритвах, що його оточують.

Зрозуміло, що поставлене завдання достатньо ефективно можна реалізувати на основі застосування методів тематичного дешифрування матеріалів космічного знімання і ГІС-технологій. Використання космічних знімків і векторних електронних карт дозволяє проаналізувати індивідуальні особливості розміщення будь-якого полігона ТПВ стосовно населених пунктів і природно-техногенних систем. Ці особливості визначають умови, в яких відбувається накопичення відходів, їхня взаємодія з навколишнім середовищем, умови міграції забруднювальних речовин, які утворюються у процесі експлуатації звалищ.

У цьому контексті для території Здовбицького сміттєзвалища та довколишнього району сумар-

ною площею 264,46 тис. м² наразі ми переслідували вирішення таких дослідницьких завдань: вивчити динаміку змін площ сміттєзвалища; дослідити стан окремих ділянок (черг, карт) сміттєзвалища; дати аналіз трансформації прилеглих екосистем.

У процесі дослідження переважно застосовувалися космічні знімки з супутника *WorldView-2* від 18 серпня 2003 р., 24 вересня 2014 р., 21 серпня 2019 р. і 2 травня 2021 р., просторова роздільна здатність яких була загублена до 6 м/піксель. У ретроспективному плані аналізувалися знімки з просторовою розрізненістю 30 м/піксель, що отримані 15 вересня 1985 р. і 2 серпня 1996 р. з космічного апарата *LANDSAT-5* у червоному, ближньому інфрачервоному (БІЧ) й одному (першому) з середніх інфрачервоних (СІЧ) діапазонах спектра електромагнітних хвиль в інтервалі [0,63–0,69 мкм], [0,76–0,9 мкм] і [1,55–1,75 мкм] відповідно.

Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням наукових результатів

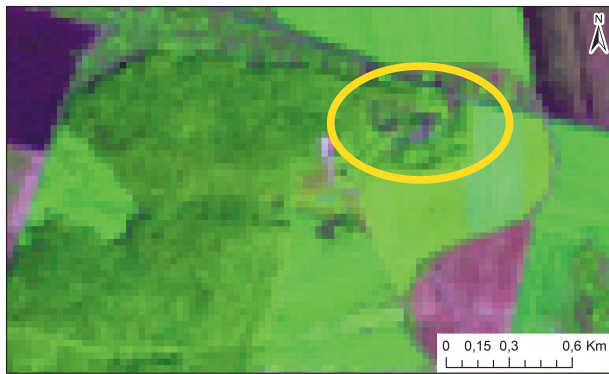
Дослідження сміттєзвалища доцільно проводити у два етапи: виділення об'єкта на дистанційному зображенні та розпізнавання його класу. На етапі його виділення, як апіорна інформація, що просторово поєднана із зображенням на космічному знімку, використовуються карти місцевості. У результаті формується вектор ознак об'єкта для кожного пікселя зображення. На етапі розпізнавання класу того чи іншого об'єкта передусім формується вектор ознак для кожного з наявних на місцевості класів об'єктів та безпосередньо виконується розпізнавання (класифікація) на зображенні кожного з досліджуваних об'єктів.

Для ідентифікації сміттєзвалища або полігона захоронення ТПВ на обстежуваній місцевості враховуються прямі дешифрувальні ознаки, що характеризують властивості об'єкта та безпосередньо відображаються на знімках. Це такі ознаки, як геометричні (форма, тінь, розмір), яскравісні (фототон, рівень яскравості, колір, спектральний образ), структурні (текстура, структура). Крім цього, на космічних знімках достатньо надійно ідентифікуються наявність стоків із території звалищ, їхні напрямки, ділянки їх розвантаження, пошкодження трав'яного покриву та іншої рослинності тощо.

