

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»
Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Лозинський Віктор Адамович

УДК 528.92, 528.71, 528.42

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ
ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія
05 «Технічні науки»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В. А. Лозинський

Науковий керівник:
Сосса Ростислав Іванович
доктор географічних наук, доцент

Ідентичність всіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради

/Б.Паляниця/

Львів – 2019

АНОТАЦІЯ

Лозинський В.А. Геоінформаційний моніторинг полігонів твердих побутових відходів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – «Геодезія, фотограмметрія та картографія». – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2019.

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню теоретико-методичних засад проведення геоінформаційного моніторингу територій розміщення відходів функціонуючих урбосистем та її апробація на прикладі Львівського міського полігону ТПВ. Розроблено комплексний підхід до ведення геоінформаційного моніторингу таких об'єктів, що охоплює всі періоди функціонування полігону ТПВ.

У розділі 1 «Сучасні методи дослідження розміщення відходів» розглянуто та проаналізовано сучасний стан досліджень об'єктів розміщення відходів, зокрема джерела утворення та зберігання відходів. Розроблено класифікацію методів і способів отримання даних для визначення площ та об'ємів об'єктів розміщення відходів. Надано рекомендації щодо їх використання. Встановлено, що найефективнішим засобом для аналізу, управління та планування діяльності у сфері поводження з відходами є використання ГІС-технологій. Визначено основні напрями застосування сучасних технологій для досягнення ефективного використання та управління місцями розміщення відходів. Геоінформаційний моніторинг об'єктів розміщення відходів відповідно до періодів їх життєвих циклів включає такі види моніторингу: ретроспективно-географічний аналіз архівних картографічних матеріалів, моніторинг складування ТПВ, температурних режимів, утворення біогазу та фільтрату; моніторинг просторового зміщення тіла полігону; екологічний моніторинг (атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, шумового навантаження, експлуатаційної надійності споруд, ґрунту та рослин, стану здоров'я населення). Для кожного виду моніторингу сформульовано завдання, цілі та засоби реалізації.

У розділі 2 «Ретроспективно-географічний аналіз параметрів ЛМП ТПВ за архівними аеро- та картографічними матеріалами» представлено загальну характеристику та історію експлуатації Львівського міського полігону ТПВ. Розроблено технологію проведення геоінформаційного моніторингу динаміки функціонування ЛМП ТПВ, яка передбачає застосування комплексного підходу з використанням архівних аеро- та картографічних матеріалів. Виконано дослідження архівних картографічних матеріалів на територію ЛМП ТПВ від початку ХХ ст. до 2006 р. Здійснено моделювання початкової поверхні рельєфу ЛМП ТПВ на основі топографічної карти масштабу 1:25 000 1957 р. Проведено інтерпретацію картографічних матеріалів, яка дала змогу хронологічно встановити площі ділянок складування відходів з 1972 по 2006 рр., а також визначено об'єми відходів ЛМП ТПВ на 1988 та 2006 рр. Опрацьовано рекомендації щодо проведення ретроспективно-географічного аналізу параметрів об'єктів розміщення відходів за архівними аеро- та картографічними матеріалами.

У розділі 3 «Дослідження параметрів ЛМП ТПВ за матеріалами аерознімання з БПЛА» висвітлено виконання комплексу робіт з аерознімання та фотограмметричного опрацювання їх матеріалів для отримання сучасної геопросторової інформації про полігон. Розроблено та апробовано універсальну методику визначення об'єму об'єктів розміщення відходів з використанням архівних картографічних матеріалів і матеріалів знімань БПЛА, що включає такі етапи: планування та аерознімання, обчислення середньої квадратичної похибки визначення координат точок за матеріалами аерознімання з БПЛА, планово-висотну прив'язку при аерозніманні, створення ортофотоплану та ЦМР. Удосконалено технологію створення топографічного плану комбінованим методом в умовах надзвичайних ситуацій (пожежа, зсув тощо). Розроблено методику оцінки точності обчислення об'єму тіла полігону та ярів за квадратурними формулами. Підготовлено рекомендації до проведення моніторингу в активний період функціонування полігонів ТПВ.

У розділ 4 «Геодезичний моніторинг зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ» представлено результати проведення пробних вимірювань дистанційними та

контактними методами. Встановлено, що використання роботизованого тахеометра в безрефлекторному режимі є ефективним засобом для спостережень за процесами на зсувонебезпечних ділянках. Розроблено технологію геодезичного моніторингу зсувонебезпечних ділянок об'єктів розміщення відходів. Упродовж червня 2016 – грудня 2017 р. виконано 14 циклів моніторингу, зафіксовано відсутність критичних рухів, а отримані результати використано для усунення та попередження подальших надзвичайних ситуацій. Використання даної технології є виправданим засобом для збору геопросторової інформації на великих відстанях (1 200 м) у складних метеорологічних умовах і, головне, є безпечним з точки зору техніки безпеки та охорони праці в умовах небезпеки повторного зсуву. Розроблено рекомендації до проведення моніторингу просторового зміщення тіла полігону ТПВ і екологічного моніторингу

Ключові слова: геоінформаційний моніторинг, картографічні матеріали, безпілотний літальний апарат, сміттєзвалище, полігон твердих побутових відходів

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз даних:

1. Лозинський В. А. Методика визначення об'єму Львівського полігону ТПВ з використанням архівних картографічних матеріалів та БПЛА Trimble UX-5 / В. А. Лозинський, В. І. Нікулішин, К. Р. Третяк, К. Р. Шило // *Геодезія, картографія і аерознімання*. – 2016. – № 83. – С. 64–82. (*Index Copernicus. Особистий внесок – методика визначення об'єму з використанням архівних картографічних матеріалів та БПЛА*)
2. Lozynskyi V. A. Technological features of creation of a large-scale topographical plan of Lviv city landfill using combined method / V. A. Lozynskyi, V. I. Nikulishyn, T. J. Iikiv // *Geodesy, Cartography and Aerial Survey*. – 2016. – Volume 84. – pp. 65–75. (*Index Copernicus. Особистий внесок – планування, виконання польових та камеральних робіт зі створення топографічного плану ЛМП ТПВ*)

3. Lozynskiy V. A. Retrospective-geographical analysis of Lviv city landfill / V. A. Lozynskiy, I. Z. Kolb, T. J. Ilkiv // *Geodesy, Cartography and Aerial Survey*. – 2017. – Volume 86. – pp. 45–57. (*Index Copernicus. Особистий внесок – встановлення тенденції зміни просторово–часових особливостей функціонування ЛМП ТПВ із використанням архівних матеріалів з 1950 по 2006 рр.*)

Стаття у фахових виданнях України

4. Маліцький А. Аналіз наземних лазерних 3D-сканерів та сфера їх застосування / А. Маліцький, В. Лозинський // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2014. – № 27. – С. 21-25. (*Особистий внесок – класифікація, надання рекомендацій при використанні наземних лазерних сканерів*)

5. Лозинський В. А. Аналіз сучасних методів отримання даних для визначення об'ємів відходів та донних відкладів / В. А. Лозинський // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2015. – № 30. – С. 87–97. (*Особистий внесок – огляд джерел та використання ГІС-технологій для аналізу методів отримання даних для визначення об'ємів відходів*)

6. Лозинський В. А. Моніторинг зсувонебезпечної ділянки Львівського міського полігону твердих побутових відходів (червень 2016 - березень 2017 років) / В. А. Лозинський, О. В. Ломпас // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2017. – № 34. – С. 92–97. (*Особистий внесок – розроблення технології сканування зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ з використанням роботизованого тахеометра в безрефлекторному режимі, вибір методу знімання, опрацювання результатів та побудова ЦМР зсувонебезпечної ділянки*)

7. Ломпас О. В. Дослідження динаміки схилу зсувонебезпечної ділянки Львівського міського полігону твердих побутових відходів / О. В. Ломпас, В. А. Лозинський // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2018. – № 35. – С. 107–112. (*Фахове видання. Особистий внесок – встановлення динаміки схилу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ упродовж серпня–грудня 2017 р.*)

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації, а саме матеріали та тези міжнародних і вітчизняних науково-технічних та наукових конференцій

8. Фис М. М. Метод визначення об'єму у випадку апроксимації поверхні TIN-моделлю / М. М. Фис, М. І. Юрків, В. І. Нікулішин, В. А. Лозинський // Збірник тез всеукраїнської науково-практичної конференції «Геодезія. Землеустрій. Природокористування: Присвячується пам'яті П. Г. Черняги». м. Рівне 9-10 листопада 2016 р. – 2016. – С. 54–55. *(Особистий внесок – аналітичні вирази для знаходження об'єму з використанням TIN-моделі)*

9. Ярема Н. П. Картографування забруднення навколишнього природного середовища Львівщини твердими побутовими відходами / Н. П. Ярема, Т. І. Марко, В. А. Лозинський // Збірник міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених "GeoTerrace-2016". м. Львів 15-17 грудня 2016 р. – 2016. – С. 166–167. *(Особистий внесок – збір, систематизація даних про кількість утворення ТПВ для побудови карт забруднення у Львівській області у 2011–2014 рр;)*

10. Lozynskiy V. A. Classification of methods and techniques for determining the volumes of waste and sediments / V. A. Lozynskiy // 6th International Youth Science Forum «LITTERIS ET ARTIBUS». Lviv, Ukraine, November 26-28, 2016. – p. 119 – 122. *(Особистий внесок – запропоновано класифікацію методів та способів отримання даних для визначення об'ємів відходів)*

11. Нікулішин В. І. Застосування БПЛА Trimble UX-5 для моніторингу наслідків зсуву на Львівському міському полігоні ТПВ / В. І. Нікулішин, І. Р. Савчин, О. В. Ломпас, В. А. Лозинський // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації». м. Івано Франківськ 22-25 березня 2017 р. – С. 302–303. *(Особистий внесок – визначення числових характеристик наслідків зсуву на ЛМП ТПВ)*

12. Lozynskiy V. A. The catastrophic waste-slide at Lviv Municipal Solid Waste Landfill on May 30, 2016 / V. A. Lozynskiy, V. I. Nikulishyn, O. V. Lompas, I. R. Savchyn // Book of Abstract VIII Miedzynarodowa konferencja Naukowa z cyklu

Innowacyjne technologie geodezyjne - zastosowania w roznych dziedzinach gospodarki. Kamionka Poland 7-9 czerwca 2017 – pp. 75–76. (*Особистий внесок – вибір матеріалів для оцінки наслідків зсуву та їх інтерпретація*)

13. Лозинський В. А. Аналіз архівних картографічних матеріалів на територію Львівського міського полігону ТПВ з 1950 по 1990 роки / В. А. Лозинський // Збірник праць матеріалів восьмої всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих учених “Наукова Весна” м. Дніпро 26-27 квітня 2017 р. – С. 27–28. (*Особистий внесок – збір та ретроспективно – географічний аналіз картографічних творів на територію ЛМП ТПВ з 1950 по 1990 рр.*)

14. Лозинський В. А. Технологічні особливості створення великомасштабного топографічного плану Львівського міського полігону твердих побутових відходів комбінованим методом / В. А. Лозинський, В. І. Нікулішин, Т. Я. Ільків, О. В. Ломпас // Матеріали восьмої міжнародної науково-технічної конференції «Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку» м. Львів – Східниця, 2017. – С. 86 – 90. (*Особистий внесок – технологія створення топографічного плану на територію ЛМП ТПВ. Виконано оцінку точності та встановлено його відповідність до вимог з інструкції з топографічного знімання*)

15. Lozynskyi V. A. Analysis of archival cartographic materials for the modeling of digital terrain model of the Lviv city landfill during 1988-2008 / V. A. Lozynskyi // 7th International Youth Science Forum «LITTERIS ET ARTIBUS». Lviv, Ukraine, November 23-25, 2017. – pp. 208–209. (*Особистий внесок – збір аеро- та картографічних матеріалів для моделювання ЦМР з 1988 до 2006 р.*)

16. Фис М. М. Обчислення об’єму, що визначається рельєфом та описується картографічними даними / М. М. Фис, М. І. Юрків, В. А. Лозинський // Збірник міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених "GeoTerrace-2017". м. Львів 14-16 грудня 2017 р. – 2017. – С. 134–136. (*Особистий внесок – розроблення та апробація методики математичного визначення об’єму ярів, встановлення максимальної відносної похибки*)

17. Фис М. М. Оцінка точності визначення об'єму за формулою Сімпсона для Львівського міського полігону твердих побутових відходів / М. М. Фис, М. І. Юрків, В. А. Лозинський // Матеріали ІХ міжнародної науково-практичної конференції «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні». м. Ужгород 4-6 жовтня 2018 р. – 2018. – С. 124–127. (*Особистий внесок – методика оцінки квадратурних формул*)

ANNOTATION

Lozyns'kii V. A. Geoinformational monitoring of municipal solid waste landfills – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences on specialty 05.24.01 – «Geodesy, photogrammetry and cartography». –Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2019.

The thesis is devoted to the substantiation of the theoretical and methodological foundations for conducting geoinformational monitoring of waste disposal sites of functioning urban systems and its approbation on the example of the Lviv city MSW landfill site. An integrated approach to the maintenance of geoinformational monitoring of such objects has been developed, covering all periods of the functioning of the MSW landfill.

Section 1 «Modern methods of waste disposal research» reviewed and analyzed the current state of research of waste disposal facilities, in particular the sources of waste generation and storage. A classification of ways and methods for obtaining data to determine the areas and volumes of waste disposal facilities was developed. Recommendations on their use were given. It has been established that the most effective means for analyzing, managing, and planning activities in the field of waste management is the use of GIS technologies. The main directions of modern technologies application to achieve the effective use and management of waste disposal facilities were identified. Geoinformational monitoring of waste disposal facilities in accordance with the periods of their life cycles includes the following types of monitoring: a retrospective-geographical analysis of archival cartographic materials, monitoring of MSW storage, temperature regimes, formation of biogas and filtrate;

monitoring the spatial displacement of the landfill body; ecology monitoring (air, surface and groundwater, noise load, operational reliability of structures, soil and plants, public health status). For each type of monitoring, objectives, goals and means of implementation were formulated.

Section 2 «Retrospective-geographical analysis of the parameters of LCL by archival aero- and cartographic materials» presents a general description and history of the operation of the Lviv city MSW landfill. Technology was developed for conducting geo-information monitoring of the dynamics of the operation of LCL, which provides for the application of an integrated approach using archival aero- and cartographic materials. Studies of archival cartographic materials on the territory of LCL from the beginning of the twentieth century to 2006 were carried out. The initial surface relief of LCL was modeled on the basis of a topographic map on 1:25 000 scale in 1957. Interpretation of cartographic materials was carried out, which allowed to determine chronologically the areas of waste storage sites from 1972 to 2006 as well as the volumes of LCL wastes for 1988 and 2006. Recommendations on conducting a retrospective-geographical analysis of the parameters of waste disposal facilities with using archival aero- and cartographic materials were processed.

Section 3 «Investigation of Lviv city landfill parameters based on materials from aerial surveys with UAVs» highlights the implementation of a set of works on aerial survey and photogrammetric processing of its materials to obtain modern geospatial information about the landfill. A universal method for determining the volume of waste disposal facilities using archival cartographic materials and UAV survey materials was developed and tested, which includes the following steps: planning and aerial survey, calculating the mean square error of determining the points' coordinates from aerial survey with UAV, planned-altitude reference for aerial surveys materials, creating an orthophotomap and DTM. The technology for creating a topographic plan using a combined method in emergency situations (fire, displacement, etc.) was improved. Technique was developed for estimating the accuracy of calculating the volume of a landfill body and ravines using a quadrature formula. Recommendations were prepared for monitoring in the active period of the operation of MSW landfills.

Section 4 «Geodetic monitoring of the landslide-hazardous area of Lviv city MSW landfill» presents the results of conducting trial measurements by remote and contact methods. It was established that the use of a robotic total station in the reflex-free mode is an effective tool for observing processes in landslide-hazardous areas. The technology of geodetic monitoring of landslide areas of waste disposal facilities was developed. During June 2016 - December 2017, 14 monitoring cycles were performed, the absence of critical movements was recorded, and the results were used to eliminate and prevent further emergency situations. Using of this technology is a justified means for collecting geospatial information over long distances (1 200 m) in difficult meteorological conditions and, most importantly, it is safe from the point of view of occupational safety in the event of a risk of re-landslide. Recommendations were developed for monitoring the spatial displacement of landfill body and environmental monitoring.

Key words: geoinformational monitoring, cartographical materials, unmanned aerial vehicle, landfill, municipal solid waste landfill.

THE RESEARCHER LIST OF PUBLICATIONS WHICH CONTAIN THE MAIN SCIENTIFIC RESULTS OF THE THESIS

Articles in scientific periodicals of Ukraine that are included in international science-computer databases

1. Lozynskyi V. Method for determining the volume Lviv solid waste landfill by using archival mapping materials and UAV Trimble UX – 5 / V. Lozynskyi, V. Nikulishyn , K. Tretyak, E. Shylo // *Geodesy, Cartography and Aerial Survey*. – 2016. – № 83. – P. 64–82. (*Index Copernicus. Personal contribution – methodology to determine the waste volume using archival cartographic materials and UAV*)
2. Lozynskyi V. Technological features of creation of a large-scale topographical plan of Lviv city landfill using combined method / V. Lozynskyi, V. Nikulishyn, T. Ilkiv // *Geodesy, Cartography and Aerial Survey*. – 2016. – Volume 84. – P. 65–75. (*Index Copernicus. Personal contribution – planning, implementation of field and office work to create a topographic plan for Lviv city MSW landfill*)

3. Lozynskiy V. Retrospective-geographical analysis of Lviv city landfill / V. Lozynskiy, I. Kolb, T. Ilkiv // *Geodesy, Cartography and Aerial Survey*. – 2017. – Volume 86. – P. 45–57. (*Index Copernicus. Personal contribution - the establishment of a tendency to change the spatial and temporal characteristics of the functioning of Lviv city MSW landfill using archival materials from 1950 to 2006*)

Articles in scientific professional editions of Ukraine

4. Malitskiy A. Analysis terrestrial laser 3D-scanner and their scope / A. Malitskiy, V. Lozynskiy // *Modern achievements of geodesic science and industry*. – 2014. – № 27. – P. 21-25. (*Personal contribution - classification, provision of recommendations when using ground laser scanners*)

5. Lozynskiy V. Analysis of current methods of obtaining data to determine the volumes of waste and sediments / V. Lozynskiy // *Modern achievements of geodesic science and industry*. – 2015. – № 30. – P. 87–97. (*Personal contribution – source overview and using of GIS technologies to analyze the methods for obtaining data for the determination of waste volumes*)

6. Lozynskiy V. Monitoring of the landslide area of the Lviv municipal landfill (June 2016 - March 2017) / V. Lozynskiy, A. Lompas // *Modern achievements of geodesic science and industry*. – 2017. – № 34. – P. 92–97. (*Personal contribution – development of technology for scanning a landslide-hazardous area of Lviv city MSW landfill using a robotic total station in the reflector-free mode, the choice of method for surveying, processing results and building DTM of a landslide slope*)

7. Lompas A. The study dynamics of the slope of landslide areas of Lviv city landfill / A. Lompas, V. Lozynskiy // *Modern achievements of geodesic science and industry*. – 2018. – № 35. – P. 107–112. (*Specialized edition. Personal contribution - the establishment of the landslide slope dynamics of Lviv city MSW landfill during August-December 2017*)

Publications that testify to the approbation of the thesis materials, namely the materials and abstracts of international and national scientific and technical conferences

8. Fys M. M. Method for determining the volume in the case of surface approximation by the TIN model / M. Fys, M. Yurkiv, V. Nikulishyn, V. Lozynskyi // Proceedings ukrainian scientific-practical conference «Geodesy. Land management. Nature Use: Dedicated to the memory of P. G. Chernyaghi» Rivne 9-10 November 2016 – 2016. – P. 54–55. (*Personal Contribution – Analytical expressions for calculating the volume using the TIN model*)
9. Yarema N. Mapping environmental pollution of solid waste in Lviv region / N. Yarema, T. Marko, V. Lozynskyi // Proceedings of International Conference of Young Scientists «GeoTerrace-2016». Lviv 15-17 december 2016 – 2016. – P. 166–167. (*Personal contribution - collection and systematization of data on the amount of MSW generation for the construction of pollution maps in the Lviv region in 2011-2014*)
10. Lozynskyi V. Classification of methods and techniques for determining the volumes of waste and sediments / V. Lozynskyi // 6th International Youth Science Forum «LITTERIS ET ARTIBUS». Lviv, Ukraine, November 26-28, 2016. – p. 119 – 122. (*Personal contribution – proposed classification of methods and ways for obtaining data to determine the waste volume*)
11. Nikulishyn V. Using UAV Trimble UX-5 for monitoring the effects of landslide on Lviv city landfill / V. Nikulishyn, I. Savchyn, O. Lompas, V. Lozynskyi // Proceedings of International research and practice conference «Ecogeoforum–2017/ Actual problem and innovation» Ivano-Frankivsk, 22 -25 march 2017 – P. 302–303. (*Personal contribution - definition of numerical characteristics of the effects of landslides of Lviv city MSW landfill*)
12. Lozynskyi V. The catastrophic waste-slide at Lviv Municipal Solid Waste Landfill on May 30, 2016 / V. Lozynskyi, V. Nikulishyn, O. Lompas, I. Savchyn // Book of Abstract VIII Miedzynarodowa konferencja Naukowa z cyklu Innowacyjne technologie geodezyjne - zastosowania w roznych dziedzinach gospodarki. Kamionka Poland 7-9 czerwca 2017 – P. 75–76. (*Personal contribution - the choice of materials for assessing the effects of landslides and their interpretation*)
13. Lozynskyi V. Analysis of archival cartographic materials to the territory of the Lviv city landfill from 1950 to 1990 / V. Lozynskyi // Proceedings eighth Ukrainian

Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists «Scientific Spring» Dnipro 26-27 April 2017 – P. 27–28. (*Personal contribution – collection and retrospective geographical analysis of cartographic works on the territory of Lviv city MSW landfill from 1950 to 1990.*)

14. Lozynskyi V. Technological features of creation of a large-scale topographical plan of Lviv city landfill using combined method / V. Lozynskyi, V. Nikulishyn, T. Ilkiv, O. Lompas // Proceedings eighth international scientific-technical conference on «Environmental monitoring, photogrammetry, geoinformatics - modern technologies and development perspectives», Lviv – Shidnytsya, 2017. – P. 86 – 90. (*Personal contribution - the technology of creating a topographic plan for the territory of Lviv city MSW landfill. Accuracy assessment was performed and its compliance with the requirements of the instructions for topographic surveying was established.*)

15. Lozynskyi V. A. Analysis of archival cartographic materials for the modeling of digital terrain model of the Lviv city landfill during 1988-2008 / V. Lozynskyi // 7th International Youth Science Forum «LITTERIS ET ARTIBUS». Lviv, Ukraine, November 23-25, 2017. – pp. 208–209. (*Personal contribution - collection of aerial and cartographic materials from 1988 to 2006 for DTM modeling*)

16. Fys M. Calculation of the objection defined by relief and described by cartographic data / M. Fys, M. Yurkiv, V. Lozynskyi // Proceedings of International Conference of Young Scientists «GeoTerrace-2017». Lviv 14-16 december 2017 – 2017. – P. 134–136. (*Personal contribution - the development and testing of methods for the mathematical determination of the volume of ravines, the establishment of the maximum relative error*)

17. Fys M. Estimation of the accuracy of the determination of the volume by the Simpson formula for the Lviv city landfill / M. Fys, M. Yurkiv, V. Lozynskyi // Materials of the IX international scientific-practical conference «New technologies in geodesy, land management, forest management and nature management». Uzhhorod 4-6 October 2018 p. – 2018. – P. 124–127. (*Personal contribution – method for assessment the accuracy of quadrature formulas*)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,	
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	17
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	
РОЗМІЩЕННЯ ВІДХОДІВ.....	26
1.1. Характеристика предметної сфери дослідження відходів.....	26
1.2. Стан досліджень розміщення відходів	35
1.2.1. Використання ГІС-технологій при поводженні з відходами	36
1.2.2. Методи та способи отримання даних для визначення	
параметрів об'єктів розміщення відходів	39
1.2.2.1. Безконтактні методи (ДЗЗ)	39
1.2.2.2. Контактні методи.....	44
1.2.2.3. Досвід визначення об'ємів відходів	46
1.3. Класифікація методів і способів отримання даних для	
визначення об'ємів і площ полігонів ТПВ	50
1.4. Сутність геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів	54
Висновки до розділу 1	62
Список літератури до розділу 1	64
РОЗДІЛ 2. РЕТРОСПЕКТИВНО-ГЕОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ	
ПАРАМЕТРІВ ЛМП ТПВ ЗА АРХІВНИМИ АЕРО- ТА	
КАРТОГРАФІЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ	79
2.1. Загальна характеристика та історія експлуатації ЛМП ТПВ	80
2.2. Стан дослідження ЛМП ТПВ	84
2.3. Дослідження архівних картографічних матеріалів на територію	
ЛМП ТПВ від початку ХХ ст. – до 2006 р.	86
2.3.1. Моделювання рельєфу та встановлення змін ділянки	
складування відходів ЛМП ТПВ.....	89

2.3.2.	Опрацювання архівних аерофотознімків станом на 1988 р.	
	для побудови ЦМР ЛМП ТПВ	94
2.3.3.	Моделювання ЦМР на основі топографічного плану	
	ЛМП ТПВ станом на 2006 р.	97
2.4.	Рекомендації до проведення ретроспективно-географічного	
	аналізу параметрів об'єктів розміщення відходів за	
	архівними аеро- та картографічними матеріалами.....	99
	Висновки до розділу 2	101
	Список літератури до розділу 2	103
	РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛМП ТПВ ЗА	
	МАТЕРІАЛАМИ АЕРОЗНІМАННЯ З БПЛА.....	107
3.1.	Методика визначення об'єму ЛМП ТПВ з використанням	
	архівних картографічних матеріалів та матеріалів аерознімання.....	107
3.1.1.	Польові та камеральні роботи при аерознімання ЛМП ТПВ	
	із використанням БПЛА TRIMBLE UX-5 (жовтень 2015 р.).....	108
3.1.2.	Розрахунок накопичення відходів на ЛМП ТПВ	
	упродовж 1959-2015 рр. на основі вагового методу	116
3.2.	Створення великомасштабного топографічного плану	
	ЛМП ТПВ комбінованим методом в умовах надзвичайних ситуацій ...	117
3.2.1.	Польові та камеральні роботи при аерознімання ЛМП ТПВ	
	із використанням БПЛА TRIMBLE UX-5 (червень 2016 р.).....	119
3.2.2.	Технологічні особливості створення топографічного плану	
	ЛМП ТПВ та оцінка точності.....	121
3.3.	Алгоритм отримання формули при обчисленні об'єму	
	методом трикутних призм.....	123
3.4.	Обчислення об'єму за рельєфом та картографічними матеріалами.....	127
3.5.	Оцінка точності визначення об'єму за квадратурними формулами.....	133
3.6.	Рекомендації до проведення моніторингу в активний період	
	функціонування полігонів ТПВ.....	138

Висновки до розділу 3	142
Список літератури до розділу 3	144
РОЗДІЛ 4. ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНОЇ	
ДІЛЯНКИ ЛМП ТПВ.....	148
4.1. Технологія сканування зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ з використанням роботизованого тахеометра Topcon IS-301 у червні 2016 р.....	150
4.1.1. Аналіз наслідків зсуву на ЛМП ТПВ на основі використання даних з БПЛА	150
4.1.2. Визначення числових характеристик накопичення та осідання сміття.....	156
4.2. Дослідження динаміки схилу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ у березні –серпні 2017 р.....	160
4.3. Дослідження динаміки схилу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ у серпні-грудні 2017р.	162
4.4. Рекомендації до проведення моніторингу просторового зміщення тіла полігону ТПВ.....	168
Висновки до розділу 4	170
Список літератури до розділу 4	172
Загальні висновки.....	175
Додаток А.....	179
Додаток Б.....	180
Додаток В	181

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

БПЛА	–	безпілотний літальний апарат
ГІС	–	географічна інформаційна система
ДБН		державні будівельні норми
ДЗЗ	–	дистанційне зондування Землі
ДНВП	–	Державне наукове-виробниче підприємство
ЛМП ТПВ	–	Львівський міський полігон твердих побутових відходів
ЛМР	–	Львівська міська рада
ПЕК	–	паливно-енергетичний комплекс
СКП	–	середня квадратична похибка
ТПВ	–	тверді побутові відходи
ЦМР	–	цифрова модель рельєфу
РТК	–	кінематика реального часу

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. З розвитком торгово-ринкових відносин збільшується кількість пакування (паперова обгортка, жерстяні банки, поліетилен, пластикове пакування та ін.), що призводить до збільшення обсягів відходів. Після остаточного розміщення відходів на полігонах твердих побутових відходів (ТПВ) відбувається забруднення повітряного середовища, ґрунту, підземних та поверхневих вод та прилеглих до нього територій. Нині 94,1 % побутових відходів в Україні захоронюються на полігонах та сміттєзвалищах, лише 2,7 % спалюється та 3,2 % потрапляє на заготівельні пункти та сміттєпереробні комплекси. Низька культура суспільства щодо поводження з відходами уможлиблює ймовірність появи нових (не) санкціонованих сміттєзвалищ, що утворюються біля автомобільних шляхів та залізниць, лісів, полів, на околицях населених пунктів.

Не кращою є ситуація у Львівській області, де станом на 01.09.2017 р. захоронення відходів відбувалося на 20 діючих санкціонованих звалищах/полігонах, з яких 4 потребують паспортизації та 10 рекультивації. Дані об'єкти здебільшого є перевантаженими та не відповідають нормам екологічної безпеки, що може призвести до надзвичайних ситуацій з екологічними наслідками. Така ситуація, а саме пожежа і зсув відходів, спостерігалися на Львівському міському полігоні ТПВ у травні 2016 р. Це загострило проблеми не лише у сфері поводження з відходами, а й питання доцільності ведення геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів (сміттєзвалищ та полігонів ТПВ).

Згідно з чинних нормативних документів України на полігонах ТПВ мають здійснювати екологічний моніторинг, який передбачає контроль якості атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, шумового навантаження тощо. Оскільки полігони ТПВ є інженерними спеціалізованими спорудами, то для ефективної експлуатації та попередження екологічних катастроф потрібне опрацювання комплексу робіт з ведення геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів. Разом з багатofункціональними можливостями

географічних інформаційних систем (ГІС) це дозволить інтегрувати різного роду дані (топографічні плани, карти, аерофотознімки, дані знімання з БПЛА, результати інженерно-геодезичних вимірювань) для побудови цифрових моделей рельєфу (ЦМР), візуалізації, прогнозування, моделювання та аналізу параметрів об'єктів розміщення відходів.

Відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього середовища» для інвентаризації місць захоронення відходів необхідною є інформація про площі, оцінку заповнення і наявності вільних об'ємів, технічного стану відповідності об'єкта розміщення відходів екологічним, будівельним і санітарним нормам та правилам для місць захоронення відходів.

При виконанні дисертаційного дослідження автором враховано досвід провідних вітчизняних та закордонних науковців різних галузей науки, що досліджували місця захоронення відходів.

Дослідженням об'єктів розміщення відходів в історичній ретроспективі за аерофотознімками присвячені праці Pope P., Garofalo D., Brilis G., Erb T., Slonecker E., використання аерофотознімків та даних ДЗЗ є науковим доробком Philipson W., Sangrey D., Titus S., Lyon J. Stohr C. Досвід використання аерофотознімків для вирішення правових колізій висвітлено в працях вчених Latin H., Slonecker E.

Використання даних космічного знімання (інфрачервоні, мульти- і гіперспектральні знімки) опрацьовували Kwarteng A., Al-Enezi A., Seker D., Qingsheng L., Dewan A., Manzo C., Faisal K., Iacoboaia C., Karathanassi V., Shaker A., Foody G., Brivio P. (динаміка змін параметрів полігону ТПВ, зміна площі та об'єму, визначення температури тіла полігону ТПВ). Географічний розподіл і кількісні параметри об'єктів розміщення ТПВ досліджували вітчизняні (Доманська М., Греков Л., Бутенко О., Красовський Г., Красовська І., Новохацька Н., Тішаєва А., Томченко О. та інші) і вчені з країн пострадянського простору (Ліпілін Д., Рябов Ю., Бровкіна О., Зайцев А., Kaliaskarova K. та інші). Розроблення технологій, методик аерознімання для оперативного картографування полігонів ТПВ з використанням різного типу безпілотних

літальних апаратів запропонували Gasperini D., Mudura R., Nienow Z., Urbančić T., Mayr W., Mudura R.

З огляду на науковий та екологічний аспекти тема дисертаційного дослідження є безперечно актуальною і може бути використана широким колом спеціалістів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри картографії та геопросторового моделювання: «Геоінформаційне картографування. Математичне моделювання в картографії, геодезії, астрономії, геофізиці.» Дисертація виконана в межах науково-дослідної роботи «Теоретичні та методичні засади створення картографічних моделей» (державний реєстраційний номер 0118U001676), а також наукової тематики робіт галузевої науково-дослідної лабораторії «Геодезичного моніторингу та рефрактометрії» (ГНДЛ-18).

Окремі положення дисертаційної роботи були опрацьовані при виконанні низки госпдоговірних робіт по Львівському міському полігону ТПВ (протягом 2016-2017 рр., відповідальний виконавець), а також при виконанні автором гранту для молодих вчених ГЛП 5/2016 «Геоінформаційний моніторинг Львівського полігону твердих побутових відходів» (державний реєстраційний номер 0116U008629, 2016 р.).

Робота виконана на кафедрі картографії та геопросторового моделювання Інституту геодезії Національного університету "Львівська політехніка".

Мета і завдання досліджень Метою дисертаційної роботи є обґрунтування та розроблення системи проведення геоінформаційного моніторингу територій розміщення відходів діючих урбосистем та її апробація на прикладі Львівського міського полігону ТПВ.

Реалізація мети роботи передбачала виконання таких завдань:

- аналіз сучасного стану досліджень територій з об'єктами розміщення відходів діючих урбосистем;
- розроблення класифікації методів і способів отримання даних для визначення площ та об'ємів об'єктів розміщення відходів і надання рекомендацій

щодо технологій їх використання;

- здійснення ретроспективно-географічного аналізу параметрів стану Львівського міського полігону ТПВ і проведення комплексу досліджень з використанням аерознімання та фотограмметричного опрацювання отриманих матеріалів для оцінки сучасного стану полігону ТПВ;

- розроблення методики визначення об'єму об'єктів розміщення відходів з використанням архівних картографічних матеріалів і знімків з БПЛА;

- розроблення технології створення великомасштабних топографічних планів об'єктів розміщення відходів при виникненні надзвичайних ситуацій на них (пожежа, зсув тощо);

- визначення точності обчислення об'єму тіла полігону за квадратурними формулами;

- обґрунтування технології проведення геодезичного моніторингу зсувонебезпечних ділянок.

Об'єктом досліджень є сміттєзвалища та полігони ТПВ, зокрема Львівський міський полігон ТПВ.

Предметом досліджень є розроблення теоретико-методичних засад проведення геоінформаційного моніторингу та оцінювання параметрів об'єктів розміщення ТПВ функціонуючих урбосистем.

Методи досліджень. У ході виконання дисертаційної роботи автором використано такі методи: *аналізу та порівняльно-аналітичний* – при вивченні відповідного доробку вчених, що стосуються об'єктів розміщення відходів та їх моніторингу; *геоінформаційний* – у процесі збору, опрацювання та зберігання даних про об'єкт дослідження; *ієрархічний метод класифікації* – при узагальненні методів та способів отримання даних для визначення параметрів об'єктів розміщення відходів; *математичні методи інтерполяції* – при виконанні моделювання ЦМР; *абстрактно-логічний* – для обґрунтування висновків; *описовий та історичного аналізу* – при вивченні архівних картографічних творів та різного роду документів з початку функціонування Львівського міського полігону ТПВ і до сьогоднішнього дня. У основним ГІС-інструментарієм є ПП «ArcGIS» з його додатками, а допоміжним засобом слугував ПП «Golden Surfer 13».

Наукова новизна одержаних результатів

Уперше:

- розроблено теоретико-методичні засади та комплексний підхід до ведення геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення ТПВ, що охоплює всі періоди функціонування полігону;
- розроблено та апробовано методику визначення об'єму об'єктів розміщення відходів з використанням архівних картографічних матеріалів і матеріалів знімань БПЛА;
- проведено ретроспективно-географічне дослідження Львівського міського полігону ТПВ, встановлено зміни його кількісних параметрів упродовж 1972-2015 рр. (площа, об'єм, висота складування відходів);
- розроблено методику оцінки точності визначення об'єму за квадратурними формулами.

Удосконалено:

- використання методів і способів отримання даних для визначення площ та об'ємів об'єктів розміщення відходів;
- технологію створення топографічного плану комбінованим методом в умовах надзвичайних ситуацій (пожежа, зсув тощо).

Набули подальшого розвитку:

- порівняння різних методів інтерполяції при визначенні об'ємів тіл;
- технологія виконання геодезичного моніторингу зсувонебезпечних ділянок об'єктів розміщення відходів.

Результати напрацювань автора є універсальними, запропоновану методику можна використовувати для аналогічних досліджень інших об'єктів розміщення відходів ((не) санкціоновані сміттєзвалища, полігони ТПВ).

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що дані методики, рекомендації, технологічні схеми можуть бути використані:

органами виконавчої влади та місцевого самоврядування при: розробленні програм поводження з відходами; забезпеченні комплексного соціально-

економічного розвитку територій; екологічного захисту населення; реалізації природоохоронних заходів;

спеціалістами житлово-комунального господарства, комунальними та приватними підприємствами, що займаються експлуатацією полігонів ТПВ, науково-дослідними, проектними організаціями: на стадії проектування елементів полігону ТПВ; в активній фазі для ефективної організації, управління захоронення відходів з подальшим збільшенням терміну експлуатації; при оцінці теплоенергетичного потенціалу та отриманні біогазу; при розробленні проекту рекультивації; при розробленні першочергових заходів зі стабілізації полігонів ТПВ.

Розроблена та апробована методика укладання великомасштабних планів для полігону ТПВ дає змогу виконати: проектування нових карт для складування ТПВ, розрахунок обсягу земляних робіт, складання робочих креслень для укріплення та побудови нової дамби, розроблення плану розташування дренажної системи фільтрату.

Результати дисертаційної роботи впроваджено та використано департаментом з питань поводження з відходами Львівської міської ради.

Отримані результати теоретичних і практичних напрацювань можуть бути використані фахівцями широкого кола спеціальностей, зокрема: картографії, геодезії, географії, екології та інших, при викладанні таких навчальних дисциплін як «Топографічне картографування», «Картографічний метод досліджень», «Геоінформаційне картографування» для студентів Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка» та інших вищих навчальних закладів.

Особистий внесок здобувача. Результати виконаної дисертаційної роботи отримані автором особисто, що підтверджено одноосібними публікаціями (5, 10, 13, 15). У спільних публікаціях автору належить: (1) – методика визначення об'єму з використанням архівних картографічних матеріалів та БПЛА; (2) – планування, виконання польових та камеральних робіт зі створення топографічного плану ЛМП ТПВ; (3) – встановлення тенденції зміни просторово–

часових особливостей функціонування ЛМП ТПВ із використанням архівних матеріалів з 1950 по 2006 рр.; (4) – класифікація, надання рекомендацій при використанні наземних лазерних сканерів; (5) – огляд джерел та використання ГІС-технологій для аналізу методів отримання даних для визначення об'ємів відходів; (6) – розроблення технології сканування зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ з використанням роботизованого тахеометра в безрефлекторному режимі; (7) – встановлення динаміки схилу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ упродовж серпня–грудня 2017 р.; (8) – аналітичні вирази для знаходження об'єму з використанням TIN-моделі; (9) – збір, систематизація даних про кількість утворення ТПВ для побудови карт забруднення у Львівській області у 2011–2014 рр; (10) – запропоновано класифікацію методів та способів отримання даних для визначення об'ємів відходів; (11) – визначення числових характеристик наслідків зсуву на ЛМП ТПВ; (12) – вибір матеріалів для оцінки наслідків зсуву та їх інтерпретація; (13) – збір та ретроспективно – географічний аналіз картографічних творів на територію ЛМП ТПВ з 1950 по 1990 рр.; (14) – технологія створення топографічного плану на територію ЛМП ТПВ. Виконано оцінку точності та встановлено його відповідність до вимог з інструкції з топографічного знімання; (15) – збір аеро- та картографічних матеріалів для моделювання ЦМР з 1988 до 2006 р.; (16) – розроблення та апробація методики математичного визначення об'єму ярів, встановлення максимальної відносної похибки; (17) – методика оцінки квадратурної формули.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати наукових досліджень доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях та форумах: XX міжнародній науково-технічній конференції «GEOFORUM 2015» (Львів-Яворів-Брюховичі, 2015); всеукраїнській науково-практичній конференції «Геодезія. Землеустрій. Природокористування» (Рівне, 2016); міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених «GeoTerrace-2016» (Львів, 2016); 6th International Youth Science Forum «LITTERIS ET ARTIBUS» (Lviv, 2016); міжнародній науково-практичній конференції «ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації» (Івано Франківськ, 2017); XXII міжнародній науково-

технічній конференції «GEOFORUM 2017» (Львів, 2017); VIII Międzynarodowa konferencja Naukowa z cyklu Innowacyjne technologie geodezyjne - zastosowania w roznych dziedzinach gospodarki (Polska, 2017); VIII всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Наукова весна 2017» (Дніпро, 2017); VIII міжнародній науково-технічній конференції «Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку» (Львів – Східниця, 2017); міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених «GeoTerrace-2017» (Львів, 2017), IX міжнародній науково-практичній конференції «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні» (Ужгород, 2018), а також на наукових семінарах кафедри картографії та геопросторового моделювання (2015-2018 рр.).

Публікації. Результати досліджень за темою дисертації оприлюдненні в 17 публікаціях, серед яких: 7 статей у наукових фахових виданнях України, з яких 3 статті у виданнях, які включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus, 10 матеріалів конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота обсягом 181 сторінок складається зі вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел. Робота містить 88 рисунків, 25 таблиці та 3 додатки. Список використаних джерел містить 206 найменувань.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗМІЩЕННЯ ВІДХОДІВ

1.1. Характеристика предметної сфери дослідження відходів

У результаті техногенної діяльності людини відбувається накопичення відходів, які забруднюють літосферу, гідросферу та атмосферу. Оскільки накопичення відходів є практично безперервним процесом, то виникає потреба їх зберігання та складування.

За характером продукування відходи поділяють на дві основні групи: *відходи виробництва* (промислові відходи) та *відходи споживання* (відходи вжитку).

З утворенням і розміщенням відходів виробництва насамперед пов'язані:

- **підприємства з видобування руд та нерудних копалин** (шахти з підземного видобутку вугілля, розрізи з відкритого видобутку вугілля, породні відвали вугільних шахт, що експлуатуються, недіючі породні відвали висотою більше 30 м, що піддаються горінню, недіючі породні відвали висотою більше 50 м, що не схильні до горіння, збагачувальні фабрики, гірничо-збагачувальні фабрики, комбінати);
- **санітарно-технічні споруди комунального призначення** (полігони ТПВ, сміттєспалювальні та сміттєпереробні заводи);
- **підприємства з виробництва та постачання електричної та теплової енергії** (атомні електростанції, гідроелектростанції, теплові електростанції, теплоелектроцентралі);
- **об'єкти транспорту;**
- **трубопроводи та споруди на них;**
- **сховища газу, нафти і нафтопродуктів та інші [26].**

Серед основних галузей економічної діяльності, де накопичуватися **промислові відходи**, є паливна промисловість.

Визначальне значення із власних первинних енергоресурсів для України має вугілля. Запаси вугілля зосереджені в Донецькому, Львівсько-Волинському та

Дніпровському басейнах. При видобуванні і переробці вугілля виникає значна кількість відходів та порожньої породи, яка утворює відвали (терикони). Негативний вплив териконів на навколишнє середовище зумовлений тим, що вони займають значні площі і мають великі об'єми накопичених відходів, у них відбувається процес самозаймання і диміння, просідання поверхні та підтоплення. Також терикони негативно впливають на стан здоров'я місцевого населення.