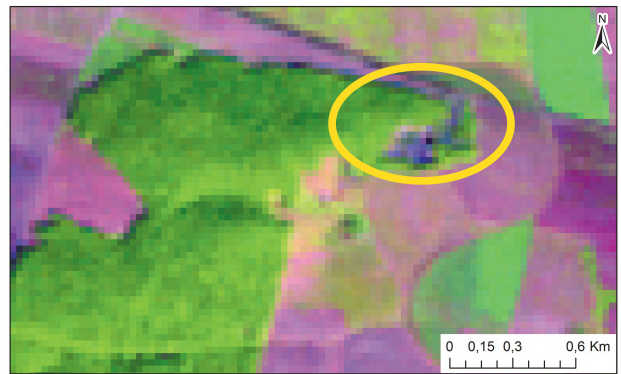
Зокрема ретроспективний аналіз даних багатозонального космічного знімка, отриманого з супутника *LANDSAT-5* 15 вересня 1985 р. (про-

сторова роздільна здатність зональних зображень — 30 м/піксель), вказує на те, що на місці Здовбицького сміттєзвалища раніше існував кар'єр будівельних матеріалів, на площах довкола якого зростала різноманітна рослинність (*рис. 1а*). Станом на 2 серпня 1996 р. за матеріалами цього ж космічного апарата добре ідентифікуються факти завершення експлуатації кар'єру, оновлення шляхів під'їзду до його площі, її розчистка від розвиненої тут рослинності від часу припинення функціонування гірничого об'єкта, зокрема, й поза його контуром здебільшого за рахунок прилеглої лісової фонду (*рис. 1б*). Тобто ідентифікуються факти підготовки місцевості до організації приймання нею ТПВ.

Вивчення динаміки зміни площі Здовбицького сміттєзвалища та аналіз відповідних змін в екосистемах, що його оточують, за період 2003–2021 рр. виконані нами за спектрометричними характеристиками і текстурою земних утворень, які отримані за наявними космічними знімками. У результаті виділено карти звалища, що експлуатувалися у різний час, виявлені зміни рослинного покриву на прилеглих до нього ділянках, також вдалося дешифрувати шляхи під'їзду до об'єкта захоронення відходів та в його межах, що були задіяні у різні роки (*рис. 2, 3*). На космічних знімках за серпень 2019 р. і травень 2021 р. добре розрізняється поточний стан звалища, насам-



а



б

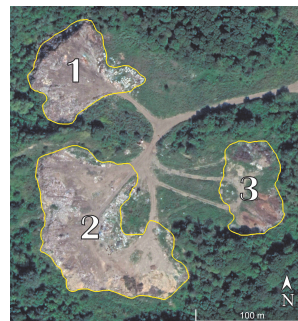
Рис. 1. Район майбутнього Здовбицького сміттєзвалища ТПВ (контур жовтого кольору).
Фрагменти синтезованих багатозональних космічних знімків *LANDSAT-5*
(синтез каналів — 543: 5-й, СІЧ (1), 4-й, БІЧ, і 3-й, червоний, канали; псевдокольори), що отримані:
а — 15 вересня 1985 р. (дешифрується кар'єр будівельних матеріалів),
б — 2 серпня 1996 р. (дешифруються результати підготовки площі до приймання ТПВ)



18 серпня 2003 р.



24 вересня 2014 р.



21 серпня 2019 р.



2 травня 2021 р.

Рис. 2. Контури черг Здовбицького сміттєзвалища ТПВ, що виділені на космічних знімках різних років.
1, 2, 3 — номери черг звалища



Рис. 3. Дешифрований контур Здовбицького сміттєзвалища ТПВ станом на 2 травня 2021 р. за даними космічного знімка *WorldView-2* (вектор загальної межі звалища показано блакитним контуром)