Окрім підприємств гірничодобувного комплексу, основними джерелами утворення промислових відходів в Україні є хіміко-металургійний, машинобудівний, паливно-енергетичний, будівельний, целюлозно-паперовий та агропромисловий комплекси. Значна частка відходів утворюється на підприємствах збагачення рудної і нерудної мінеральної сировини (сотні млн куб. м), видобутку і збагачення вугілля, проведення розкривних робіт, спалювання високозольного вугілля на об'єктах тепло- та електроенергетики, у металургійній промисловості (десятки і сотні тис. куб. м), а захоронення відбувається у різного роду відвалах, хвостосховищах [52].

Видобуток сировинних ресурсів (вугілля, нафта, газ) в паливно-енергетичному комплексі (ПЕК) спричиняє утворення та накопичення відходів. Важливим аспектом таких відходів є те, що їх можна розглядати як «корисні копалини», оскільки вони за своїм компонентним складом є цінною мінеральною сировиною, а саме кольорових, рідкісних і навіть дорогоцінних металів, також їх можна використовувати при засипанні різного роду ярів, балок, байраків [12]. Відходи видобувної промисловості, а саме порожню породу, використовують у виробництві будівельних матеріалів [58], дорожньому виробництві [37]. Досить перспективним є використання відвальних порід як енергетичної сировини [33, 1]. Відвали відпрацьованої гірської маси за своїми обсягами і процентним вмістом корисних елементів є техногенними родовищами, які зможуть доповнити сировинну базу України при їх переробленні за допомогою комплексної безвідходної технології, звільнити для господарської діяльності колосальні території і поліпшити екологічну ситуацію [4].

Другою такою групою є *відходи вжитку*, що включають в собі

муніципальні відходів, під яким розуміються ті відходи, поводженням з якими займається місцева влада (збір, транспортування, зберігання, захоронення). Окрім відходів, утворених населенням у житлових та нежитлових будинках, сюди також включають ті, що вироблені закладами харчування, торговельними підприємствами, установами, муніципальними службами (*відходи споживання*). Більш вузьким поняттям яке не включає відходів, пов'язаних з виробничою діяльністю підприємств є **побутові відходи**. Побутові відходи населення та відходи підприємств у містах здебільшого потрапляють в контейнери без розподілу ким вони створені. Такі відходи у подальшому захоронюються на полігонах ТПВ чи на (не) санкціонованих сміттєзвалищах.

Ситуація у сфері побутових відходів в Україні є вкрай критичною. Питанням захоронення відходів не приділяється належної уваги. Та кількість відходів, що розміщені на сміттєзвалищах і полігонах ТПВ України (Рис. 1.1), дозволяє віднести Україну до однієї із найбільш техногенно-навантажених країн Європи. Дана проблематика потребує комплексного підходу, що включатиме контроль таких процесів як: збирання, перевезення, сортування, зберігання, перероблення, утилізацію, видалення і захоронення, включаючи контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення.



Рис. 1.1. ЛМП ТПВ та гудронні озера на космознімку Google Earth 2015 р. [25]

За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України (Мінрегіон України) у 2017 р. утворено близько 52 млн куб. м побутових відходів або близько 10 млн т. Вони захоронюються на 5,5 тис. сміттєзвалищ і полігонів (Рис. 1.2) загальною площею понад 8,5 тис. га. Кількість перевантажених сміттєзвалищ серед них становить

309, а 1347 сміттєзвалищ не відповідають нормам екологічної безпеки. Також критичною є ситуація із паспортизацією та рекультивацією сміттєзвалищ, де 1953 сміттєзвалища потребують паспортизації, а 550 сміттєзвалищ - рекультивації. Водночас є потреба у будівництві нових полігонів, що складає понад 424 од. [56].

Дані, подані на Рис. 1.2, скоріш за все не відповідають дійсності. Наприклад у Волинській і Черкаській областях таких об'єктів розміщення відходів є близько 20 одиниць, що викликає сумнів.

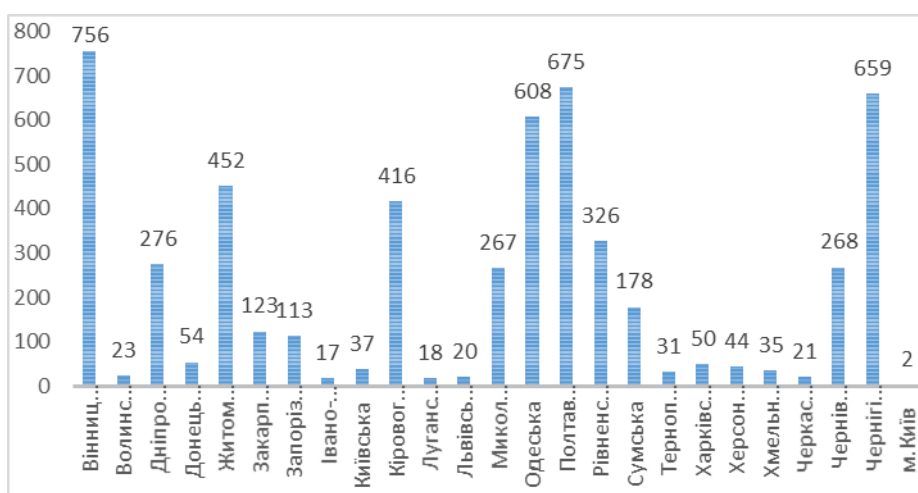


Рис. 1.2. Інформація про розподіл полігонів/звалищ ТПВ в Україні за областями

Мінрегіон України обліковує сміттєзвалища і полігони ТПВ за такими параметрами: назва полігона (сміттєзвалища), фактична адреса, власник, балансоутримувач, наявність проекту полігона, проектна потужність існуючого об'єкта, площа земельної ділянки, рік введення в експлуатацію, обсяг ТПВ, захоронених від початку експлуатації, щорічна потужність існуючого об'єкта, перевантаженість об'єкта, відповідність об'єкта нормам екобезпеки, потреба у паспортизації об'єкта, потреба у рекультивації, наявність системи збирання і знезараження фільтрату, наявність системи з вилучення та утилізації газу, тариф на захоронення ТПВ та інші. На наш погляд серед цих даних потребує уточнення облік об'єму побутових відходів, захоронених від початку експлуатації, оскільки незрозуміло яким способом отримані такі значення.

Через неналежне відношення до сфери поводження з ТПВ в населених пунктах, як правило у приватному секторі, щорічно виявляють понад 30 тис. несанкціонованих звалищ, що займають площу 0,89 тис. га, з них ліквідовано у

2017 р. понад 29,8 тис. несанкціонованих звалищ площею 0,79 тис. га [55].

У 2016 р. на сайті Міністерства екології та природних ресурсів України розміщено інтерактивну карту сміттєзвалищ (Рис. 1.3) та мобільний додаток, що дає можливість громадянам надіслати звернення з геоприв'язкою та фотоматеріалами виявлених несанкціонованих сміттєзвалищ.

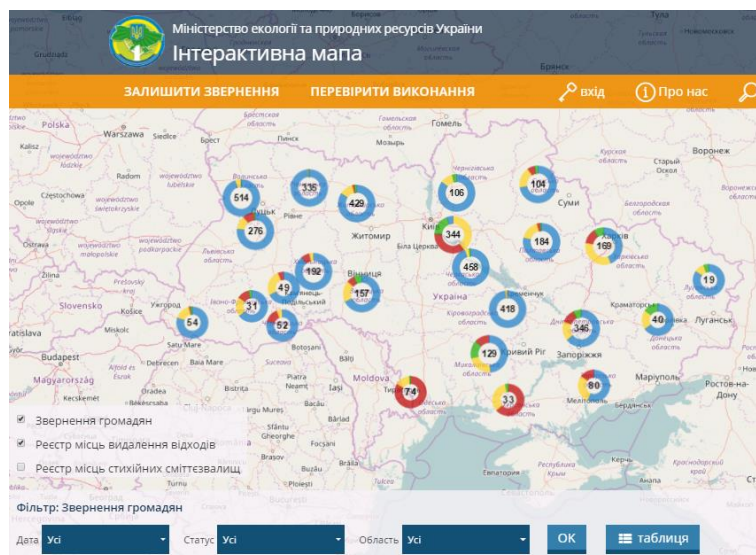


Рис. 1.3. Інтерактивна карта сміттєзвалищ, створена Міністерством екології та природних ресурсів України

Міністерство повинне забезпечити оперативне надходження такої інформації до місцевих органів влади, які відповідають за своєчасну ліквідацію таких сміттєзвалищ. Окремими шарами на карті показано дані реєстру місць видалення відходів та місць сміттєзвалищ, але подекуди на карті не відображено навіть великі полігони [24].

Існує декілька класифікацій відходів. Згідно з державним класифікатором України 005-96 [14] тверді промислові відходи класифікуються за такими ознаками: галузями промисловості, конкретними виробництвами, здатністю до горіння, методами переробки, можливостями переробки та рівнем небезпеки. Т. Довга запропонувала класифікацію побутових відходів за: агрегатним станом, сферою та джерелом утворення, об'ємом, рівнем шкоди для довкілля, сферою надання послуг і джерелами утворення [16]. Класифікацію муніципальних відходів в екологічному контексті запропонували науковці Одеського державного екологічного університету [53].

Оскільки на полігони ТПВ, (не) санкціоновані сміттєзвалища можуть транспортувати і захоронювати не лише побутові, а й промислові відходи, нами запропоновано класифікацію, яка відображає реальний стан при розміщенні відходів. (Рис. 1.4).

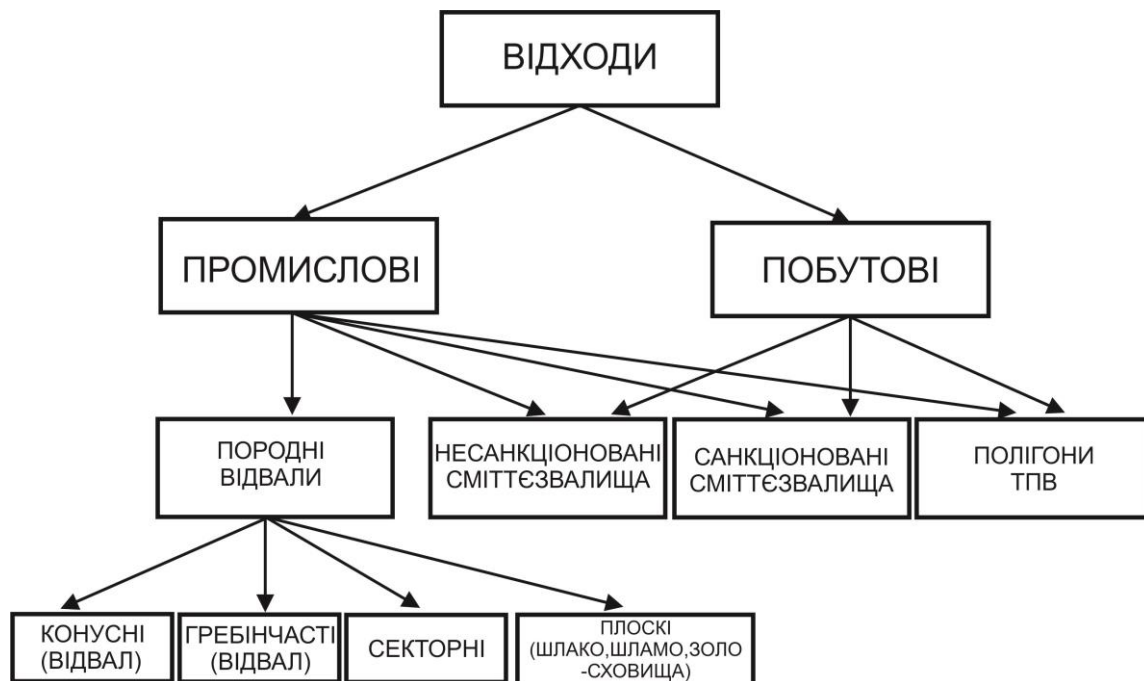


Рис. 1.4. Класифікація розміщення відходів

Згідно з цього нами виділено такі об'єкти: полігон ТПВ, (не) санкціоновані сміттєзвалища, породні відвали (шлако, шламо, золосховище). Важливим при дослідженні об'єктів розміщення відходів є визначення їхніх геометричних параметрів, які будуть визначальними при оцінці екологічних наслідків під час їхнього функціонування. У результаті технологічних процесів формуються породні відвали, параметри яких визначають ступінь їх екологічної небезпеки. До них відносять: висоту відвалу, площу основи та об'єм відвалу [27, 28].

Діяльність у сфері поводження з відходами регулюється: законами України «Про відходи», «Про охорону земель», «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», розпорядженнями Кабінету міністрів України, зокрема «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року»; наказами Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, Міністерства з питань житлово-комунального господарства

України, Міністерста охорони здоров'я України, державними будівельними нормами «Проектування. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» та іншими.

Закон України «Про відходи» визначає, що відходи – це будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворилися у процесі виробництва чи споживання, а також товари (продукція), що повністю або частково втратили свої споживчі властивості і не мають подальшого використання за місцем їх утворення чи виявлення, і від яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення. Захоронення побутових відходів дозволяється тільки на спеціально обладнаних для цього полігонах/звалищах, де спеціально відведеними місцями чи об'єктами є місця розміщення відходів, сховища, полігони, комплекси, споруди, ділянки надр тощо, на використання яких отримано дозвіл спеціально уповноважених органів на видалення відходів чи здійснення інших операцій з відходами [19]. Закон України «Про охорону земель» направлений на запобігання і зменшення обсягів утворення відходів та екологічно безпечне поводження з ними, а також забороняється несанкціоноване скидання і розміщення відходів у підземних горизонтах, на території міст та інших населених пунктів, на землях природно-заповідного та іншого природоохоронного, оздоровчого, рекреаційного та історико-культурного призначення, у межах водоохоронних зон та зон санітарної охорони водних об'єктів [21]. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», визначає компетенції органів виконавчої влади (сільських, селищних, міських рад) у галузі охорони навколишнього природного середовища, які зобов'язані організувати розробку місцевих екологічних програм, організувати збір, переробку, утилізацію і захоронення відходів на своїй території, брати участь у проведенні моніторингу стану навколишнього природного середовища, а також брати участь в розподілі коштів від екологічного податку [22]. Іншим органом до 29 березня 2017 р., який здійснював контроль в сфері поводження з відходами, була державна санітарно-епідеміологічна служби, що видавала висновки експертизи щодо об'єктів поводження з відходами, здійснювала

методичне забезпечення та контроль під час визначення рівня небезпечності відходів [20]. Серед основних рекомендацій Міністерства ЖКГ України по системі моніторингу у сфері поводження з ТПВ є: спостереження за захороненням ТПВ, аналіз даних про ТПВ і об'єкти поводження з ними, підвищення повноти, достовірності, оперативності і якості інформаційного обслуговування сфери поводження з ТПВ, забезпечення аналітично-інформаційної підтримки прийняття рішень з управління сферою поводження з ТПВ, забезпечення обґрунтованої оцінки екологічних ризиків щодо майбутньої експлуатації полігонів ТПВ та заходів з їх закриття і рекультивації [43]. Також певні повноваження поширюються і для інших міністерств і відомств. У наказі Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць» відмічено, що побутові відходи, що не підлягають утилізації, повинні знешкоджуватись на спеціалізованих підприємствах або захоронюватись на спеціально обладнаних для цього полігонах/звалищах [41]. Кожен полігон ТПВ повинен відповідати зразку санітарно-технічного паспорта полігона ТПВ, де вказано таку інформацію: назва, місце розташування, власник полігона, дані та рішення про відведену для полігона земельну ділянку, геоморфологічні, гідрогеологічні особливості рельєфу, склад захоронених відходів (промислові, побутові, будівельні), черги введення пускових комплексів полігона за роками його експлуатації, ділянка складування (котлован, траншея, каскад дамб, їх глибина, ширина, довжина, площа дна, висота дамб тощо), протифільтраційний екран дна і укосу та інші [42]. Нормативно-технічні документи визначають значення щільності ТПВ в Україні, що різняться від 0,165 до 0,23 т/м³ (Чернігів 190 кг/куб. м, Київ 200 кг/куб. м, Суми 180 кг/куб. м, Львів 165 кг/куб. м). Згідно [44] щільність утворення ТПВ для упорядкованих будинків становить 128,00-216,00 кг/куб. м, а для будинків приватного сектора, включно з сільською місцевістю – 209,00-329,00 кг/куб. м.

Розпорядженням Кабінету міністрів України «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» відзначено, що значні масштаби ресурсокористування та енергетично-сировинна спеціалізація

національної економіки разом із застарілою технологічною базою визначають великі нагромадження відходів, що призводять до поглиблення екологічної кризи і загострення соціально-економічної ситуації в суспільстві [45].

Виконання топографо-геодезичних робіт передбачено лише в ДБН В.2.4-4:2010 «Проектування. Полігони зі знешкодження та захоронення токсичних відходів. Основні положення проектування», в якому зазначено, що на ділянці території, виділеній під полігон ТПВ, повинні бути виконані комплексні вишукування. Останні включають *топографо-геодезичне знімання*, геологічні, гідрогеологічні, гідрологічні, екологічні та санітарно-гігієнічні дослідження [46].

Згідно з ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» для полігону ТПВ передбачено ведення моніторингу і контролю стану підземних і поверхневих водних об'єктів, атмосферного повітря, ґрунтів і рослин, шумового навантаження в зоні можливого негативного впливу полігону ТПВ [47]. При розрахунку площі ділянки складування ТПВ враховують низку чинників, а саме: термін експлуатації полігону, середню чисельність населення, що обслуговується, середню висоту складування ТПВ. Кількість населення, і відповідно ТПВ постійно зростає, тому полігон в процесі експлуатації з часом може не відповідати санітарно-епідеміологічним та екологічним нормам. Це також стосується і терміну функціонування полігону ТПВ. Саме тому виникає необхідність моніторингу полігонів ТПВ виконанням геодезичних досліджень.

Відповідно до «Правил з технічної експлуатації полігонів твердих побутових відходів» полігон твердих побутових відходів – інженерна споруда, яка призначена для захоронення ТПВ і повинна запобігати негативному впливу на навколишнє середовище і відповідати санітарно-епідеміологічним і екологічним нормам [40], а також запобігати розвиткові небезпечних геологічних процесів і явищ [47]. В Українській РСР під звалищем розуміли територію, на якій ТПВ складують без виконання санітарних вимог, а під полігоном – територію, на якій ТПВ складують відповідно до санітарних вимог [59].

Під терміном полігон ТПВ вважають спеціалізовану інженерну споруду,

розроблену відповідно до проекту із врахуванням вимог чинного законодавства. На ньому відбувається захоронення ТПВ та повинен бути забезпечений захист від забруднення атмосфери, ґрунтів, поверхневих та ґрунтових вод, а також статична стійкість ТПВ з урахуванням динаміки ущільнення, мінералізації, газовиділення ТПВ. Однак більша кількість полігонів ТПВ не відповідають даним вимогам. Сміттєзвалища можуть бути як санкціонованими так і несанкціонованими. Санкціоновані сміттєзвалища є дозволені органами місцевої влади, на території яких вони розміщені. На них відбувається складування відходів, але сміттєзвалища не облаштовані відповідно до санітарних норм та правил і експлуатуються з порушенням норм чинного законодавства. Здебільшого вони закриваються або облаштовуються в полігони ТПВ. Несанкціоновані сміттєзвалища – це здебільшого території, які використовують для складування відходів, але не призначені для цього. На них відбувається самовільне скидання відходів здебільшого в результаті діяльності юридичних та фізичних осіб об'ємом понад 30 куб. м та площею понад 50 кв. м [39]. Окремі науковці сміттєзвалищем вважають несанкціоноване розміщення відходів суцільним тілом або окремо розташованими осередками відходів об'ємом понад 10 м³ або площею понад 200 м² [50].

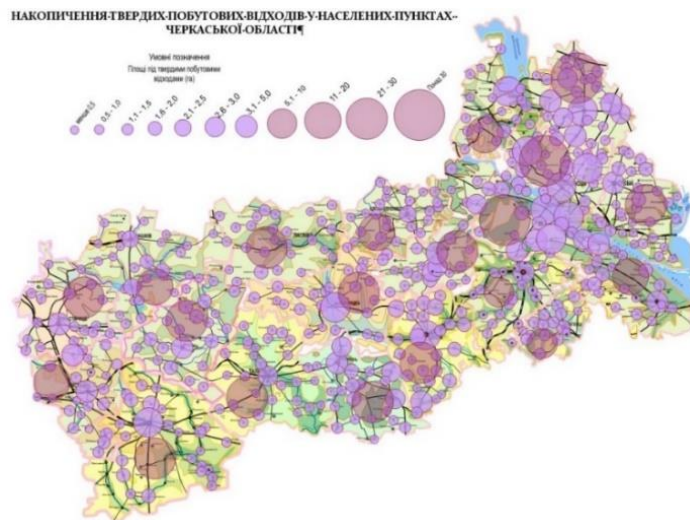
У дійсності важко відрізнити полігони ТПВ та сміттєзвалища, оскільки більшість полігонів експлуатується з порушенням вимог чинного законодавства.

В США чинною є вимога, що підприємство, яке займається експлуатацією полігону ТПВ, зобов'язане продовжити його моніторинг після рекультивації ще 15 років [110]. Агентством охорони навколишнього середовища США розробляються наукові положення щодо збільшення такого терміну понад 30 років, що уможливить врахувати широкий спектр належних умов для функціонування полігонів ТПВ [67, 66].

1.2. Стан досліджень розміщення відходів

Аналізуючи дані про площі, які зайняті полігонами ТПВ, Сосько С. побудовав картодіаграми, що дають можливість оцінити небезпеку потрапляння

продуктів розкладання в компоненти географічної оболонки, зокрема, в джерела водопостачання у населених пунктах Черкаської області [54] (Рис. 1.5). За даними ТПВ розрахованих на основі вагового методу нами спільно з Яремою Н. створено карти забруднення навколишнього середовища ТПВ (Рис. 1.6) [62].



В Україні перші дослідження сміттєзвалищ за допомогою методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) здійснило ДНВП «Природа», яке виконало аналіз розміщення полігонів ТПВ, закартографувало їх, дослідило динаміку змін розмірів полігонів та розробило геодинамічне районування території Київської області на основі космічних знімків [48].

Ідентифікацію несанкціонованих звалищ ТПВ із застосуванням автоматизованих методів пошуку та дешифрування виконала Доманська М. При дослідженні було використано модулі аналізу й опрацювання цифрових знімків в програмному продукті ERDAS Imagine [17]. Вплив Васильківського сміттєзвалища на довкілля за допомогою засобів ДЗЗ та ГІС-технологій оцінив Греков Л. [13].

Теоретичні засади розроблення методів і геоінформаційних моделей космічного моніторингу сміттєзвалищ для аналізу проблем екологічного характеру, проведення екологічних експертиз об'єктів, вирішення технічних питань рекультивації земель, планування заходів по ліквідації негативних впливів сміттєзвалищ на складові навколишнього природного середовища опрацювали Бутенко О., Красовський Г., Красовська І. [6].

Практичне застосування методів ДЗЗ та ГІС-технологій як складових інструментарію державної системи екологічного контролю за станом довкілля опрацювала Новохацька Н. Авторами розроблено моделі та методи комплексної оцінки, аналізу, прогнозування та інвентаризації наявних сміттєзвалищ при формуванні реєстру місць захоронення відходів в Київській області [38].

Виявлення, картографування та встановлення закономірностей просторового розміщення сміттєзвалищ на території Київської області за даними ДЗЗ виконали також Тішаєва А. і Томченко О. [57].

Широкого поширення набули дослідження з використанням ГІС-інструментарію. Рябов Ю. розробив геоінформаційну систему моніторингу земель, порушених несанкціонованими сміттєзвалищами, яка була апробована в 5 районах Свердловської та Ленінградської областей Російської Федерації. Використовуючи космічні зображення високого розрізнення, польові дослідження

та врахувавши низку чинників (відстань до автомагістралей, другорядних автошляхів, будівель, кар'єрів, місцезнаходження лісів, водойм, щільність забудови територій), створено прогнозну карту місць виникнення несанкціонованих сміттєзвалищ на основі ГІС-технологій [51]. Виявлення сміттєзвалищ та полігонів ТПВ в Ленінградській та Архангельській областях Росії виконала Бровкіна О. На основі даних ДЗЗ вона розроблила методику автоматизованого розпізнавання сміттєзвалищ (полігонів ТПВ), що дає можливість визначити їх характеристики (площа, координати знаходження), морфологічний склад та класифікувати їх за ступенем негативного впливу на навколишнє середовище. За результатами аерофотознімання станом на 2007 р. створено карту антропогенно змінених ландшафтів частини Архангельської області «Несанкционированные свалки» [3].

Актуальними є приклади досліджень зі створення баз даних у поєднанні з інформацією екологічного моніторингу. Розроблення та впровадження бази даних полігону ТПВ в с. Софрони Пермської області (Росія), для створення якої використано аерофотознімки високого розрізнення, дані топографічного знімання в масштабі 1:10 000 та результати лабораторних дослідів, виконав Зайцев А. Створена БД в поєднанні з ГІС дала можливість більш проводити аналіз інформації про стан компонентів моніторингу (атмосферне повітря, ґрунти, підземні і поверхневі води та ландшафтні спостереження) [18].

З використанням БД досліджують сферу поводження з відходами, яка включає в себе збирання та вивезення відходів. У Житомирському державному технологічному університеті розроблено систему планування, організації й керування процесами перевезення ТПВ у м. Житомирі. Створена локальна спеціалізована ГІС складається з двох частин. Одна картографічна – включає тематичні шари (вулична мережа, водні об'єкти, житлові і промислові будівлі, сміттєзбірних майданчиків, місця несанкціонованих звалищ, а також позначки сміттєпереробних пунктів), а друга – забезпечує розрахунково-аналітичні функції, для розрахунку найкоротшого шляху до точки збору сміття та інше [23].

Поширеним способом є використання ГІС-технологій в поєднанні з іншими

засобами для вибору найбільш оптимальних місць складування відходів. Вибір таких ділянок залежить від низки факторів, зокрема екологічних, геологічних, географічних і різного роду нормативно-правових актів. Серед досліджень, що поєднують використання ГІС та даних ДЗЗ, відзначимо такі: Аль-Ханбалі (А. Al-Hanbali) [63], Басавараджапа Т. (Basavarajappa T.), [69], Нас Б. (Nas B.), [103], Ірхоума Д., (Irhoumah D.) [87]. ГІС та аналітичні методи у дослідженнях використовують Джоканович С. (Djokanović S.), [76], Шахабі Х. (Shahabi X.), [113], Сурешкумар М. (Sureshkumar M.), [119], Ісса С. (Issa S.), [88].

1.2.2. Методи та способи отримання даних для визначення параметрів об'єктів розміщення відходів

Для дослідження параметрів об'єктів розміщення відходів в сучасних умовах застосовують **безконтактні (методи дистанційного зондування Землі ДЗЗ та картографічний метод), контактні (ГНСС спостереження, тахеометричне знімання, наземне лазерне сканування, наземне цифрове знімання) методи** та інші [31].

1.2.2.1. Безконтактні методи (ДЗЗ)

ДЗЗ дає змогу отримати інформацію про об'єкти, явища і процеси, які відбуваються на земній поверхні, а також поблизу цієї поверхні в атмосфері, в ґрунті і воді без прямого контакту з об'єктом [5].

Аерофотознімання. Однією з перших робіт, в якій використано дані аерофотознімання для визначення межі полігонів ТПВ, їх морфометричних характеристик і кількості відходів є дослідження Гарофало Д. (Garofalo D.). Дана методика може застосовуватись для збільшення місткості захоронення відходів ТПВ на полігонах і сміттєзвалищах [83].

Визначення місцезнаходження, площі та змін до об'єктів небезпечних відходів, в історичній ретроспективі за аерофотознімками з першої ХХ ст. провів Брісілс Г. (Brilis G.) з агентства з охорони навколишнього середовища США [70].

Аналіз аерофотознімків полігону ТПВ з Національного архіву США на 1938, 1958, 1968 та 1978 рр., виконаних в стерео та панхроматичному режимі в масштабі до 1:20 000, здійснили науковці під керівництвом Ерба Т. (Erb T.).

Однак автори не встановили параметри полігону (межа, об'єм) [79].

Подібними є дослідження Філіпсона В. (Philipson W.) [106], Сангрея Д. (Sangrey D.) [111], Тітуса С. (Titus S.) [120], Ліона Дж. (Lyon J.) [97], Стохра С. (Stohr C.) [118], в яких проведено моніторинг та управління відходами з використанням матеріалів аерофотознімання та різного роду даних ДЗЗ.

Дані аерофотознімання застосовують і для з'ясування правових відносин [94, 116]. За матеріалами аерофотознімання 1918 – 1927 рр. Слонекер Е. (Slonecker E.) отримав інформацію про зберігання, випробування та утилізацію відходів [115].

Поєднання даних аерофотознімання (1950, 1958 та 1964 рр.) та мультиспектральних знімків Landsat дало можливість розробити методику визначення та картографування несанкціонованих звалищ в історичному вимірі. Результати таких досліджень унаочнюють морфологічні зміни ландшафту, територій прилеглих до полігону небезпечних відходів [117].

Систему комплексних інвентаризаційних заходів для (не) санкціонованих сміттєзвалищ, відкритих та закритих полігонів ТПВ опрацював Барнаба Е. (Barnaba E.). Запропонований ним комплекс включає: заходи попереднього обстеження територій, інформаційні опитування населення, придбання аерофотознімків, аналіз аерофотознімків та геоприв'язку. Подальший аналіз аерофотознімків і реалізацію програми моніторингу для виявлення і класифікації полігонів ТПВ [68].

Ще однією сферою використання даних ДЗЗ є отримання в стереорежимі ЦМР для розрахунку прогнозу стоків поверхневих вод, вимірювання об'єму води, яка може зберігатися в спеціально відведених місцях та на поверхні полігону, а також при виконанні розрахунку об'ємів відходів, що захоронені на полігоні [124].

Все більше застосування набуло поєднання різних методів дослідження полігонів ТПВ. У роботі Попе П. (Pope P.) подано шість різних методів (історичне аерофотознімання, багатоспектральне і теплове інфрачервоне знімання, геофізичні, сейсмічні рефракції), дослідження полігону ТПВ траншейного типу. В результаті всі вихідні матеріали були поєднанні в ГІС, яка об'єднала дані з різних

методів [78].

Космічне знімання. Однією з перших робіт, в якій використано дані космічного знімання для моніторингу полігону Аль- Курейн (Al-Qurain, Кувейт), було дослідження Квартенга А. (Kwarteng A.) та Аль-Енезі А. (Al-Enezi A.). Використовуючи космічні знімки Landsat, IKONOS вчені визначили динаміку змін параметрів полігону ТПВ упродовж 1972 - 2000 рр. Ними встановлено збільшення температури поверхні полігону в порівнянні з прилеглими районами [9292].

Подібну методику використали турецькі вчені Секер Д. (Seker D.), Кая С. (Кауа S.) для моніторингу полігону ТПВ в Стамбульській агломерації. На основі космічних знімків IRS 1C PAN та IKONOS MS було визначено зміну площі та об'єму полігону ТПВ у період з 2000 р. до 2004 р. Дослідники створили ЦМР, яка надала можливість проаналізувати тенденцію розвитку полігону. Виявлено просторові та тимчасові часові зміни полігону ТПВ [112].

На основі різночасових космічних стереознімків китайський вчений Квінгшенг Л. (Qingsheng L.) проаналізував динаміку зміни площі полігону міста Цзяочжоу (Jiaojiapo Waste Landfill, Китай). Встановлено, що використання даної методики та космічних знімків є корисним для оперативного моніторингу динамічної зміни сміттєзвалищ відходів [108].

Географічний розподіл і збільшення об'єктів захоронення ТПВ на території Краснодарського краю (Росія) дослідив у дисертаційній роботі Ліпілін Д. Автор виконав аналіз картометричних змін параметрів полігонів ТПВ і сміттєзвалищ упродовж 2002–2013 рр. [30]. Встановлення факту зменшення кількості територій, зайнятих рослинністю, водно-болотними угіддями, водними об'єктами у мегаполісі Дакка (Бангладеш), впродовж 1960-2005 рр. на основі топографічної карти та космічних знімків високого та середнього розрізнення Landsat, IKONOS, SPOT провів Деван А. (Dewan A.). Дослідник зазначив, що збільшення кількості міських територій з 11 % (1960 р.) до 344 % у (2005 р.) призвело до аналогічного збільшення кількості полігонів ТПВ на 256 % [75].

Слід зауважити, що у більшості опрацьованих публікацій зазначено стійку

тенденцію до збільшення площ, які зайняті під полігонами ТПВ і (не) санкціонованими сміттєзвалищами, та їх об'ємів.

Використання космічних знімків, отриманих з сервісу SAS PLANET, надало можливість встановити зміни меж двох полігонів ТПВ в м. Алмати (Казахстан) за період 2003-2016 рр. Створено карти зміни меж 5 несанкціонованих сміттєзвалищ. Для полігону Карасай простежується тенденція до зменшення площі, який через розташування в безпосередній близькості до міста був закритий як такий, що не відповідає санітарним нормам [89].

Розширені можливості для досліджень полігонів ТПВ (сміттєзвалищ) і сфери поводження з відходами надають мультиспектральні космічні знімки [107, 71, 82].

Мульти- і гіперспектральні космічні знімки застосував Манзо С. (Manzo С.) для аналізу стану впливу на навколишнє середовища полігону ТПВ, що знаходиться на південний-схід від Національного парку Везувій (Італія) [98].

На ділянках складування ТПВ постійно відбуваються зміни температурних режимів, що також потребують контролю. Файсал К. (Faisal К.) на основі мультиспектральних знімків Landsat встановив, що температура поверхні полігону Трейл Роуд (Trail Road Landfill, Канада) в середньому на 10 °С вища, ніж температура повітря [80]. Схожі дослідження, що стосуються температури ділянок складування відходів, також подано в працях Іакобоае С. (Iacoboaе С.) [86], Шакер А.,(Shaker А.) [114].

Безпілотні літальні апарати (БПЛА). З кожним роком знижується собівартість конструювання БПЛА та збільшується кількість програмних продуктів для опрацювання даних, отриманих за допомогою БПЛА. Функціональні можливості таких програмних продуктів та веб-сервісів, таких як ARC3D, AgiSoft Photo Scan, Bundler, Microsoft Photosynth, Patchbased Multi-view Stereo Software Version 2 використовують для автоматичного генерування хмари точок з отриманих зображень [64].

Аерознімання з БПЛА для полігону ТПВ Скапігліато (Scapigliato, Італія) площею близько 480 000 м² виконав колектив італійських науковців на чолі з

Гасперіні Д. (Gasperini D.). У результаті виконання польових та камеральних робіт отримано ЦМР та ортофотоплан з точністю 2,8 см в плані та 0,5 м по висоті. ЦМР порівняно з моделями, створеними за допомогою теодолітного та лідарного знімання. Встановлено, що використання БПЛА є більш гнучким та продуктивним, ніж два інші методи з аналогічною точністю [84].

Використання двох способів проведення моніторингу полігону ТПВ Крістешть (Cristesti, Румунія): вимірюванням з GPS приладами та технологією БПЛА - надало можливість порівняти результати точності двох методів. Технологію БПЛА визнано більш універсальним способом проведення моніторингу полігонів ТПВ чи сміттєзвалищ. Результатом робіт авторів є отриманий ортофотоплан та 3D модель місцевості полігону [101].

Використовуючи цифрову 80 мегапіксельну мультиспектральну камеру Leica RCD30 на БПЛА, компанія «Aures Associates» виконала аерознімання на 21 полігонах ТПВ, що розташовані в семи штатах США. Окрім створених ортофотоплану та ЦМР, дослідники створили топографічні плани для інженерних вимірювань площі, об'єму, побудови профілів, що дає можливість отримати характеристики під'їзних шляхів, схеми будівництва, розташування ЛЕП [104].

Згідно з вимогами австралійського Агентства з охорони навколишнього середовища на місцях складування відходів повинен відбуватися моніторинг полігонів ТПВ за обсягами наповнення відходами. Так для полігону Беронга (Berronga, Австралія) традиційно використовувався такий метод як ГНСС-вимірювання загального об'єму. Альтернативним методом до ГНСС-вимірювання стало аерознімання з БПЛА, в результаті авторами згенеровано ортофотоплан з 350 фотографій, побудовано ЦМР полігону ТПВ, через рік здійснено повторне знімання і знайдено різниці площі [100].

Виконання аерознімальних робіт в штаті Мен для картографування полігону ТПВ з використанням БПЛА надало можливість отримати 3D модель, ортофотоплан і топографічний план полігону ТПВ та прилеглих територій, однак в дослідженні відсутня інформація про точність отриманих матеріалів [49].

Картографічний метод базується на використанні докладних

топографічних карт. Векторизований (напівавтоматично або автоматично) з карти рельєф дає можливість проводити будь-які вимірювання та обчислення. За допомогою карт можна визначати різного роду характеристики: географічні та прямокутні координати, площі, об'єми, довжини ліній, вертикальні та горизонтальні кути [2].

1.2.2.2. Контактні методи

ГНСС - знімання. Дані топографічного знімання, отримані методом кінематики реального часу (RTK), дали можливість визначити об'єм відходів на полігоні Гізела (м. Тімішоара, Румунія). Використання цієї ГНСС-станції забезпечило визначення топографічної поверхні полігону з точністю 0.01-0.02 м. Проте зазначимо, що в дослідженні не вказано з якою дискретністю було виконано ГНСС-спостереження та як це вплинуло на точність визначення об'єму [72].

Методологія і алгоритм розроблення 3D-моделі полігону ТПВ з використанням ГНСС-приймачів, а також програмного забезпечення для управління простором полігонів ТПВ запропонували Цернг Г. (Tserng H.) та Рассел Дж. (Russel J.) [121]. Авторами встановлено базову станцію, яка надає поправки на ГНСС-приймачі, які встановлені на ущільнювачах та бульдозерах, та забезпечує точність близько 10 см при захороненні ТПВ.

Дані *наземного лазерного сканування (НЛС)*, використані для побудови ЦМР полігонів ТПВ, дають можливість виявлення та моніторингу утворення біогазу. На прикладі порівняння побудованих різночасових ЦМР полігону ТПВ міста Форбаска (Швеція) встановлено дві значні зміни висоти поверхні -0.027 та +0.019 м, які, на думку авторів, спричинені утворенням біогазу [109].

Виконання наземного лазерного сканування дало можливість отримати 3D-моделі, що в подальшому були використані для моніторингу і аналізу наслідків зсуву сміття на полігоні ТПВ [105]. Застосування даних НЛС з використанням шести різних сканерів на діючому зсуві в північній Каліфорнії (2005 - 2012 р.) уможливило встановити 2D переміщення, які становили 0.01-0.012 м з відносною помилкою менше 5% [65]. Моніторинг протягом 25 років зсуву (Сечілієнн,

Франція) з використанням тахеометричного, радарного та НЛС із 7 серій (2004-2007 рр.), дав змогу контролювати тривимірне переміщення всієї відсканованої території. З цього послідовного моніторингу встановлені межі обвалів і зроблено висновок про рух зсуву уздовж основних геологічних структур [91].

З розвитком таких сучасних технологій як *НЛС, ГНСС-спостереження* менш запитуваним для наших цілей стають традиційні *тахеометричне знімання та наземне цифрове знімання (НЦЗ)*. Можемо лише згадати дослідження Гарасимчука І.Ф., який виконав тахеометричне знімання для визначення об'єму ґрунту на Яворівському гірничо-хімічному підприємстві «Сірка» [8].

Ваговий спосіб. Серед основних фізичних властивостей ТПВ є щільність та компресійність. Щільність відходів залежить від морфологічного складу ТПВ і від сезонних змін складу ТПВ, що характеризуються збільшенням харчових відходів з 20-25% весною та 40-55% восени. Маючи дані про щільність ТПВ та облік даних про завезені ТПВ, можна досить простим та недорогим способом визначити об'єм накопичення відходів на полігонах. Але враховуючи те, що здебільшого в Україні на полігонах ТПВ чи на (не) санкціонованих сміттєзвалищах паралельно відбувається збір вторинної сировини сторонніми особами, здійснення контролю визначення об'єму на основі вагового методу слід виконувати з використанням геодезичного обладнання. У рамках проекту «Сталий менеджмент утворення біогазу на полігонах ТПВ» Хелмар О. (Hjelmar O.) представив дослідження, яке поєднує дані про захоронення відходів на полігоні впродовж 1980-2009 рр. на основі вагового методу [85].

Траншейний спосіб. Для визначенні об'єму полігонів ТПВ траншейний метод застосовують досить рідко. Метод базується на тому, що на певній ділянці виривають траншею та виконують її обміри. У подальшому в неї захоронюють відходи та виконують спостереження за наповненням її обсягу Рис. 1.7 [122].

Використання цього методу доцільне для малих за розміром ділянок та непридатне для захоронення великих обсягів відходів, тому що для створення великої траншеї необхідно виконати значний обсяг земляних робіт, що збільшить вартість використання такого методу.



Рис. 1.7. Траншейний спосіб [122]

Геофізичні методи. Загальною рисою практично всіх об'єктів розміщення ТПВ є наявність або металевих сміття, або вологи з високим рівнем біогазу. Це робить відходи електропровідними відносно суміжних природних ґрунтів або породи. Отже їх можна легко виявити і розмежувати за допомогою **електричних або електромагнітних (ЕМ) геофізичних методів**. Зокрема використання такого методу дає можливість визначити глибину та товщину об'єктів захоронення ТПВ

Рис. 1.8 [93].

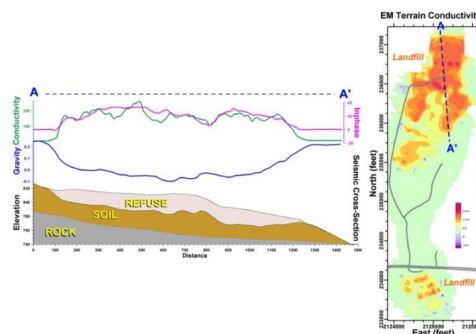


Рис. 1.8. Геофізичні методи [93]

Можливість застосування двох неактивних наземних методів геофізичного моніторингу, а саме наземного проникаючого радара та відбивної спектроскопії, досліджував Фер'є Д. (Ferrier G.) [81].

1.2.2.3. Досвід визначення об'ємів відходів

Отримання даних для визначення об'єму можливе за допомогою геодезичних та аерокосмічних методів, що мають переваги та недоліки. Точність визначення об'єму залежить від щільності вимірів, на основі яких буде побудовано ЦМР.

Гарасимчук І. запропонував оперативний метод визначення об'ємів ґрунту, що дає змогу швидко, якісно й точно визначати об'єми у 2-3 рази зменшувати затрати часу й коштів на виконання польових і камеральних робіт. На експериментальній ділянці проведено геометричне нівелювання, за результатами якого отримано ЦМР. У подальшому виконано знімання з використанням електронного тахеометра, в результаті обчислень запропоновано максимальну віддадь між пікетами для знімання встановити 15 м, а по лініях зміни ухилів її зменшити вдвічі [8].

Методику розрахунку об'ємів складів готової продукції бутощобеневої сировини опрацював О. Ващук. За даними тахеометричного знімання обчислено просторові координати пікетів знімання, за якими побудовано дві поверхні. Визначення об'єму виконане в програмі AutoCAD Civil 3D 2012 способом вертикальних паралельних перерізів, розбиття насипу на правильні геометричні фігури та об'ємної палетки П.К. Соболевського. Встановлено, що ближчими значеннями до еталонного є спосіб розбиття на найпростіші геометричні фігури та спосіб вертикальних паралельних перерізів із відстанню між перерізами 5 м з відхиленням значень об'ємів відповідно 0,481 та 0,622 % [7].

Для визначення об'ємів відходів полігону ТПВ словенським науковцем Урбанчік Т. (Urbančič T.) виконано аерознімання з БПЛА Microdrone MD4-1000. Для експериментів було обрано 3 ділянки з приблизними об'ємами від 10 000 до 50 000 куб. м. Авторами для експерименту було вибрано досить невеликі об'єкти, серед яких і котлован правильної форми, що спрощує задачу обрахунків [123].

Порівняння об'єму відвалу на основі фотограмметричного методу отримання даних та ГНСС методу дали можливість встановити розходження об'єму між цими моделями, яке складає менше 1 % при загальному об'ємі 530 255 куб. м, площі поверхні 71 250 кв. м та середній висоті 7 м [74].