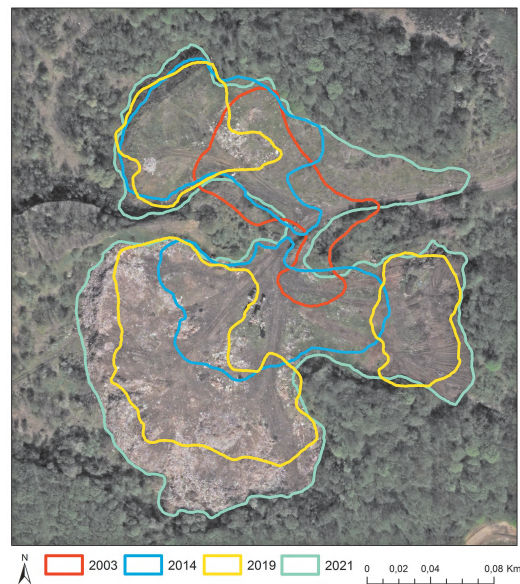


Рис. 4. Зміни геометричних параметрів черг Здовбицького сміттєзвалища ТПВ за даними космічних знімків різних років (вектори меж черг звалища станом на 2003, 2014, 2019 та 2021 рр. показано контурами різних кольорів). Як підкладку використано космічний знімок *WorldView-2* за 2 травня 2021 р.

Таблиця 1. Динаміка геометричних параметрів черг
Здовбицького сміттезвалища ТПВ за даними космічних знімків різних років

Дата космічної зйомки, місяць/рік	Кількість окремих частин сміттезвалища (черг, карт, майданчиків), одиниць	Площа черги, м ²	Загальна площа сміттезвалища, м ²	Периметр черги, м
08/2003	1	6 521	6 521	438
09/2014	1	8 103	16 460	432
	2	8 357		438
08/2019	1	5 179	20 438	319
	2	11 497		514
	3	3 762		250
05/2021			40 773	1 466

перед його внутрішня «структура»: відпрацьовані ділянки, покриті шаром інертного ґрунту; ділянки, де в даний час нагромаджуються відходи; різноманітні під'їзні шляхи, що використовувалися у різний період функціонування об'єкта захоронення відходів, тощо.

У процесі дешифрування було виявлено поступове збільшення площі сміттезвалища ТПВ поблизу с. Здовбиця і м. Здолбунів. Аналіз космічних знімків території показав, що станом на травень 2021 р. порівняно з серпнем 2003 р. його загальна площа збільшилася приблизно у 6,25 раза (*рис. 2, 3, табл. 1*). Так, у 2003 р. на звалищі експлуатувався лише один майданчик площею 6 521 м², що мав периметр по контуру 438 м.

У вересні 2014 р. на Здовбицькому об'єкті накопичення ТПВ було в наявності вже дві окремі черги складування з сумарною площею 16 460 м² і загальним периметром по їх контурам 870 м (*рис. 2, табл. 1*). Друга, південна карта звалища, що почала утворюватися з південної частини майданчика № 1, увібравши її у своє «тіло», станом на 24 вересня 2014 р. займала площу 8 357 м², маючи периметр по контуру 438 м. У цей самий час черга № 1 охоплювала площу 8 103 м² за периметра по контуру 432 м.

Тобто протягом 11 років, починаючи з 2003 р., на Здовбицькому сміттезвалищі тверді муніципальні відходи значною мірою накопичувалися в межах новоутвореної карти № 2. Якщо порівняти загальну площу майданчиків сміттезвалища станом на вересень 2014 р. з площею, що існувала у серпні 2003 р., то вона збільшилась у 2,52 раза; майже у 2 раза збільшилась і сумарна довжина відповідних контурів.

У серпні 2019 р. на сміттезвалищі задіяні вже три діючі карти загальною площею 20 438 м²

з сумарним периметром по їхніх контурах 1 083 м (*рис. 2, табл. 1*). Тобто периметр контурів майданчиків звалища збільшився більш ніж у 2,47 раза в порівнянні з даними за серпень 2003 р., а сумарна площа — в 3,13 раза. Карти № 1, 2 і 3 станом на 21 серпня 2019 р. охоплювали площу відповідно 5 179, 11 497 і 3 762 м², а периметр їхніх контурів — 319, 514 і 250 м.

Водночас у період 2014–2019 рр. найбільшого розширення зазнала черга складування відходів № 2 (за рахунок частини лісового масиву на південний захід від неї). І це за умови виведення з активної експлуатації східної частини цієї черги, до якої, як видно з космічного знімка, ТПВ не завозилися. Вона була покрита досить товстим шаром інертного ґрунту, по якому до новоутвореної карти № 3 прокладено під'їзні шляхи. До серпня 2019 р. відбулося аналогічне припинення накопичення відходів у південно-східній частині майданчика № 1, чим і пояснюється зменшення активної діючої його площі (5 179 м²) порівняно з ситуацією, що існувала у вересні 2014 р. (8 103 м²) (*рис. 2, табл. 1*).

Карти № 1, 2 і 3 у 2019 р. по території розміщувалися відносно автономно, не дотикаючись одна до одної своїми контурами.

У 2021 р. на Здовбицькому звалищі відходи продовжували приймати на ті ж самі три майданчики, контури яких у плані практично злилися (*рис. 2, 3*). Порівняно з недалеком 2019 р. істотно збільшилися площа черги № 1 сміттезвалища (у східному напрямку) і черга № 3 (у західному напрямку). На південь і захід відбулося незначне розширення площі майданчика № 2 (*рис. 4*). Проте основні обсяги ТПВ завозилися саме на південну карту № 2. Принаймні це помітно станом на травень, що визначається за яскравішими характеристиками відповідного

майданчика на космічному зображенні. Інші черги сміттєзвалища у цей період майже не приймали відходів, будучи покритими інертним ґрунтом (східна, найближча до с. Здовбиця черга № 3, покрита ґрунтом повністю). Загальна площа Здовбицького сміттєзвалища у травні 2021 р. досягла значення 40 773 м², а периметр об'єднаного контуру — 1 466 м (*рис. 2, 3, табл. 1*). Отже, порівняно з серпнем 2003 р., станом на травень 2021 р. контур звалища збільшився приблизно у 3,35 раза.

Динаміку зміни контурів/площ карт Здовбицького об'єкта локалізації ТПВ візуально добре відображає відповідна картосхема, побудована на підставі опрацювання даних космічних знімків за різні роки (*рис. 4*).

Порівняльний аналіз змін в екосистемах, прилеглих до Здовбицького звалища, а також власне на його території (переважно це рослинні угруповання) за космознімками 2003 і 2021 рр. дозволив встановити таке: лучна рослинність, що зростала на місці колишнього кар'єру і мала загальну площу 59 624 м², поступово-сукцесійно змінена рідколіссям з розвитком чагарників, а в межах майданчиків № 2 і 3 сміттєзвалища — повністю покрита накопиченими ТПВ. Натомість луками у 2021 р. покрита більша частина карти № 1, що інтенсивно експлуатувалася у 2003 р., а наразі є менш задіяною, і тому вона помітно заростає. Станом на 2 травня 2021 р. зафіксована площа лучної рослинності сягає 30 929 м².

Площа рідколісся листяного з чагарниками, що являє собою своєрідну екосистему, за період

2003–2021 рр. у районі досліджень зросла з відповідно 26 582 м² до 34 506 м². Також відмічається збільшення площі ґрунтових доріг з 5 671 м² до 8 376 м². Вони розширені на межі між лісовим масивом і сільгоспугіддями у південно-східній частині території, вочевидь відіграючи роль захисних мінералізованих смуг на випадок природного загорання рослинності в лісах чи на полях, переважно зумовлених антропогенними чинниками або в разі виникнення техногенних пожеж на сміттєзвалищі, запобігаючи просторовому їх розповсюдженню за його межі. Розширення доріг здебільшого здійснено саме за рахунок сільськогосподарських угідь, площа яких зменшилася з 41 379 м² (2003 р.) до 30 685 м² (2021 р.). На північ від черги № 1 звалища деякі приватні чітко структуровані у плані угіддя у травні 2021 р. вже не використовуються за своїм початковим призначенням, тому що на їх місці за даними космічного знімання картується лучна рослинність.