Подібну методику з використанням БПЛА запропонували розробники програмного забезпечення Pix4Dmapper для двох майданчиків (відвал гравію) трапецієподібної форми висотою 7 - 10 м. З допомогою ГІС обчислено відносний об'єм [77]. За початкову поверхню використано теоретичну поверхню, яка

створена на основі точок, що знаходяться на краях досліджуваного відвалу (Рис. 1.9).

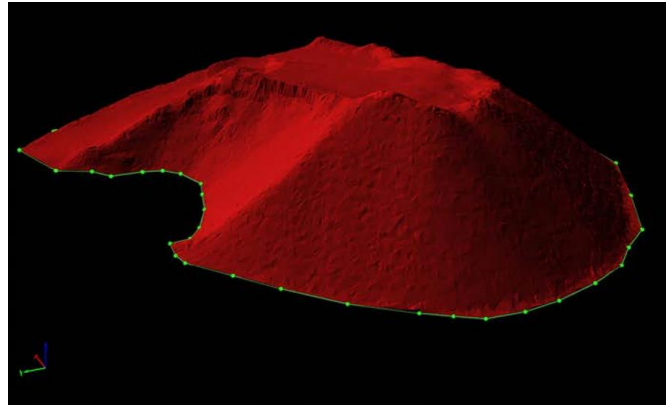


Рис. 1.9. Розташування точок для побудови теоретичної поверхні

Lee Y, запропонував метод обчислення об'єму ТПВ з використанням хмари точок, отриманої за допомогою стереовимірювань зображень. Цей метод може бути використаний для безперервного моніторингу і для оцінки корисного терміну функціонування полігону. Однак в дослідженні не зазначено, що використано в якості початкової поверхні та які числові параметри зміни об'єму [95].

Продовженням досліджень із застосування БПЛА є праці німецького науковця Маєра В. (Maug W.), котрим створено ЦМР, визначено об'єм та проведено моніторинг зміни об'ємів сміттєзвалища з використанням БПЛА масою до 5 кг. Учений запропонував технологію аерознімальних робіт та навів низку прикладів зі створення 3D-геопросторової інформації полігону ТПВ, що описують з високою деталізацією існуючі об'єкти [99]. Мидура Р. (Mudura R.) з групою авторів запропонували методику визначення об'єму відходів для полігону Крістешть (Румунія) за допомогою ПП Agisoft PhotoScan. Ними створено ортофотоплан та 3D модель місцевості, що дало змогу визначити площу та об'єм полігону [101].

Не менш поширеним способом є встановлення системи моніторингу з використанням НЛС. Досвід такої системи для полігону Ансён (Південна Корея) забезпечив безперервний моніторинг, можливість обчислення об'єму відходів та змогу виконувати прогнозу оцінку тривалості функціонування полігону [73].

Застосування супутникових даних, зокрема використання SAR інтерферометрії для моніторингу зміни об'єму відходів полігону Ліосіа (Греція), досліджував Каратанассі В. (Karathanassi V.). Дослідник виділив ділянки складування відходів, для яких було досліджено зміну площі та об'єму полігону. Додатково були побудовані профільні лінії, які дали можливість прослідкувати нашарування відходів у продовж 2003-2004 рр. [90].

Крім вимірювання характеристик площ звалищ за поодинокими космічними знімками сучасні системи ДЗЗ дають можливість вимірювання висоти тіла звалища (точність до 1 м), а також розрахунку об'єму складованого сміття за рахунок виконання зйомки в стереоскопічному режимі [9]. Зазначимо, що у всіх методиках здебільшого визначається відносний об'єм на відповідний період, за початкову поверхню автори беруть теоретичну базову площину (горизонтальну), яку задають так, що не враховує особливостей ділянок (рельєф), де відбувається складування відходів, що відповідно спрощує задачу обчислення об'єму.

Що стосується точності визначення об'ємів ТПВ, то в Україні та Європі такі вимоги відсутні. Натомість у США станом на 1995 р. департамент ресурсів, утилізації і відновлення штату Каліфорнія використовував рекомендації до вимог і методів визначення об'ємів відходів на полігонах ТПВ (Таблиця 1.1) [125].

Таблиця 1.1

Вимоги та методи до визначення об'ємів ТПВ (штат Каліфорнія 1995 р.)

Метод	Вартість	Точність	Тип полігонів	Розмір
Аерофотознімання	Найвища	10 %	Всі типи	Більше 10 га
Наземні методи	Середня (як правило менша ніж аеро-фотознімання для ділянок менше 4 га)	10-20 %	Всі типи	Менше 10 га
Ваговий (на основі зважування)	Низька (особливо після першого використання)	20-25 %	Всі типи	Для малих полігонів
Траншейний	Низька	5 %	Полігон траншейного типу	Будь який розмір

1.3. Класифікація методів і способів отримання даних для визначення об'ємів і площ полігонів ТПВ

На основі опрацювання літературних джерел та проведення власних досліджень нами розроблено класифікацію методів отримання даних для визначення об'ємів і площ полігонів (Рис. 1.10.). Дані методи можна поділити на безконтактні (*методи ДЗЗ*) серед яких аерокосмічні методи (аерознімання з літаків та БПЛА, космічне, радарне знімання, лазерне сканування повітряного базування), а також *контактні методи*: геодезичні (ГНСС-знімання, тахеометричне знімання, НЛС, НЦЗ, а також траншейний, ваговий, геофізичні способи [96].



Рис. 1.10. Класифікація методів та способів отримання даних для визначення площ та об'ємів ТПВ

Використання методики *НЛС* має свої переваги у швидкості та і точності отримання результатів. Однак це призводить до накопичення великої кількості даних (десятки мільйонів точок даних), що вимагає потужного комп'ютерного

забезпечення при опрацюванні. Разом із цим при виборі наземного лазерного сканера слід звернути увагу на його технічні характеристики і параметри (метод вимірювання відстані, параметри лазера, точність вимірювання відстані та кута, кут огляду, дальність вимірювання, швидкість та щільність сканування;). Наприклад: максимальна відстань сканування для сканера Faro Focus 3D є 120 м, а для Riegl VZ-6000 – 6 000 м. Важливою є вартість геодезичного обладнання (30 000-50 000 доларів США), так і наявність потужного комп'ютерного забезпечення [35].

Аналогічно в **НЦЗ** виникають труднощі у пошуку, надійному закріпленні опорних точок, а також досить складним є камеральний процес опрацювання, який зокрема вимагає досвідчених виконавців. При дослідженні параметрів можуть виникати критичні ситуації, пов'язані із загоранням відходів на полігонах ТПВ, (не) санкціонованих сміттєзвалищах. Точність даного методу є досить висока і становить $\pm 0,15$ м, даний метод дає можливість визначати тривимірні вектори руху певних ділянок. Використання даних **аерознімання** є ефективним засобом для дослідження полігонів ТПВ, (не) санкціонованих сміттєзвалищ з точки зору історичної ретроспективи, оскільки вони є чи не єдиним джерелем встановлення площі та об'єму, а також відстежування змін ландшафту місцевості функціонуючих урбосистем. Серед недоліків таких матеріалів є складність інтерпретації, оскільки їх здебільшого важко опрацьовувати через недостатню якість матеріалів (деформації, а й подекуди відсутність певних фрагментів знімка). Важливе значення для дослідження має надійність опорної мережі, яка може бути втрачена з плином часу (від 1 і більше років) або з виконанням будівельних робіт.

Основною з переваг використання **космічного знімання** є те, що знімки охоплюють значну площу території знімання та надають повну інформацію про стан місцевості функціонуючих урбосистем. Іншою перевагою космічного знімання є наявність архівних знімків з певною періодичністю (через декілька хвилин, годин, діб та років). За такими знімками можна прослідкувати тенденцію змін полігонів ТПВ, їх характеристик та параметрів. Серед основних недоліків

космічного знімання є висока вартість знімків, необхідність дорогого програмного забезпечення і наявність висококваліфікованих фахівців. Проте відповідно до поставлених задач можуть бути недостатніми точність цих знімків (від 0,5 – 3 м), якість знімка (наявність хмар при фотографуванні), а також відсутність панхроматичних, інфрачервоних знімків, стереопари.

Альтернативою до космічного та аерознімання є **використання БПЛА**, яке за рахунок своєї низької вартості (1 000-5 000 доларів США), оперативності виконання робіт (польові та камеральні роботи можуть зайняти близько 12 годин) дає можливість отримати досить точні матеріали (ортофотоплан та ЦМР із точністю від 0.1-1.00 м залежно від параметрів знімання). Проведення знімань з БПЛА забезпечить проведення моніторингу таких об'єктів в часі і буде безпечним з точки зору охорони праці та за рахунок своєї дистанційності.

Використання даних **радарного знімання та лазерного сканування повітряного базування** є інноваційним і найбільш перспективним із методів ДЗЗ. Їх переваги: можливість знімання в несприятливих погодних умовах (похмура погода, хмарність), можливість знімання вночі, достатньо висока точність (0,5-1,0 м). Однак вони мають певні недоліки: дороговартість продукції, наявність потужного комп'ютерного забезпечення, необхідність професійно навченого персоналу для опрацювання матеріалів, відсутність архівних матеріалів, необхідність знімання великих площ для рентабельності.

Серед переваг **тахеометричного та ГНСС знімання** слід зазначити відносно низьку вартість необхідного геодезичного обладнання, потреба незначної кількості виконавців (1-2 особи) невисоким рівнем підготовки, достатньо високу точність отриманих результатів ($\pm 0,1$ м). Серед недоліків таких методів є те, що їх слід використовувати для малих полігонів ТПВ, (не) санкціонованих сміттєзвалищ оскільки це трудомісткий та тривалий процес і робить його виконання небезпечним із точки зору охорони праці і техніки безпеки. Серед особливостей (недоліків) НЛС є також необхідність надійного орієнтування сканів з подальшим камеральним опрацюванням, а також геодезичне визначення місцеположення центрів знімання за допомогою ГНСС.

Перевагою *картометричного методу* є те, що на основі різночасових карт, можна прослідкувати динаміку змін того чи іншого об'єкта. Однак для цього методу визначальними характеристиками буде попереднє топографічне картографування територій (полігонів ТПВ), спосіб відображення рельєфу, масштаб, переріз рельєфу та інші характеристики карти. Також до переваг цього методу можна відмітити безпечність з точки зору охорони праці і техніки безпеки, необхідність затрати малої кількості трудових ресурсів.

Використання *вагового способу* можливе лише на облаштованих полігонах ТПВ на яких були проведені спеціальні заходи, де встановлені спеціальні автомобільні ваги для постійного обліку привезених ТПВ. Не доцільним буде використання вагового методу на сміттєзвалищах. Серед недоліків цього методу буде низька точність визначення об'єму відходів (20-25 %). *Траншейний спосіб* є найменш безпечним з точки зору екології, найкраще підходить для малих за розміром об'єктів і вимагає незначних капіталовкладень в процесі розміщення ТПВ. *Геофізичні методи* доцільно використовувати для малих сміттєзвалищ, однак використання даного методу можливе із використанням дороговартісної спеціальної апаратури із досить високою точністю порядку 1 м.

При визначенні площ та об'ємів *малих* (не) санкціонованих сміттєзвалищ, полігонів ТПВ краще використовувати геофізичний та траншейний методи, що за рахунок використання спеціальної апаратури та малих розмірів об'єкту буде ефективним засобом для моніторингу. А також таких геодезичних контактних методів, а саме ГНСС та тахеометричне знімання. Для середніх та великих за розмірами *полігонів ТПВ* краще використовувати знімання з БПЛА. Останні за рахунок мобільності, економічності здатні забезпечити отримання матеріалів (ортофотопланів та ЦМР) з високою точністю, що буде корисним для його оцінки. А також, зокрема за рахунок своєї дистанційності використання і з точки зору охорони праці, буде небезпечнішим у порівнянні з іншими контактними методами.

При наявності пари знімків при подальшому опрацюванні у стереорежимі може бути використане для отримання ЦМР самого об'єкту.

1.4. Сутність геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів

У перекладі з англійської моніторинг означає спостереження. Моніторинг за визначенням Манна Р. (Mann R.) – це система повторних спостережень одного чи більше елементів навколишнього природного середовища у просторі й часі з певними цілями відповідно до завчасно підготовленої програми [102].

Лященко А. та Патракеєв І. запропонували поняття *«геоінформаційний моніторинг»* – як технологію та автоматизовану систему планування й проведення моніторингу на основі інтегрування даних з різних джерел, моделювання, оцінювання та прогнозування стану об'єктів моніторингу в середовищі геоінформаційних систем із застосуванням баз геопросторових даних і баз знань» [32 С. 174]. При проведенні геоінформаційного моніторингу того чи іншого об'єкту, залежно від поставленої мети і виду інформації, застосовують різні види (статистичний, картографічний, графічний) аналізу. Вони можуть бути виконані як на локальному та регіональному, так і на глобальному рівнях. При проведенні геоінформаційного моніторингу слід виділити об'єкти, процеси, програму моніторингу, що зберігається та моделюється в базах геопросторових даних (БГД).

Шелковська І. на основі даних ДЗЗ, БГД, ГІС розробила систему геоінформаційного моніторингу земель прибережних територій водосховищ, що забезпечуватиме оцінку стану природного середовища [60].

Інший підхід використано при створенні геоінформаційної системи моніторингу стану шахтних виробок і порожнин Кривбасу з метою отримання прогнозу та запобігання утворенням провалів. До такої системи моніторингу надходить інформація результатів геофізичних досліджень, дані наземних маркшейдерських та геодезичних вимірювань і спостережень, даних ДЗЗ на базі космічних знімків та даних аерофотознімання з метою виявлення зсувних явищ, уточнення меж областей розуцільнення масивів гірських порід, зон можливих деформацій земної поверхні, зсувів та інше [15].

Створення системи моніторингу за екологічно-небезпечними об'єктами

може бути корисним для прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій. Порівняння різночасових даних ДЗЗ для моделювання можливих аварій, дасть змогу провести розрахунки зон ураження та визначити ступінь ризику і спланувати організаційні та технічні заходи для його мінімізації [29].

Гарифзяновим Р. виділено такі періоди життєвого циклу полігонів ТПВ: **активний період, закриття, рекультивація та подальший моніторинг** [9]. Іншу класифікацію визначає Щербина Е., де ним виділено: **пасивний період** (проведення інженерних досліджень на стадії обґрунтування інвестицій, виконання оцінки існуючого стану довкілля); **активний період** (створення, експлуатація, рекультивація полігонів); **пасивний період** (закриття полігону) життєвого циклу полігонів ТПВ [61].

Інвентаризація сміттєзвалищ. З найкращою точністю ідентифікують сміттєзвалища методи ДЗЗ, зокрема космічне знімання. Застосування методів ДЗЗ є найактуальнішим методом дослідження в **пасивний період** життєвого циклу об'єктів розміщення відходів. На цьому етапі моніторингу слід **виявляти (ідентифікувати)** не санкціонованих сміттєзвалищ, що повинні здійснювати органи місцевого самоврядування та виконавчої влади громадські організації.

На першому етапі слід здійснити підбір знімків з метою отримання в подальшому такої інформації: місце знаходження (населений пункт, район, координати), режим функціонування (діюче, закрите), характеристика (об'єм, площа, наземне, підземне), тип відходів та інші характеристики сміттєзвалищ. Для цього слід використовувати мультиспектральні знімки надвисокого просторового розрізнення космічних апаратів типу: QuickBird, Ikonos, Eros A, GeoEye-1, WorldView-2, які дають можливість отримання знімків місцевості функціонуючих урбосистем з просторовим розрізненням близьким до 1 м в панхроматичному або мультиспектральному діапазонах. На другому етапі необхідне проведення атмосферної і геометричної корекції, що уможливить подальше камеральне **дешифрування, класифікацію, розпізнавання** знімків, які можна виконувати як автоматичними, напівавтоматичними та ручними методами. Однак варто проводити і еталонні вимірювання сміттєзвалищ на місцевості

геодезичними методами, що дасть можливість провести їх розпізнавання.

На основі такої технології інвентаризації сміттєзвалищ можливе проведення картографування об'єктів розміщення ТПВ в середовищі ГІС із подальшою побудовою буферних зон, встановлення закономірностей і особливостей їх утворення і тенденцій функціонування, прийняття фахових управлінських рішень і т.д. Такий комплекс заходів необхідно проводити для того, щоб встановити та попередити появу нових сміттєзвалищ, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, а в подальшому ці об'єкти повинні бути включені у реєстр місць видалення відходів області.

Структурна схема моніторингу об'єктів розміщення відходів (див. Рис. 1.11) розроблена нами на основі періодизації їх життєвого циклу (активний, пасивний, постексплуатаційний) і включає такі види моніторингу:

- ретроспективно-географічний аналіз архівних картографічних матеріалів;
- моніторинг складування ТПВ, температурних режимів, утворення біогазу та фільтрату;
- моніторинг просторового зміщення тіла полігону;
- екологічний моніторинг (атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, шумового навантаження, експлуатаційної надійності споруд, ґрунту та рослин, стану здоров'я населення).

В пасивний період життєвого циклу об'єктів розміщення відходів передбачається **проведення ретроспективно-географічного аналізу архівних картографічних матеріалів**, що полягає у проведенні збору та аналізу архівних картографічних матеріалів на територію досліджуваного об'єкту. Використання архівних матеріалів необхідне при проведенні інженерних досліджень для оцінки та обґрунтування вибору земельної ділянки при створенні нового полігону ТПВ, а також при проектуванні і розрахунку для будь-яких будівельних робіт. Особливу увагу слід звернути на такі характеристики як масштаб, переріз рельєфу, рік видання карти. З використанням ГІС-пакетів можна здійснювати опрацювання, збереження та інтерпретування різного роду архівних матеріалів (топографічні карти, плани та аерофотознімки), які в подальшому дадуть можливість

моделювати ЦМР на відповідний період. Використання такого набору даних уможливить прослідкувати повну історію функціонування полігону ТПВ в часі та просторі, а також встановити динаміку використання територій функціонуючих урбосистем та числових характеристик (площа, об'єм, висота складування ТПВ).

В активний період функціонування полігону слід проводити такі види моніторингу: ***моніторинг захоронення ТПВ, моніторинг температурних режимів, моніторинг утворення біогазу та фільтрату.***

Для сучасного документування полігонів ТПВ слід застосувати БПЛА, а для покращення візуалізації об'єктів розміщення відходів є представлення їх у вигляді 3D-моделей. В активному періоді функціонування полігону періодичні знімання з БПЛА дадуть можливість створити базу даних, яка буде корисною для аналізу функціонування полігону, а підприємство, що займається його експлуатацією та утриманням, зможе виконувати контроль запроектованих технологічних операцій із захоронення відходів.

Такий контроль загального характеру (всього полігону ТПВ) повинен відбуватися двічі на рік у міжвегетаційний період (рання весна та пізня осінь), коли відсутня рослинність на полігоні ТПВ. Ще одним фрагментом контролю є аналіз параметрів захоронення відходів на встановлених робочих картах (ширина робочої карти до 15 м, а довжина – від 50 - 120 м), контроль ступеня ущільнення відходів робочої карти (поки ущільнений шар відходів не досягне 2,0-2,5 м), після чого її слід укрити ізолюючим шаром (грунту, глини, подрібнених будівельних відходів [40]) товщиною не менше 0,2 м. Це необхідно виконувати сучасними ГННС-приймачами в режимі РТК чи способом тахеометричного знімання. Дані знімання з БПЛА можуть використовувати спеціалісти житлово-комунального господарства, науково-дослідних організацій для виконання інженерних та проектних робіт.

Моніторинг температурних режимів об'єктів розміщення відходів.

Горіння сміттєзвалищ має високу екологічну небезпеку, оскільки призводить до забруднення довкілля токсичними продуктами горіння. Значна кількість сміттєзвалищ горить десятками років, незважаючи на їх гасіння. Існують теорії,

які взагалі виключають попередження самозаймання та горіння сміттєзвалищ. Для забезпечення належної якості навколишнього середовища і здоров'я населення необхідно усувати причини виникнення пожеж на звалищах ТПВ та контролювати проведення профілактичних робіт для їх недопущення.

Одним із таких засобів попередження є застосування даних космічного чи аерознімання в інфрачервоному режимі, яке базується на тепловому випромінювання поверхні та об'єктів, чи встановлення тепловізорів, які допоможуть при фіксуванні осередків загорання, розповсюдженні та їх ліквідації і може бути використаним функціонуванні полігонів ТПВ.

Моніторинг утворення біогазу та фільтрату. Процес утворення біогазу виникає в результаті природнього розкладання органічних речовин. Для його добування слід встановлювати спеціальні свердловини, які розташовані по всій ділянці тіла полігону, що в подальшому спалюється чи переробляється в електроенергію. Ще одним компонентом необхідного моніторингу є фільтрат, що здебільшого утворюється в результаті потрапляння атмосферних опадів на тіло стіттезвалища, які в подальшому просочуються через нього і потрапляють у збірники фільтрату. Для цього необхідно проводити періодичні вимірювання дзеркала води та на основі знімків моніторити зміну площі збірників фільтратів. Дана проблема призводить до посилення тиску на дамбу, що може спричинити її деформації.

У постексплуатаційний період проводить **моніторинг просторового зміщення тіла полігону ТПВ.** Причиною закриття полігонів може бути закінчення терміну експлуатації або надзвичайні ситуації (зсуви, пожежі), протести мешканців, невідповідність нормам експлуатації та захоронення відходів на полігонах ТПВ та інші. Після закриття полігону відбувається процес стабілізації тіла полігону, який передбачає виположення схилів і приведення їх до норми в 18°. При розробленні проекту рекультивації необхідним буде використання даних топографічного знімання, зокрема: при вертикальному плануванні, розрахунку необхідного ґрунту для ізоляції (верхній шар), для визначення відстані від полігона ТПВ до найближчих містобудівних об'єктів,

площі зайнятої безпосередньо відходами. У подальшому після технічної та біологічної рекультивації необхідне виконання закладання геодезичних пунктів, що в подальшому будуть слугувати для визначення просторових зміщень тіла полігону.

Екологічний моніторинг передбачає ведення таких видів моніторингу: атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, шумового навантаження, експлуатаційної надійності споруд, ґрунту та рослин, стану здоров'я населення. Для цього слід залучити широке коло спеціалістів, що повинні здійснювати збір, опрацювання та інтерпретацію вхідних даних, і в подальшому дадуть можливість розробити заходи з покращення стану довкілля прилеглих територій діючих урбосистем.