Засобами ДЗЗ/ГІС-технологій виявлено, що за 18-річний період на місці рідколісся й чагарників, що зростали південно-східніше від нині існуючого майданчика № 3 об'єкта локалізації ТПВ, наразі має місце ділянка лісу листяного, яка прилягає до основного масиву. З урахуванням того, що змінюючи свої лісотехнічні характеристики (вік, висоту, діаметр, бонітет тощо), листяне рідколісся розросталося, зникаючи свої крони і зливаючись практично по всьому периметру з розташованим поряд лісовим масивом, площа якого збільшилася з 120 033 м² у 2013 р. до 128 474 м² у 2021 р.

Висновки

Отже, на прикладі Здовбицького сміттєзвалища ТПВ (Здолбунівський район, Рівненська область) продемонстровано інформативність вивчення окремих його майданчиків і навколишніх площ за спектрометричними особливостями та характерною текстурою земних покривів (прямими дешифрувальними ознаками), що були одержані за даними космічного знімання різних років. Показано також результативність у вивченні динаміки змін геометричних показників (площа, периметр) звалища, зміни особливостей його внутрішньої «будови», функціональні зміни у кварталах лісових масивів, інших компонентах екосистем, що його оточують.

Зокрема досліджено динаміку зміни площі Здовбицького сміттєзвалища за період з 2003

до 2021 р. Виявлено збільшення кількості карт звалища з однієї до трьох за рахунок прилеглих земель листяного лісу, загальної площі — приблизно у 6,25 раза (з 6 521 м² до 40 773 м²), а сумарного периметра по контурах карт — більш ніж у 3,35 раза (з 438 м до 1 466 м). При цьому станом на травень 2021 р. всі три майданчики накопичення муніципальних відходів фактично злились в один.

Для подальшого комплексного вивчення і об'єктивного оцінювання еколого-геохімічного стану розглянутих об'єктів довілля в районі Здовбицького сміттєзвалища необхідно провести моніторингові дослідження по мережі наземного опробування (літо-, гідро-, біогеохімічного). Використання при цьому космічних

знімків із надвисокою роздільною здатністю на місцевості порядку 0,6 м/піксель (наприклад, оригінальних зональних зображень із супутника *WorldView-2*), а також отриманих з БПЛА даних гіперспектрального знімання, дозволить конкретизувати випадки незадовільного стану звалища, класифікувати типи довколишніх ландшафтів, що зазнали перетворень внаслідок його розширення.

Результати аналізу просторово-часових змін в екосистемах району Здовбицького сміттєзвалища ТПВ, що було отримано як результат проведення

досліджень з застосуванням дистанційних і ГІС-даних, використано в діяльності Директорату просторового планування територій та архітектури Міністерства розвитку громад та територій України (акт впровадження-приймання-передачі матеріалів науково-дослідних розробок від 21 жовтня 2022 р.). Вони використовувались як інформаційний матеріал у процесі впровадження у структурні підрозділи Мінрегіону технологій оперативного моніторингу за екосистемами в районах полігонів і сміттєзвалищ захоронення муніципальних відходів.

Література [References]