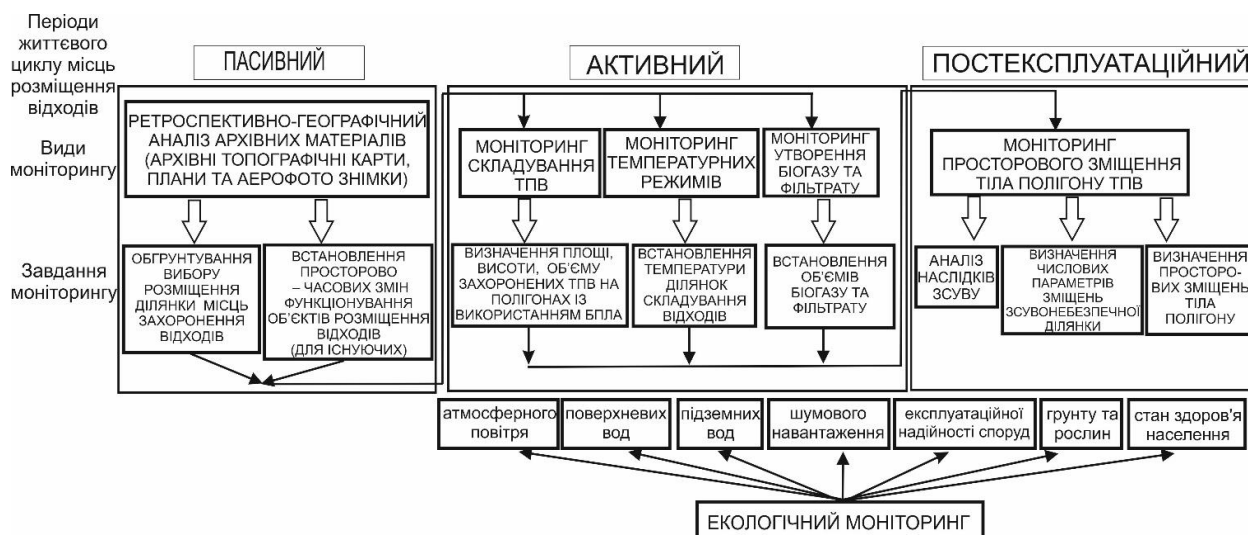


Рис. 1.11. Структурна схема моніторингу об'єктів розміщення відходів ТПВ

Відповідно до видів та завдань моніторингу об'єктів розроблено структурну схему системи геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення ТПВ (Рис. 1.12).

Система геоінформаційного моніторингу включає такі структурні блоки: збирання даних, первинне опрацювання, створення бази геопросторових даних, застосування методів геопросторового аналізу. Структурними елементами блоку «Збирання даних» є архівні матеріали, аерофотознімки, інформаційні ресурси, дані геодезичного знімання. Блок «Первинне опрацювання» складається з систематемації зібраних матеріалів, його фотограмметричного опрацювання,

імпорту даних у ГІС, просторової прив'язки, трансформації системи координат, векторизації, внесення атрибутивної інформації.

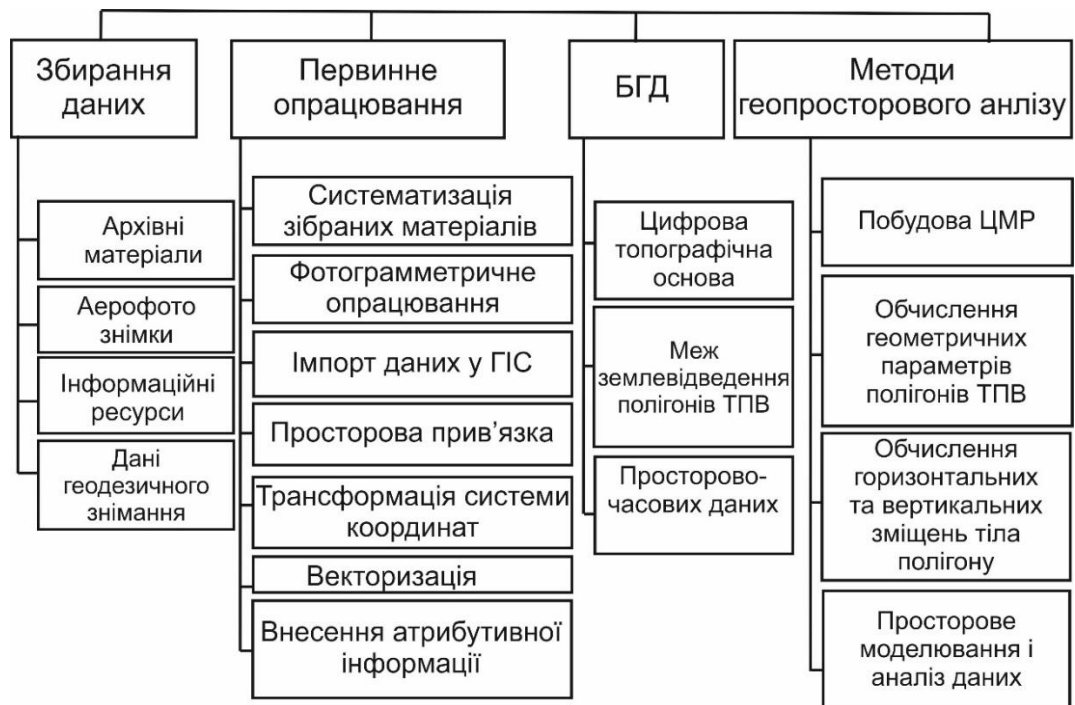


Рис. 1.12. Структурна схема системи геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення ТПВ

Для комплексного дослідження об'єктів розміщення відходів передбачено застосування вже наявної чи створення нової бази геопросторових даних, що включатиме в собі певні набори: **БГД цифрової топографічної основи, БГД меж землевідведення полігонів ТПВ та БГД просторово-часових даних**. Також важливим блоком буде застосування методів геопросторового аналізу, який включає в собі побудову ЦМР, обчислення геометричних параметрів полігонів ТПВ, виконання картометричних операцій, застосування функцій картографічної алгебри, просторового моделювання, оверлейного аналізу даних, побудова буферних зон, обчислення горизонтальних та вертикальних зміщень тіла полігону.

Концептуальну модель баз даних системи геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів представлено на (Рис. 1.13), де **БГД цифрової топографічної основи** включає набори топографічних даних, зокрема в форматі векторних моделей, в межах країни, області, району, населеного пункту. **БГД меж землевідведення ділянки** містить інформацію цифрових карт у різних

форматах (AutoCad, Digitals, Mapinfo, ArcMap) подану шарами, на основі якої можна встановити межі землевідведення для полігону ТПВ, а також представлено інформацію про санітарно-захисні зони, шляхи сполучення, інженерні комунікації, будівлі, споруди їх тип, сільськогосподарські угіддя із зазначенням форми власності та інше. Також до цього блоку можна додати табличні дані (Microsoft Excel), текстові файли, зокрема нормативно –правові документи (закони, постанови, ДБН, ухвали, програми різних форматах). **БГД просторово-часових даних** включає матеріали трьох типів. *Растрові моделі даних* (скановані карти, аерознімки, космічні знімки, ортофтоплани) містять інформацію про: номенклатуру аркуша, масштаб, переріз рельєфу, кольорова-чорно біла, спосіб зображення рельєфу, рік видання , розрізненість, стан місцевості, система координат, проекція, формат. У *даних ДЗЗ* виділяємо назву файлу, кольорові-чорно білі знімки, площа знімка, кількість каналів, розмір файлу, розрізненість, стан місцевості, кількість опорних точок, дані про пункти геодезичної мережі, файл координат геодезичної мережі, тип бпла, тип ГНСС приймача на БПЛА, дані про кількість завезених відходів в тоннах та інші.

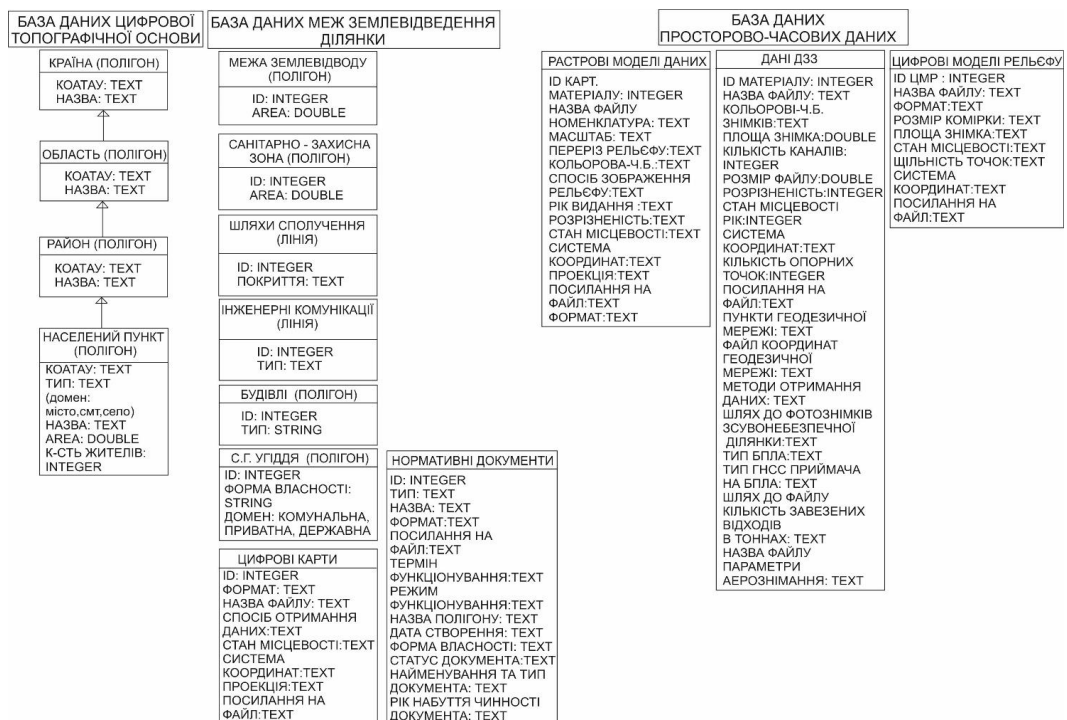


Рис. 1.13. Концептуальна модель баз даних системи геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів

ЦМР можуть бути представлені у різних форматах (TIN, Grid, хмари точок) із зазначенням інформації про розмір комірки, стан місцевості, щільність точок, систему координат тощо.

Висновки до розділу 1

1. На основі проведеного аналізу вітчизняних та закордонних наукових публікацій, щодо сфери поводження з відходами, встановлено, що такими дослідженнями займалися фахівці різних сфер – економіки, екології, географії, хімії, геодезії, картографії, містобудування, державної служби з надзвичайних ситуацій. Здебільшого увагу в дослідженнях надано прогнозуванню, виявленню та моніторингу полігонів ТПВ, часто це виконано на основі даних космічних зніманих для активного періоду експлуатації полігонів. Дослідження даної проблематики потребує комплексного підходу на всіх технологічних етапах поводження з відходами.

2. Встановлено, що найефективнішим засобом для аналізу, управління та планування діяльності у сфері поводження з відходами є використання ГІС-технологій.

3. За чинними нормативно–правовими документами сфери поводження з відходами моніторинг об'єктів розміщення відходів включає здебільшого екологічні чинники і не передбачає проведення геодезичного контролю геометричних параметрів.

4. Уточнено класифікацію об'єктів розміщення відходів: полігони ТПВ, (не) санкціоновані сміттєзвалища, відвали, хвостосховища (шлако-, шламо-, золосховище).

5. Розроблено класифікацію методів та способів отримання даних для визначення площ та об'єму об'єктів розміщення відходів на основі використання як контактних так дистанційних методів (ДЗЗ). Визначено переваги та недоліки застосування даних методів для різних об'єктів розміщення відходів.

6. Визначено основні напрями застосування сучасних технологій для досягнення ефективного використання та управління місцями розміщення

відходів.

7. Розроблено структурну схему системи моніторингу об'єктів розміщення відходів відповідно до періодів їх життєвих циклів, що включає такі види моніторингу: ретроспективно-географічний аналіз архівних картографічних матеріалів; моніторинг складування ТПВ, моніторинг температурних режимів, моніторинг утворення біогазу та фільтрату; моніторинг просторового зміщення тіла полігону; екологічний моніторинг (атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, шумового навантаження, експлуатаційної надійності споруд, ґрунту та рослин, стану здоров'я населення). Для кожного виду моніторингу сформульовано завдання, цілі та засоби реалізації.

8. Розроблено структурна схема системи геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення ТПВ із структурними блоками: збирання даних, первинного опрацювання, створення бази геопросторових даних, застосування методів геопросторового аналізу.

9. Запропонована концептуальну модель баз даних системи геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів де базовим набором будуть: БГД цифрової топографічної основи, БГД меж землевідведення ділянки, БГД просторово-часових даних. Така модель БГД структурує, формалізує інформацію та включатиме: набори топографічних даних, архівні матеріали, аерофотознімки, дані ДЗЗ, растрові та векторні моделі даних, ЦМР, табличні дані, текстові файли, нормативно –правові документи та інші.

Список літератури до розділу 1

1. Андрейцов А. А. Получение высококачественного топлива из породных отвалов / А. А. Андрейцов, В. Ю. Елихин // Уголь Украины. – 2007. – № 7. – С. 39–42.
2. Берлянт А. Картографический метод исследования / А. Берлянт – Москва: Изд-во МГУ, 1988. – 252 с.
3. Бровкина О. В. Дистанционный мониторинг антропогенных нарушений таежной зоны Северо-Запада России: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. геогр. наук: спец. 25.00.36 "Геоэкология" / Бровкина О. В. – Санкт-Петербург, 2011. – 194 с.
4. Булат А. Ф. Перспективы развития сырьевой базы горного производства на основе комплексной переработки техногенных отходов / А. Ф. Булат, В. П. Надутый, Е. З. Маланчук // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепрпетровск: ИГТМ НАНУ. – 2012. – № 101. – С. 3–8.
5. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи: підручник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2013. – 316 с.
6. Бутенко О. С. Розроблення методів і геоінформаційних моделей космічного моніторингу сміттєзвалищ / О. С. Бутенко, Г. Я. Красовський, І. Г. Красовська та ін. // Матеріали конференції XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». – 2016. – С. 259.
7. Ващук О. М. Обґрунтування методики підрахунку об'ємів складів готової продукції булощебеневої сировини / О. М. Ващук, Р. В. Соболевський // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 4 (63). – С. 174–182.
8. Гарасимчук І. Ф. Розробка оперативного методу визначення об'ємів ґрунту: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.24.01 "геодезія" / Гарасимчук І. Ф. – Львів, 2003. – 22 с.

9. Гарифзянов Р. Д. Идентификация и оценка экологического состояния территорий размещения отходов методом дешифрирования космических снимков / Р. Д. Гарифзянов, Г. М. Батракова // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 3 (15). – С. 86–95.
10. Глотов В. М. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів / В. М. Глотов, А. В. Гуніна // Сучасні досягнення геодезичного науки та виробництва. – 2014. – № 28. – С. 65–70.
11. Глотов В. М. Застосування стереофотограмметричного методу для створення картматеріалів при проектуванні генеральних планів сільських населених пунктів / В. М. Глотов, Ю. Г. Кордуба // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2011. – № 74. – С. 97–101.
12. Гнеушев В.О. Формування та розробка техногенних родовищ: навч. посібник / В. О. Гнеушев – Рівне: Волинські обереги, 2013. – 152 с.
13. Греков Л. Д. Оцінка впливу на довкілля Васильківського сміттєзвалища засобами ДЗЗ/ГІС-технологій [Електронний ресурс] / Л. Д. Греков, Г. Я. Красовський, В. І. Клименко – Режим доступу до ресурсу: <http://www.pryroda.gov.ua/index.php?newsid=707>.
14. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96: № 89 від 29.02.1996 р. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rada.gov.ua>
15. Деньгін А. П. Геоінформаційна система моніторингу стану шахтних виробок та порожнин Кривбасу для прогнозування техногенних явищ / А. П. Деньгін, М. В. Назаренко // Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: матеріали 3-ї міжнародної наук.-практ. конф., 22-24 травня 2013, м. Дніпропетровськ. – 2013. – С. 8–19.
16. Довга Т. М. Класифікація побутових відходів як передумова ефективності їх рециклінгу в Україні / Т. М. Довга // Економічний часопис. – 2011. – № 5-6. – С. 50–53.
17. Доманська М. В. Ідентифікація несанкціонованих звалищ побутових відходів за матеріалами ДЗЗ / М. В. Доманська, С. П. Боднар // Часопис картографії. – 2013. – № 7. – С. 114–125.

18. Зайцев А. А. Опыт создания базы данных результатов мониторинга полигона твердых бытовых отходов д. Софронив / А. А. Зайцев, С. В. Исаев, Е. В. Панин // Географический вестник. Экология и природопользование. – 2012. – № 4 (23). – С. 55–59.
19. Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 № 187/98-ВР. [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – 1998. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>
20. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» від 24.02.1994 [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – 1994. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>
21. Закон України «Про охорону земель» від 19.06.2003 № 962/IV-ВР. [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – 1998. – Режим доступу до ресурсу: <http://https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15>
22. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-ХІІ [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – 1998. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
23. Ільченко А. В. Використання програмного забезпечення з метою оптимізації системи поводження з твердими побутовими відходами міста Житомира / А. В. Ільченко, І. Г. Коцюба // Екологічна безпека. – 2011. – № 1. – С. 13–16.
24. Інтерактивна мапа [Електронний ресурс] // Міністерство екології та природних ресурсів України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://esomapa.gov.ua/>.
25. Картографічні дані Google. Зображення:CNES/AIRBUS. [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.google.com.ua/maps/@49.9008725,24.0341895,1129m/data=!3m1!>

1e3?hl=uk

26. Класифікатор потенційно небезпечних об'єктів [Електронний ресурс] / [Л. Головіна, Є. Єременко, Г. Костенко та ін.] // Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://www.dsns.gov.ua/UserFiles/File/2009/12_03_09_Klass_PNO.pdf.
27. Кузик І. М. Визначення головних параметрів породних відвалів у реальних умовах / І. М. Кузик, В. М. Артамонов, Д. О. Козир // Збірка IV Міжнародної конференції «Молодь і поступ біології». – 2008. – С. 190–191.
28. Кузик І. М. Прогнозування змін параметрів породних відвалів вугільних шахт / І. М. Кузик, В. М. Артамонов, Д. О. Козир // Тези V Міжнародної конференції «Сучасні проблеми екології та геотехнології». – 2008. – С. 26–27.
29. Кухарський І. А. Моніторинг екологічно-небезпечних об'єктів із застосуванням геоінформаційних технологій та використанням матеріалів дистанційного зондування Землі / І. А. Кухарський, В. О. Подліпаєв, В. О. Шумейко, В. О. Атрасевич // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 4. – С. 113–116.
30. Липилин Д. А. Распределение и динамика объектов размещения твердых бытовых отходов на территории Краснодарского края : дис. канд. геогр. наук: 25.00.23 / Липилин Д. А. – Краснодар, 2014. – 184 с.
31. Лозинський В. А. Аналіз сучасних методів отримання даних для визначення об'ємів відходів та донних відкладів / В. А. Лозинський. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – №30. – С. 87–97.
32. Лященко А. А. Онтологія та особливості компонентів геоінформаційного моніторингу за технологією баз геопросторових даних / А. А. Лященко, І. М. Патракеєв // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – № 1. – С. 174–177.
33. Майнагашев А. С. Об использовании углеродсодержащих вскрышных пород в качестве энергетического сырья / А. С. Майнагашев // Уголь. –

2007. – № 7. – С. 23.
34. Макаренко Н. А. Моніторинг полігонів твердих побутових відходів із врахуванням їх впливу на сільські території / Н. А. Макаренко, О. О. Будак // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2015. – № 5.
35. Маліцький А. Аналіз наземних лазерних 3D-сканерів та сфера їх застосування / А. Маліцький, В. Лозинський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - 2014. – № 30. – С. 21-25.
36. Матвеев Ю. Б. Полигоны бытовых отходов: ситуация и перспективы / Ю. Б. Матвеев, А. Ю. Пухнюк // Твердые бытовые отходы. – 2013. – № 6. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.solidwaste.ru/magazine/archive/viewdoc/2013/6/1548.html>
37. Мовчан М. І. Використання шахтних відвальних порід Львівсько - Волинського вугільного басейну у дорожньому будівництві [Електронний ресурс] / М. І. Мовчан, Д. М. Акімов // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Теорія і практика будівництва. – 2011.
38. Новохацька Н. А. Просторове моделювання впливу сміттєзвалищ на складові довкілля із застосуванням дистанційних методів та геоінформаційних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 "екологічна безпека" / Новохацька Н. А. – Київ, 2017. – 20 с.
39. Об утверждении Правил санитарного содержания территорий, организации уборки и обеспечения чистоты и порядка в г. Москве [Електронний ресурс] // Вестник мэрии Москвы. – 1999. – Режим доступа до ресурсу: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/252956/.
40. Правила з технічної експлуатації полігонів твердих побутових відходів / Затв. Наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 05.04.2007 № 121.
41. Про затвердження Державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць / Затв. Наказом Міністерства охорони здоров'я

України від 17.03.2011 № 145

42. Про затвердження Зразка санітарно-технічного паспорта полігона твердих побутових відходів та Методичних рекомендацій щодо його заповнення / Затв. Наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 05.04.2007 № 120
43. Про затвердження Методичних рекомендацій по впровадженню системи моніторингу у сфері поводження з твердими побутовими відходами / Затв. наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 02.10.2008 № 295
44. Про затвердження норм утворення твердих побутових відходів для населених пунктів України / Затв. наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 10.01.2006 № 7
45. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року / Затв. Розпорядженням кабінету міністрів України від 08.11.2017 № 820-р
46. Проектування. Полігони зі знешкодження та захоронення токсичних відходів: ДБН В.2.4-4: 2010. – [Чинний від 2011-01-01]. – К. Мінрегіонбуд України, 2010. – 42 с. – (Державні будівельні норми України).
47. Проектування. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування: ДБН В.2.4-2-2005. – [Чинний від 2006-01-01]. – К. Держбуд України, 2006. – 40 с. – (Державні будівельні норми України).
48. Режим доступу до ресурсу: <http://www.pryroda.gov.ua/index.php?newsid=57>
49. Режим доступу до ресурсу: http://www.smemaine.com/documents/Website-SMEREceivesFAAApprovaltoOperateUAV_007.pdf
50. Рябов Ю. В. Основные аспекты разработки ГИС мониторинга земель, нарушенных несанкционированными свалками: выявление закономерностей пространственного распределения несанкционированных свалок и предсказание мест их возникновения / Ю. В. Рябов. // Конференция для пользователей и разработчиков ГИС с открытым исходным кодом. –