1. Bauer, M. J., Herrmann, R., Martin, A., & Zellmann, H. (1998). Chemodynamics, transport behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachates. *Water Science and Technology*, Vol. 38, 2, 185–192.
URL: <https://search.proquest.com/openview/ff40061ef856211c1411206e7c834ffa/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2044520>
2. Antoshkina, L. I., Korenyuk, Ye. D., Khrushch, V. K., & Belyaev, M. M. (2003). State of environment: models and prognosis. *Donetsk: Nauka i osvita*. [in Ukrainian].
[Антошкіна Л. І., Коренюк Є. Д., Хрущ В. К., Беляєв М. М. Стан довкілля: моделі та прогноз : монографія. Донецьк: Наука і освіта, 2003. 326 с.]
3. Abu-Zeid, N., Bianchini, G., Santarato, G., & Vaccaro, C. (2004). Geochemical characterisation and geophysical mapping of Landfill leachates: the Marozzo canal case study (NE Italy). *Environmental Geology*, 45, 439–447.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0895-x>
4. Mor, S., Ravindra, K., Dahiya, R. P., & Chandra A. (2006). Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environmental Monitoring and Assessment*, 118, 435–456.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-006-1505-7>
5. Adeolu, O. A., Ada, V. O., Gbenga, A. A., & Adebayo, A. O. (2011). Assessment of groundwater contamination by leachate near a municipal solid waste landfill. *African Journal Environmental Science and Technology*, Vol. 5, 11, 933–940.
DOI: <https://doi.org/10.5897/AJEST11.27>
6. Bondar, O. I., Klimchuk, B. P., Kolyadinsky, M. I., & Molchak, Ya. O. (2013). Environment in the conditions of influence of garbage dumps. *Lutsk: RVV LNTU*. [in Ukrainian].
[Бондар О. І., Клімчук Б. П., Колядинський М. І., Мольчак Я. О. Довкілля в умовах впливу сміттєзвалищ : монографія. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2013. 246 с.]
7. Azimov, O. T., Bakhmutov, V. G., Voytyuk, Yu. Yu. et al. (2018). Reconnaissance integrated geoeological study of the disposal region for municipal solid waste with the aim of environmental assessment. Extended Abstracts 12th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (13–16 November 2018, Kyiv, Ukraine), 1–5.
DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201803142>
8. Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. Urban development Series. Washington, DC: World Bank. 295 p.
DOI: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
9. Sheviakina, N. A., Trofymchuk, O. M., Krasovsky, G. Y., & Klimenko, V. I. (2019). Methods and models of space monitoring of zones of effect of solid domestic waste landfill on the environment. *Space Science and Technology (Ukraine)*, Vol. 25 (1, 116), 62–72. DOI: <https://doi.org/10.15407/knit2019.01.062> [in Ukrainian with English abstract].
[Шевякіна Н. А., Трофимчук О. М., Красовський Г. Я., Клименко В. І. Методи і моделі космічного моніторингу зон впливу полігонів твердих побутових відходів на довкілля. Космічна наука і технологія. 2019. Т. 25, № 1 (116). С. 62–72.]
10. Azimov, O. T., Kuraeva, I. V., Trofymchuk, O. M. et al. (2019). Estimation of the heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the solid domestic waste landfills. Proceedings 18th EAGE International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects (13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine), 1–7.
DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902129>

11. Azimov, O. T., Dorofey, Ye. M., Trofymchuk, O. M. et al. (2019). Monitoring and assessment of impact of municipal solid waste landfills on the surface water quality in the adjacent ponds. *Proceedings 13th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (12–15 November 2019, Kyiv, Ukraine), 1–6.
DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903228>
12. Azimov, O., Kuraeva, I., & Bakhmutov, V. (2019). Assessment of the heavy metal distribution in soils within the areas for the municipal solid waste disposal. *Visnyk (Bulletin) of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology (Ukraine)*, 4 (87), 76–80. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.11> [in Ukrainian with English abstract].
[Азімов О. Т., Кураєва І. В., Бахмутов В. Г. та ін. Оцінка розподілу важких металів у ґрунтах районів захоронення твердих побутових відходів. Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія. 2019. Вип. 4 (87). С. 76–80.]
13. Kaliaskarova, Z. K., Aliyeva, Zh. N., Ikanova, A. S., & Negim, E. S. M. (2019). Soil pollution with heavy metals on the land of the Karasai landfill of municipal solid waste in Almaty city. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, Vol. 6, 438, 256–267.
DOI: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.177>
14. Azimov, O. T., Trofymchuk, O. M., Kuraeva, I. V. et al. (2020). Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills. *Proceedings 19th EAGE International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects* (11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine), 1–7.
DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo133>
15. Azimov, O. T., & Shevchuk, O. V. (2020). Geoinformation systems in monitoring studies of environmental pollution factors in the areas of municipal solid waste landfills. *Proceedings 19th EAGE International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects* (11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine), 1–7.
DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo111>
16. Azimov, O., & Shevchuk O. (2020). Modeling and forecasting the impact of solid waste landfill on groundwater (the landfill in Zdolbuniv district of Rivne region, Ukraine, as an example). *Proceedings 14th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine), 1–6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056078>
17. Azimov, O. T., Shevchuk, O. V., Azimova, K. O. et al. Integration of GIS and RSE aiming to the effective monitoring of the surroundings of landfills. *Ukrainian Journal Remote Sensing (Ukraine)*, 27, 4–12.
DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2020.27.183>
18. Azimov, O., Kuraeva, I., Trofymchuk, O. et al. (2020). Monitoring assessment of the surface water quality within the areas for the municipal solid waste disposal. *Visnyk (Bulletin) of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology (Ukraine)*, 4 (91), 56–60, [in Ukrainian with English abstract].
[Азімов О., Кураєва І., Трофимчук О. та ін. Моніторингова оцінка якості поверхневих вод у районах захоронення твердих побутових відходів. Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія. 2020. Вип. 4 (91). С. 56–60.]
DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.91.08>
19. Shevchuk, O.V., Azimov O.T., Tomchenko O.V. (2021). Remote sensing monitoring of the landfill sites as a factor of adverse environmental impact. *Proceedings 20th EAGE International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects* (11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine), 1–7.
DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521054>
20. Delehan-Kokaiko, S., Slabkiy, G., Lukianova, V., & Anpilova Y. Effect of landfill sites on disease and disease distribution among rural population. *Environmental Safety and Natural Resources (Ukraine)*, 2 (34), 43–52. [in Ukrainian with English abstract].
[Делеган-Кокайко С. В., Слабкий Г. О., Лук'янова В. В., Анпілова Є. С. Вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб. Екологічна безпека та природокористування. 2020. Вип. 2 (34). С. 43–52.]
DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52>
21. Ojekunle, O. Z., Rasaki, A., Taiwo, A. M. et al. (2022, August). Health risk assessment of heavy metals in drinking water leaching through improperly managed dumpsite waste in Kurata, Ijoko, Sango area of Ogun State, Nigeria. *Groundwater for Sustainable Development*, Vol. 18, 7: 100792.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100792>
22. State of the municipal waste treatment sphere in Ukraine for 2021 (2022). *Kyiv: The Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine*. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povo->

dzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/ [in Ukrainian]. [Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2021 рік. Київ: Мінрегіон, 2022.]

23. State of the municipal waste treatment sphere in Ukraine for 2020 (2021). *Kyiv: The Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine*. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zkhk/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik-2> [in Ukrainian].

[Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік. Київ: Мінрегіон, 2021.]

24. The Law of Ukraine "On Environmental Protection" (Act of Ukraine No. 1264-XII, on June 25, 1991) (1991). State Lists of Verkhovna Rada of Ukraine, 41, Article of Law 546. [in Ukrainian].

[Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (Закон від 25.06.1991 р. № 1264-XII). ВВРУ, 1991. № 41, ст. 546.]

25. Azimov, O. T., Rogozhin, O. G., Trofymchuk, O. M., & Khrushchov, D. P. (2021). Geoinformation support for the management of the localization objects of municipal solid waste. *Proceedings 20th EAGE International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects* (11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine), 1–8.

DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521169>

Стаття надійшла до редакції 10.11.2022

Для цитування [For citation]

Азімов О. Т., Томченко О. В., Шевчук О. В. Просторово-часовий аналіз змін в екосистемах районів локалізації муніципальних відходів із застосуванням ГІС і даних дистанційних знімків. *Укр. геогр. журнал*, № 2, 2024. С. 51–60. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.02.051>

Azimov, O. T., Tomchenko, O. V., Shevchuk, O. V. (2024). *Spatio-Temporal Analysis of Changes in Ecosystems of Municipal Waste Localisation Areas Using GIS and Remote Sensing Data*. *Ukr. Geogr. Zh.* No. 2: 51–59. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.02.051>