2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://2012.gisconf.ru/talks/gis18-ryabov-dumps.pdf>
51. Рябов Ю. В. Разработка геоинформационной системы мониторинга земель, нарушенных несанкционированными свалками: дис. канд. геогр. наук: 25.00.26 / Рябов Ю. В. – Санкт-Петербург, 2013. – 173 с.
52. Савицький В.М. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води / В. М.Савицький, В. К. Хільчевський, О. В. Чунарьов, М. В. Яцюк. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – 152 с.
53. Сафранов Т. А. Класифікація твердих муніципальних відходів – передумова формування ефективної системи поводження з їх потоками / Т. А. Сафранов, Т. П. Шаніна, О. Р. Губанова, В. Ю. Приходько // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2014. – Вип. 18. – С. 32–37.
54. Сонько С. П. Інвентаризація полігонів твердих побутових відходів за допомогою елементарної ГІС (на прикладі Черкаської області) / С. П. Сонько // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Економіка природокористування: стан, проблеми, перспективи». – 2017. – С. 48–52.
55. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2014 рік [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2014-rik/>.
56. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2017 рік [Електронний ресурс]. – 2018.– Режим доступу до ресурсу: <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2017-rik/>
57. Тішаєва А. М. Локалізація та виявлення закономірностей просторового розміщення сміттєзвалищ на території Київської області за даними ДЗЗ / А. М. Тішаєва, О. В. Томченко // Матеріали XV міжнародної науково-

- практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». – 2016. – С. 259.
58. Турчанінова Н. А. Напрямки використання відходів вугільної промисловості [Електронний ресурс] / Н. А. Турчанінова, Р. О. Фурман, Ю. О. Юсипук – 2011.
59. Указаниях по организации и усовершенствованию контролируемых свалок (полигонов) для городов УССР» РДМУ 204 УССР 025-81.
60. Шелковська І. М. Сучасна система геоінформаційного моніторингу земель прибережних територій водосховищ / І. М. Шелковська // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – № 1. – С. 139–144.
61. Щербина Е. В. Методология анализа жизненного цикла при проектировании полигонов твердых бытовых отходов / Е. В. Щербина // 2013 – Режим доступу до ресурсу: <http://lerschtul.ru/ocologi/metodologiya-analiza-zhiznennogo-cikla-pri-proektirovanii-poligonovtverdyx-bytovyx-otxodov.html>.
62. Ярема Н. П. Картографування забруднення навколишнього природного середовища Львівщини твердими побутовими відходами / Н. П. Ярема, Т. І. Марко, В. А. Лозинський. // Збірник міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених "GeoTerrace-2016". м. Львів 15-17 грудня 2016 р. – 2016. – С. 166–167.
63. A. Al-Hanbali A. Using GIS-Based Weighted Linear Combination Analysis and Remote Sensing Techniques to Select Optimum Solid Waste Disposal Sites within Mafrqa City, Jordan / A. Al-Hanbali, B. Alsaaidh, A. Kondoh // Journal of Geographic Information System. – 2011. – № 3. – С. 267–278.
64. Ansari A. Use of point cloud with a low-cost UAV system for 3D mapping / A. Ansari // International Conference on Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management. – 2012. – № 2. – pp. 131–134.
65. Aryal A. A dissertation submitted to the graduate division of the university of

- hawai'i at mānoa in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in geology and geophysics. 2013. P.97.
66. Barlaz M. Closing the Gaps in the Regulation of Municipal Solid Waste Landfills: Defining the End of the Post-Closure Monitoring Period and the Future Stability of Leachate Recirculation Landfills / M. Barlaz, M. Gabr, P. Mohammed – 2000. – Режим доступу до ресурсу: https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.highlight/abstract/985.
 67. Barlaz M. Critical evaluation of factors required to terminate the postclosure monitoring period at solid waste landfills / [M. Barlaz, A. Rooker, P. Kjeldsen та ін.] // Environmental Science & Technology. – 2002. – № 36. – pp. 3457–3464.
 68. Barnaba E. The use of aerial photographs in county inventories of waste-disposal sites / E. Barnaba, W. Philipson, A. Ingram, J. Pim // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1991. – № 57. – pp. 1289–1296.
 69. Basavarajappa T. Application of Remote Sensing and GIS in Landfill (waste Disposal) Site Selection and Environmental Impacts Assessment around Mysore City, Karnataka, India / T. Basavarajappa // 39th COSPAR Scientific Assembly. Held 14-22 July 2012, in Mysore, India. – 2012. – № 5. – P. 706.
 70. Brilis G. Remote sensing tools assist in environmental forensics. Part I: traditional methods / G. Brilis, C. Gerlach, R. van Waasbergen // Environmental Forensics. – 2000. – № 1. – pp. 63–67.
 71. Brivio P. Aspects of spatial autocorrelation of Landsat TM data for the inventory of waste-disposal sites in rural environments / P. Brivio, I. Doria, E. Zilioli // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1993. – № 59. – pp. 1377–1382.
 72. Babuca N. Use of a method RTK measurement to determine the volume of waste by Landfill Solid Danger, Ghizela Town, County Timis / [N. Babuca, V. Ciolac, A. Ienciu та ін.]. // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016. – 2016. – № 2. – pp. 713–720.
 73. Cho S. Monitoring System to Measure the Waste Volume of Landfill Facility

- using 3D Laser Scanner / S. Cho, Y. Lee, S. Ryu // The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication. – 2013. – № 13. – pp. 135–140.
74. Cryderman C. Evaluation of UAV Photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations / C. Cryderman, B. Mah, A. Shuflertoski // Geomatica. – 2015. – № 68. – pp. 309–317.
75. Dewan A. Using remote sensing and GIS to detect and monitor land use and land cover change in Dhaka Metropolitan of Bangladesh during 1960–2005 / A. Dewan, Y. Yamaguchi // Environmental Monitoring and Assessment. – 2009. – № 150. – pp. 237–249.
76. Djokanović S. GIS application for landfill site selection: a case study in Pančevo, Serbia / S. Djokanović, B. Abolmasov, D. Jevremović // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2016. – № 75. – pp. 1273–1299.
77. Draeyer B. White paper: How accurate are UAV surveying methods? [Электронный ресурс] / B. Draeyer, C. Strecha // – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.scribd.com/document/211377514/Pix4D-White-Paper-How-Accurate-Are-UAV-Surveying-Methods-2>.
78. Environmental Waste Site Characterization Utilizing Aerial Photographs [Электронный ресурс] / [P. Pope, E. Van Eeckhout, C. Rofer та ін.] // Remote Sensing and Surface Geophysics. – 1996. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/251321>.
79. Erb T. Analysis of landfills with historic airphotos / T. Erb, W. Philipson, W. Teng // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1981. – № 47. – pp. 190–203.
80. Faisal K. Remote sensing techniques as a tool for environmental monitoring / K. Faisal, A. Ahmad, A. Shaker // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2012. – № 39. – С. 513–518.
81. Ferrier G. Application of geophysical monitoring techniques as aids to probabilistic risk-based management of landfill sites / G. Ferrier, L. Frostick, T. Splajt // The Geographical Journal Special Issue: Reconciling Policy, Practice and

- Theorisations of Waste Management. – 2009. – № 175. – pp. 304–314.
82. Foody G. Mapping despoiled land cover from Landsat Thematic Mapper imagery / G. Foody, R. Embashi // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 1995. – № 19. – pp. 249–260.
83. Garofalo D. Solid Waste and Remote Sensing / D. Garofalo, F. Wobber // *Photogrammetric Engineering*. – 1974. – № 40. – pp. 45–59.
84. Gasperini D. Potential and limitation of UAV for monitoring subsidence in municipal landfills / D. Gasperini, P. Allemand, C. Delacourt, P. Grandjean // *International Journal of Environmental Technology and Management*. – 2014. – № 17. – pp. 1–13.
85. Hjelm O. Sustainable management of leachate from landfills [Электронный ресурс] / O. Hjelm // – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://innomtm.dk/wp-content/uploads/2014/08/Report-on-assessment-of-the-aftercare-duration-at-Skaarup.pdf>.
86. Iacoboaia C. Landfill monitoring using remote sensing: a case study of Glina, Romania / C. Iacoboaia, F. Petrescu // *Waste Management Results*. – 2013. – № 31. – pp. 1075–1080.
87. Irhoumah J. Determination of Suitable Site for Solid Waste Disposal using Remote Sensing and GIS Techniques in Allahabad Municipality Area / J. Irhoumah, V. Agarwal, D. Lal, M. Kumar // *International Journal of Engineering Research & Technology*. – 2014. – № 3. – pp. 876–892.
88. Issa S. A GIS-based multi-criteria evaluation system for selection of landfill sites: a case study from Abu Dhabi, United Arab Emirates / S. Issa, B. Al-Shehhi // *Proceedings of the XXII Congress of the International Society for Photogrammetry & Remote Sensing. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2012. – № 39. – pp. 133–138.
89. Kaliaskarova K. Modern condition of locations of municipal solid waste in a residential buffer suburb of the city of Almaty / K. Kaliaskarova, A. Ikanova, Z. Aliyeva, Z. Bekkuliev // – 2017. – Режим доступа до ресурсу:

http://uest.ntua.gr/athens2017/proceedings/pdfs/Athens2017_Kaliaskarova_Ikanova_Aliyeva_Bekkuliev.pdf.

90. Karathanassi V. Monitoring the Change in Volume of Waste in Landfill Using SAR Interferometry / V. Karathanassi, C. Chousiafis, Z. Grammatikou // 32 EARSeL Symposium 2012 Advances in Geosciences. – 2012. – № 20. – pp. 540–551.
91. Kasperski J. Application of a Terrestrial Laser Scanner (TLS) to the Study of the Séchilienne Landslide (Isère, France) / [J. Kasperski, C. Delacourt, P. Allemand та ін.] // Remote Sensing. – 2010. – № 2. – pp. 2785–2802.
92. Kwarteng A. Assessment of Kuwait's Al-Qurain Landfill Using Remotely Sensed Data / A. Kwarteng, A. Al-Enezi // Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering. – 2004. – № 39. – pp. 351–364.
93. Landfills trenches and pits [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.enviroscan.com/home/landfills-trenches-and-pits>.
94. Latin H. Remote Sensing Evidence and Environmental Law / H. Latin, G. Tannehill, R. White // – California: California Law Review, 1976. – 1446 P.
95. Lee Y. A Study on the Waste Volume Calculation for Efficient Monitoring of the Landfill Facility / Y. Lee, S. Cho, J. Kang // Computer Applications for Database, Education and Ubiquitous Computing. – 2012. – № 352. – pp. 158–169.
96. Lozynskyi V. A. Classification of methods and techniques for determining the volumes of waste and sediments / V. A. Lozynskyi. // 6th International Youth Science Forum «LITTERIS ET ARTIBUS». Lviv, Ukraine, November 26-28, 2016, p. 118-121.
97. Lyon J. Use of maps, aerial photographs and other remote sensor data for practical evaluations of hazardous waste sites / J. Lyon // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1987. – № 53. – С. 515–519.
98. Manzo C. Integrated remote sensing for multi-temporal analysis of anthropic activities in the south-east of Mt. Vesuvius National Park / [C. Manzo, A. Mei, G. Fontinovo та ін.] // Journal of African Earth Sciences. – 2016. – № 122. – pp.

- 63–78.
99. Mayr W. 3D-Geospatial Data using Unmanned Airborne Vehicles [Электронный ресурс] / W. Mayr // Waste-to-Resources. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://ask-eu.de/Artikel/27107/3D-Geospatial-Data-using-Unmanned-Airborne-Vehicles.htm>.
 100. Measuring landfill volumes [Электронный ресурс] // Unmanned Aerial Vehicle Mapping & Aerial Photography. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.uavmap.com.au/measuring-landfill-volumes>, 2014.
 101. Mudura R. Calculate the volume of landfill cristesti, mures using the classical method and digital terrain model using picture from UAV / R.Mudura, A. Trif, B. Nedelcu, C. Bara // 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. – 2014. – № 2. – pp. 113–120.
 102. Munn R. Global environmental monitoring system (GEMS): Action plan for phase I (SCOPE report) [Электронный ресурс] / R. Munn // – 1973. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.amazon.com/Global-environmental-monitoring-system-GEMS/dp/B0007AQSHC>.
 103. Nas B. Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation / B.Nas, T. Cay, F. Iscan, A. Berktaay // Environmental Monitoring and Assessment. – 2010. – № 160. – pp. 491–500.
 104. Nienow Z. Monitoring Landfills from Above [Электронный ресурс] / Z. Nienow // – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ayresgeospatial.com/2014/10/22/monitoring-landfills-from-above/>.
 105. Ozdogan M. Monitoring of Landslide at Tuncbilek Open Pit Stripping Area with Terrestrial Laser Scanner and Optical Images / M. Ozdogan, A. Deliormanli // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – № 44. – pp. 42–45.
 106. Philipson W. Aerial detection techniques for landfill pollutants / W. Philipson, D. Sangrey // 3rd Annual EPA Research Sym. on Management of Gas and Leachate in Landfills, held St. Louis, E.P.A., Washington. – 1977. – P. 11.
 107. Phillipson W. Land-cover monitoring with SPOT for landfi ll

- investigations / W. Phillipson, E. Bamaba, A. Ingram // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 1988. – № 54. – pp. 223–228.
108. Qingsheng L. Using CBERS CCD Images to Monitor Dynamic Change of Jiaojiapo Waste Landfill Site / L. Qingsheng, L. Gaohuan // *Environmental Sanitation Engineering*. – 2010. – № 18. – pp. 17–20.
109. Reshetyuk Y. Terrestrial laser scanning for detection of landfill gas: a pilot study / Y. Reshetyuk, S. Mårtensson // *Journal of Applied Geodesy*. – 2014. – № 8. – pp. 87–96.
110. Rudich R. Illinois Court Finds that Landfill Post-Closure Monitoring Period not Limited to 15 Years by Statute [Электронный ресурс] / R. Rudich // *LANDFILL NEWS*. – 2017.
111. Sangrey D. Detecting landfill leachate contamination using remote sensors / D. Sangrey, W. Philipson // *Research Report EPA-60014-7-060, E.P.A., Las Vegas, Nevada*. – 1979. – P. 67.
112. Seker D. Spatial Analyses for Environmental Impacts of Landfill Areas. Survival and Sustainability / D. Seker, S. Kaya, N. Musaoglu та ін. // *Environmental Earth Sciences, Survival and Sustainability*. – 2011. – pp. 691–697.
113. Shahabi H. Evaluating Boolean, AHP and WLC methods for the selection of waste landfill sites using GIS and satellite images / H. Shahabi, S. Keihanfard, B. Ahmad, M. Amiri // *Environmental Earth Sciences*. – 2014. – № 71. – pp. 4221–4233.
114. Shaker A. Trail road landfill site monitoring using multi-temporal Landsat satellite data / A. Shaker, W. Y. Yan // *ISPRS Archives*. – 2010.
115. Slonecker E. The Use of Historical Imagery in the Remediation of an Urban Hazardous Waste Site / E. Slonecker // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2011. – № 4. – pp. 281–291.
116. Slonecker E.T. Remote Sensing Investigations of Fugitive Soil Arsenic and Its Effects on Vegetation Reflectance: Ph.D. Dissertation / Slonecker E. Terrence. – Fairfax, USA, 2007. – 240 p.

117. Slonecker T. Visible and Infrared Remote Imaging of Hazardous Waste: A Review / T.Slonecker, G. Fisher, D. Aiello, B. Haack // Remote Sensing. – 2010. – № 2. – pp. 2474–2508.
118. Stohr C. Remote sensing investigations at a hazardous-waste landfill / C. Stohr, W. Su, P. DuMontelle, R. Griffin // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1987. – № 53. – pp. 1555–1563.
119. Sureshkumar M. Selection Of Alternative Landfill Site In Kanchipuram By Using GIS And Multicriteria Decision Analysis / M. Sureshkumar, R. Sivakumar, M. Nagarajan // Applied Ecology and Environmental Research. – 2017. – № 15. – pp. 627–636.
120. Titus S. Survey and Analysis of Present or Potential Environmental Impact Sites in Woburn, Massachusetts / S. Titus // In Proceedings of the 48th Annual Meeting of the American Society for Photogrammetry. – 1982. – pp. 538–549.
121. Tserng H. A 3-D Graphical Database System for Landfill Operations Using GPS / H. Tserng, J. Russell // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. – 2002. – № 17. – pp. 330–341.
122. Types of Landfills [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://sites.google.com/site/wastemanagementalternatives/types-of-landfills>
123. Urbančič T. Vpliv velikosti mrežne celice in metod interpolacij na izračunano prostornino / T. Urbančič, V. Grahor, B. Koler // Geodetski vestnik. – 2015. – № 59. – pp. 231–245.
124. Vincent R. Remote sensing for solid waste landfills and hazardous waste sites / R. Vincent // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1994. – № 60. – pp. 979–982.
125. Wilson P. Determining Remaining Permitted Capacity of California's Sanitary Landfills [Электронный ресурс] / P. Wilson // Integrated Waste Management Board. – 1995.

РОЗДІЛ 2. РЕТРОСПЕКТИВНО-ГЕОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЛМП ТПВ ЗА АРХІВНИМИ АЕРО- ТА КАРТОГРАФІЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Проблеми поводження з відходами стосуються не лише великих міст функціонуючих урбосистем, а й малих сіл, де утворюється значна кількість не санкціонованих сміттєзвалищ. У подальшому вони проходять певні етапи розвитку, з часом на них проводять уже контрольоване розміщення ТПВ, а в кінцевому етапі сміттєзвалищам можуть надати статусу полігону ТПВ. Найбільшими полігонами в Україні є Львівський міський полігон ТПВ, полігон №5 в Київській області, Миколаївський полігон, полігон у Волновасі, Рівненський міський полігон. Кожен із цих об'єктів має свою історію, термін експлуатації, наявність системи збирання фільтрату, потребу в рекультивації та інші особливості. Показовим об'єктом, якому слід надати особливу увагу, є ЛМП ТПВ. Він має досить тривалий період роботи, великий за площею і об'ємом. На його прикладі можна прослідкувати всі періоди функціонування об'єктів розміщення відходів.

Щорічне зростання об'ємів сміття, що захоронюються на полігонах ТПВ, призводить до необхідності контролювати діяльність комунальних та приватних підприємств з розміщення відходів та здійснювати як екологічний, так і інженерний моніторинг їхньої діяльності. Для контролю захоронення ТПВ слід встановити тенденцію функціонування полігону ТПВ від етапу планування до рекультивації. Серед контрольованих параметрів при інженерному моніторингу є геометричні розміри земельних ділянок, розміри та динаміка тіла складування відходів, контроль поширення стічних вод та інші числові параметри, можна отримати геодезичним методом та з допомогою неконтактних вимірювань.

Для встановлення особливостей функціонування місць складування відходів в минулому важливим джерелом даних є архівні карти та матеріали аерофотознімання. Ці джерела можуть бути застосовані для вирішення низки наукових і практичних завдань, коректного представлення геоданих в

геоінформаційних системах. Сучасні ГІС-технології надають можливість інтегрування просторового-часових даних з різного роду джерел в єдину систему координат, при виконанні ретроспективно-географічних досліджень.

Подібний ретроспективно-географічний аналіз для інших цілей проводили: Гулик С., (побудува картосхеми ландшафтів західного Поділля на основі зіставлення різночасових карт [8]), Воліка О. (антропогенна трансформацію природи заповідника „Медобори” у 20-х і 80-х рр. ХХ ст. [2]), Ничая О. (зміна селитебного ландшафту с. Мишів Волинської області для упродовж 1910 -2014 р. [14]). Архівні картографічні матеріали (топографічні плани та карти, аерофотознімки, космічні знімки, описова інформація про об’єкт) використані для створення історичних цифрових моделей місцевості ансамблю оборонних споруд «Цитаделі» у м. Львові [25], визначення місць масових поховань часів Другої світової війни [24], для дослідження динамічних процесів на гірничо-промислових об’єктах [7]. Основною метою дослідження даного розділу є встановлення просторово–часових особливостей функціонування ЛМП ТПВ від 1950-х рр. (з початку створення) до 2006р.

2.1. Загальна характеристика та історія експлуатації ЛМП ТПВ

З середини ХХ ст. у м. Львові відбувається різке збільшення кількості населення. Станом на 1944 р. воно становило близько 150 тис. осіб, а вже у 1950 р. – близько 400 тис. осіб. Збільшення чисельності населення призвело до утворення більшої кількості відходів, які необхідно було кудись захоронювати. Тоді не було виконано спеціального підбору ділянки під полігон, і вибрано місцевість, що розташована поблизу міста і характерна складними формами рельєфу. Вочевидь непотрібно було проводити значні капіталовкладення на їх транспортування.

ЛМП ТПВ почав функціонувати як стихійне сміттєзвалище, а з 1959 р. і функціонує як полігон ТПВ. Він знаходиться біля с. Вел. Грибовичі, на віддалі 4-6 км в північному напрямку від межі м. Львова (Рис. 2.1). Полігон ТПВ розташований у межах південно-східного Розточчя, де поширені вододільні горбисті денудаційно-структурні форми рельєфу з абсолютними відмітками 350–

360 м і долинно-балкові низини, які лежать на висотах 310–320 м. Полігон закладено в днищі природної балки на рівні абсолютних позначок 274–280 м. У північно-західному напрямку балка розгалужується на два окремі яри з висотою бортів 10 м, які «врізаються» у східний схил Малехівської гряди [16]. Ділянка району полігону ТПВ відноситься до зони зчленування горбистої височини Розточчя та Малехівського пасма Малого Полісся.



Рис. 2.1. Географічне розташування ЛМП ТПВ відносно м. Львова

При проектуванні полігону було передбачено термін його функціонування 25 років, але у 1984 р. він не був закритий. На ньому продовжували захоронювати як побутові, так і промислові відходи. Під час експлуатації полігону ТПВ у Вел. Грибовичах він отримав: державний акт на право користування землею площею 26 га під міське сміттєзвалище, виданий Нестерівською районною радою народних депутатів від 1981 р.; державний акт на право постійного користування землею площею 7,3 га для розширення сміттєзвалища, виданий Жовківською районною радою 1998 р.; державний акт на право постійного користування земельною ділянкою площею 5,4658 га для обслуговування частини існуючого сміттєзвалища, виданий Жовківською районною адміністрацією 2005 р. У цей період на території полігону було розміщено озера–гудрони. З 1990-х до середину 2010-х рр. відбувалися періодичні протести мешканців ближніх сіл ЛМП ТПВ до місцевої влади з вимогою про його закриття.

З огляду на незадовільний екологічний стан полігону вийшла низка заключень і нормативних документів: у 2003 р. головний державний санітарний лікар Львівської області виніс постанову від 25.11.2003 року № 119/01 «Про припинення експлуатації сміттєзвалища...», у звіті Відкритого акціонерного товариства (ВАТ) «Геотехнічний інститут» зазначено, що термін експлуатації полігону перевищив у два рази проектні показники [4]. Головне управління державної санітарної епідеміологічної служби у Львівській області вказало, що з моменту експлуатації минуло 3 експлуатаційні періоди, сміттєзвалище експлуатується з порушенням вимог санітарного законодавства у сфері поводження з відходами, де перешаровують лише 40-50 % денного накопичення відходів [15]. Це стимулювало ЛМР провести у 2007-2010 рр. конкурс з пошуку інвестора для будівництва нового полігону і рекультивациі діючого. В ухвалі ЛМР від 6 вересня 2011 р. зазначено, що екологічна ситуація на ЛМП ТПВ є недопустимою та потребує вирішення, зокрема повинно бути здійснено поетапне закриття, яке обов'язково має включати в собі технічну та біологічну рекультивацию відповідно до затвердженого проекту [23].

У 2009-2012 рр. згідно з результатами перевірки дотримання санітарного законодавства виявлено такі порушення: проведення збору вторинної сировини, незабезпечення проведення заходів із затримки легких фракцій відходів і попередження забруднення приляглих до звалища територій, відсутність контролю за технічним станом дамби збірника інфільтрату [15].

У 2013 р. товариство з обмеженою відповідальністю «Інститут гірничо-хімічної промисловості» (ТзОВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ») розробив комплексний проект з рекультивациі полігону із загальною кошторисною вартістю 213,155 млн грн і тривалістю рекультивациі 10 років [20].

Полігон ТПВ є складною інженерною спорудою, яка включає: ділянку складування ТПВ, споруди збору та очистки фільтрату (ємкості збору фільтрату, установка очистки фільтрату, залізобетонний резервуар-накопичувач фільтрату), господарську зону (побутовий корпус, механічна майстерня, бокс для зберігання техніки), контрольно-пропускний пункт (автомобільні ваги, що функціонують

лише з 2008 р., яма для миття коліс), а також чотири сховища гудронів. У 1960-1980-х рр. Львівський дослідний маслonaфтозавод скидав гудрони в дані сховища і одне озеро–гудрон взагалі засипане відходами. Кислі гудрони утворювалися за сірчаною кислотою очищення нафтопродуктів і є сумішшю важких фракцій нафти з сірчаною кислотою. З самого початку функціонування полігону відбувалося захоронення відходів, що не відповідало санітарним нормам і правилам, основним з яких є встановлення захисного фільтраційного екрану, що унеможливив би потрапляння шкідливих речовин в ґрунт. Відтак фільтрат сміттєзвалища просочується в ґрунти, а певна частина через дренажні канали стікає в озера-відстійники і в подальшому забруднює поверхневі та підземні води прилеглої території до ЛМП ТПВ [3]. Також через відсутність або недостатнє перекриття (герметизацію) шарів сміття ґрунтом чи іншими матеріалами відбувається забруднення атмосферного повітря, що призводить до погіршення стану здоров'я населення сіл Малехів, Вел. та Малі Грибовичі, Збиранка та інших.

У процесі експлуатації полігону ТПВ стабільність тіла полігону є найважливішою інженерною проблемою, яка значно залежить від дотримання вимог щодо експлуатації полігону. Відтак у результаті більш як п'ятдесятирічної експлуатації полігону близько 23.00 години 28 травня 2016 р. на ЛМП ТПВ виникла пожежа (Рис. 2.2). А вже 30 травня стався зсув сміття, в результаті чого загинули три працівники служби з надзвичайних ситуацій та зниклим залишається один працівник Львівського комунального підприємства «Збиранка».



Рис. 2.2. Пожежа на території ЛМП ТПВ у червні 2016 р

Морфологічний склад ТПВ суттєво відрізняється впродовж року та періоду експлуатації. Кількість накопичення ТПВ значною мірою залежить від ступеня благоустрою житлових будинків, рівня життя населення, культури сортування ТПВ тощо. Щорічне нагромадження ТПВ на міському полігоні у 2010-2014 рр. показано в табл.2.1.

Таблиця 2.1

Щорічне нагромадження відходів на ЛМП ТПВ у 2010-2014 рр.

№ з/п	Роки	тис. куб. м	тонн
1	2010	1731	224 046
2	2011	1707	223 716
3	2012	1447	238 738
4	2013	1492	246 256
5	2014	1465	241 800

За останні десятиріччя відбувається тенденція до збільшення поліетилену, пластику та інших матеріалів довгого періоду розкладання водночас зменшується кількість скла, металу, паперу. Морфологічний склад ТПВ для м. Львова подано в табл. 2.2 [20].

Таблиця 2.2

Морфологічний склад ТПВ для м. Львова

№ з/п	Найменування компонентів ТПВ	Частка, %
1.	Харчові відходи	26
2.	Вуличний відсів	15
3.	Пластмаси, ПЕТ	13
4.	Інертні відходи	12
5.	Папір, картон	10
6.	Текстиль	8
7.	Дерево	5,5
8.	Скло	4
9.	Метал чорний	1,5
10.	Шкіра, гума	1,8
11.	Небезпечні відходи	0,2
12.	Інші відходи	3

Свій внесок у дослідження ЛМП ТПВ внесли такі науковці та громадські діячі: М. Мальований, В. Кучерявий, Н. Голець, І. Волошин, С. Кукурудза, М. Назарук, М. Гайдін, Ю. Малик, В. Ляковська та інші.

2.2. Стан дослідження ЛМП ТПВ

Співробітники кафедри екології та охорони навколишнього середовища НУ «Львівська політехніка» у серпні–жовтні 2011 р. провели моніторинг поверхневих

вод Львівської області та дослідили вплив ЛМП ТПВ на довкілля. Встановлено, що санітарний стан вод за більшістю проб не відповідає нормативам, а полігон автори відносять до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, який негативно впливає на гідросферу [13]. Відділення гірничо-хімічної сировини Академії гірничих наук України та кафедра екологічної безпеки і аудиту НУ «Львівська політехніка» провели спільне дослідження з визначення хімічного складу фільтрату ЛМП ТПВ. Встановлено, що фільтрат полігону характеризується високим вмістом органічних речовин та підвищеним вмістом важких металів, а скидання фільтрату на міські очисні споруди неможливе без спеціального попереднього очищення [5]. Подібні дослідження виконано на кафедрі прикладної екології та збалансованого природокористування НУ «Львівська політехніка» [6].

Розрахунок ефекту газоутворення та дослідження процесу утворення біогазу на ЛМП ТПВ засвідчили про негативний вплив полігону на повітряне середовище, ґрунтові води, ґрунти і рослинність. Полігон ТПВ є своєрідним реактором, у надрах якого утворюється БГ, неконтрольована емісія якого у довкілля формує негативні ефекти як локального, так і глобального характеру [17]. Подана картосхема (Рис. 2.3) ЛМП ТПВ з відповідними блоками звалищного тіла, характерна потужністю 8-48 м. та продуктивністю по БГ 20-235 млн.м³ відповідно для певних блоків. Працівники кафедра екології та охорони навколишнього середовища НУ «Львівська політехніка» розробили конкретні заходи щодо оптимізації екологічного стану довкілля, зокрема для ЛМП ТПВ [18].

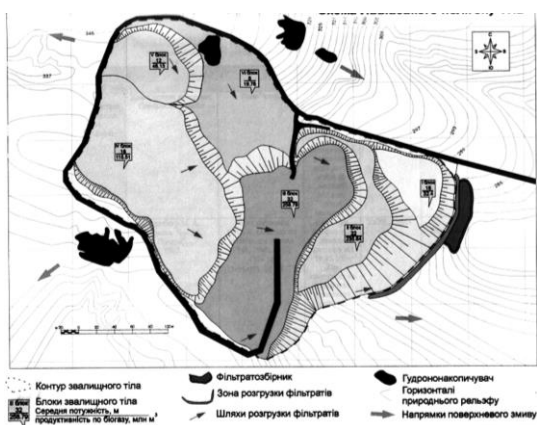


Рис. 2.3. Картосхема ЛМП ТПВ з нанесеною додатковою інформацією [18]

ВАТ «Гірхімпром» та відділення гірничо-хімічної сировини НАН України розробили концепцію рекультивації ЛМП ТПВ, яка враховує вимоги українського законодавства та передбачає послідовні етапи, які повинні виконуватися впродовж 10 р: пошук нових ділянок для сучасного об'єкту поводження з ТВП, впровадження роздільного збору ТПВ, рециклінг вторинної сировини, розробка проекту терміналу для зберігання та відвантаження гудронів, рекультивація звалища з забезпеченням екологічної безпеки, включаючи дегазацію та озеленення [10].

Економіко-екологічний аспект поводження з відходами зокрема, для Львівської області виконала Двудіт З., яка проаналізувала структури утворення та накопичення відходів. Розроблені заходи з покращення ситуації передбачають: розроблення механізмів стимулювання економії первинних матеріальних ресурсів; стимулювання надходжень інвестицій у сферу поводження з відходами; впровадження системи роздільного збирання ТПВ та інші [9].

Стан полігонів Західного Лісостепу України, зокрема Львівського та їх придатність до заліснення проаналізували Кучерявий В. і Попович В. Вони встановили, що найбільш прийнятним способом ліквідації негативних явищ, спричинених сміттєзвалищами, є фітомеліорація [11].

З метою забезпечення поетапного закриття та рекультивації міського полігону розроблено комплексний проект з рекультивації полігону у с. Великі Грибовичі Жовківського району, який повинен виконуватися впродовж 2014-2023 рр., а його вартість становить 213 155,172 тис. грн [21].

Можемо стверджувати, що всі дослідження, щодо ЛМП ТПВ передбачають скоріше оцінку екологічної ситуації самого полігону і не враховують інформації, яка була б доцільною для моніторингу з використанням даних ДЗЗ чи використання ГІС-технологій.

2.3. Дослідження архівних картографічних матеріалів на території ЛМП ТПВ від початку ХХ ст. – до 2006 р.

Досліджувану нами територію подано на довоєнних польських топографічних картах, виданих Військовим інститутом географічним (ВІГ) у

1919-1939 рр. [28].

Однією з перших карт ВІГ на територію Львова є топографічна тактична карта «Pas 49-Slup 38 Lwow» масштабу 1:100 000 1921 р. (Рис. 2.4). Вона є репродукцією австрійської карти 1914 р. масштабу 1:75 000. Рельєф відображено способом штрихів, що є складним для читання карти. Позначки рельєфу подані точками, а карта виконана в чорно-білому варіанті зі станом місцевості на 1921 р.



Рис. 2.4. Фрагмент аркуша топографічної карти масштабу 1:100 000

«Pas 49-Slup 38 Lwow» (ВІГ, 1921 р.)

Значно докладнішим є цей же номенклатурний аркуш карти «Pas 49-Slup 38 Lwow» (ВІГ, 1939 р.) (Рис. 2.5) зі станом місцевості на 1923 р., що укладений у 1924-25 рр. з частковими поновленнями у 1939 р. Карта є кольоровою. Місцевість та територія полігону ТПВ характеризується рельєфом з перерізом 5, 10, 20 м та точками абсолютних позначок висот. На карті досить добре відображено рельєф у вигляді горизонталей, які є згладженими. Рельєф деталізований відображенням ярів.

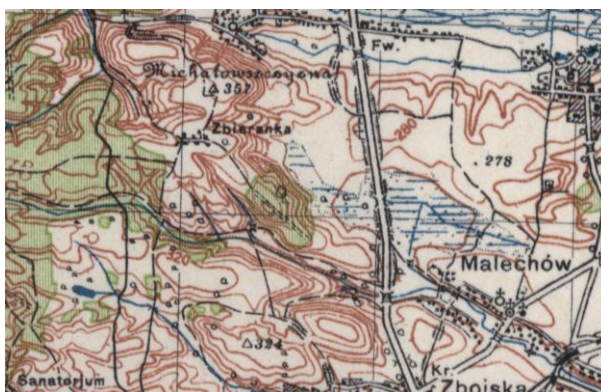


Рис. 2.5. Фрагмент аркуша топографічної карти масштабу 1:100 000

«Pas 49-Slup 38 Lwow» (ВІГ, 1939 р.)

Іншою великомасштабною картою даного періоду є «Мара okolic Lwowa» 1920 р. масштабу 1:25 000 (Рис. 2.6). Карта видана двома фарбами: чорною і коричневою (горизонталі). Горизонталі укладені узагальнено та не дають докладного уявлення про місцевість, відсутні мікроформи рельєфу, яри. Переріз рельєфу становить 25 м, потовщені горизонталі проведено через 50 м. Даний переріз є недостатнім для коректного представлення рельєфу. Основну увагу надано відображенню межі населених пунктів і транспортної мережі. Таке зображення не можна ефективно використати для моделювання початкового рельєфу ЛМП ТПВ.



Рис. 2.6. Фрагмент аркуша топографічної карти в масштабі 1:25 000
«Мара okolic Lwowa» (ВІГ, 1920 р.)

На основі австрійського топографічного знімання 1874 р. та поновлення інформації у 1925 р. ВІГ у 1930 р. видав топографічну карту «Pas 49-Slup - 38 E Lwow-Dublany» масштабу 1:25 000 (Рис. 2.7). Рельєф відображено горизонталлями через 5, 10, 20 м.

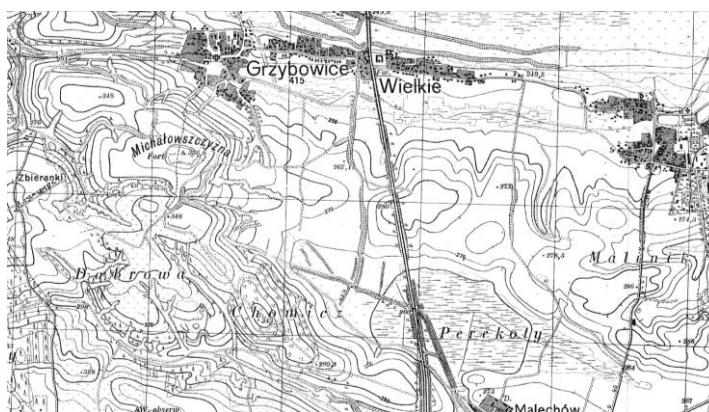


Рис. 2.7. Фрагмент аркуша топографічної карти масштабу 1:25 000 «Pas 49-Slup 38- Lwow-Dublany» (ВІГ. 1930 р.)

Таким чином проаналізовані польські топографічні карти непридатні для моделювання початкового рельєфу неможливе як через їх низьку точність і через недостатню відображеність рельєфу. Дані карти видано більше ніж 19 р. до створення сміттєзвалища.

2.3.1. Моделювання рельєфу та встановлення змін ділянки складування відходів ЛМПі ТПВ

Докладну інформацію про рельєф досліджуваної місцевості містить радянська топографічна карта М-35-73-А-в масштабу 1:25 000 (Рис. 2.8) зі станом місцевості на 1957 р. та перерізом рельєфу 5 м. На карті відсутня будь-яка інформація про сміттєзвалище і тому для моделювання початкової поверхні та структури рельєфу було використано фрагмент даної карти.

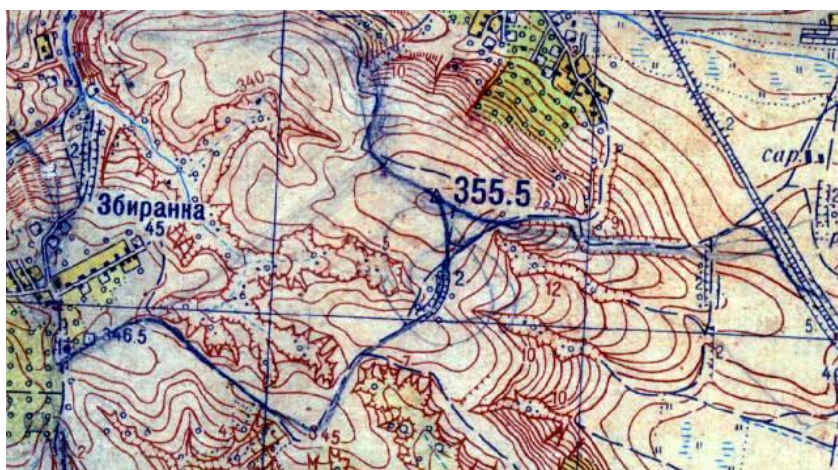


Рис. 2.8. Фрагмент топографічної карти масштабу 1:25 000 з перерізом рельєфу 5 м (ГУГК, 1957 р.)

Особливістю полігону є те, що він був утворений на двох ярах, які з часом заповнювалися відходами. На основі візуальних спостережень ярів, які існують і сьогодні в даній місцевості, встановлено, що вони мають V-подібну форму (Рис. 2.9). Для високоточного відтворення поверхні і структури рельєфу у місцях значного закладення ізоліній, як і в сідловинах, вершинах, не позначених на карті, бажано задавати додаткові вихідні точки [1]. Тому для моделювання структури ярів було додано характерні точки, які розташовані на дні яру та мають абсолютну позначку на десять метрів меншу, ніж відповідні горизонталі на бортах ярів. Також проведено додаткові інтерполяції, як відображено на Рис. 2.10.

На основі цієї карти створено цифрову векторну модель ізоліній та ярів станом на 1957 р. Відповідно нами побудовано TIN-модель (Рис. 2.11) станом на 1957 р., на якій чітко відображено рельєф ярів.

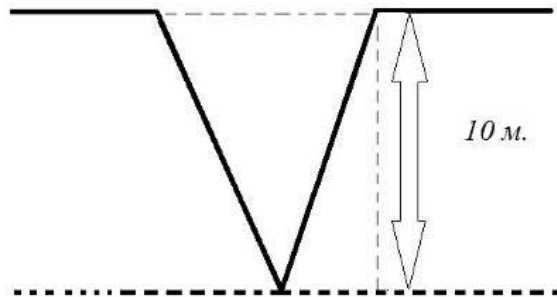


Рис. 2.9. Схема V – подібної форми ярів

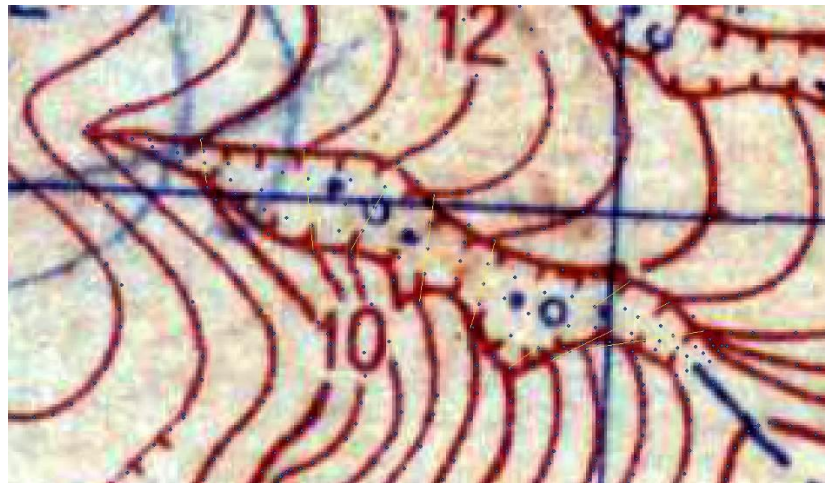


Рис. 2.10. Моделювання рельєфу яру (лініями з'єднано горизонталі з однаковими позначками, а точками позначено додаткові інтерполяції та ізолінії)

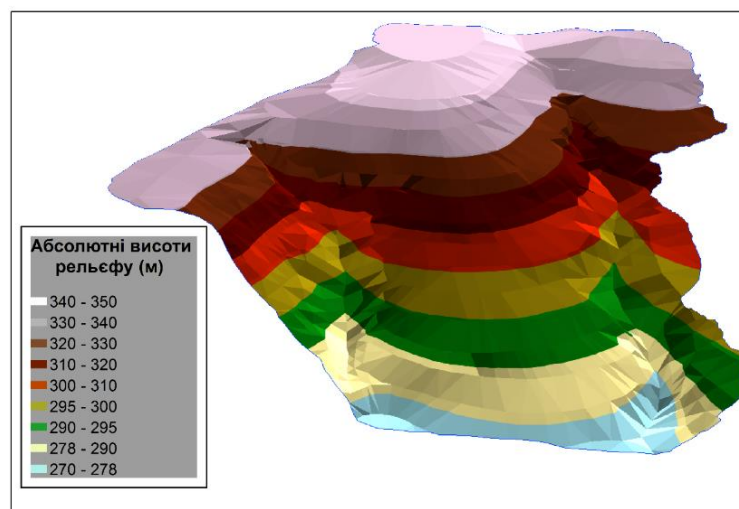


Рис. 2.11. TIN-модель початкового рельєфу ЛМП ТПВ станом на 1957 р.

У 1972 р. видано топографічну карту М-35-73-А-в «Львов» масштабі 1:25 000 з перерізом горизонталей через 5 м. Знімання виконано у 1959 р. з поновленням інформації на 1971 р. (Рис. 2.12). На карті позначено сміттєзвалище, що має чіткі контури і значення зростання та спадання висот складування відходів сягає 45 та 5 м в пн-сх. та пн-зх. частинах відповідно. На території сміттєзвалища на 1971 р. відсутній другий яр, що вочевидь на той час був заповнений відходами і є позначення водойми, в якій зберігався фільтрат. Для цього періоду можемо виділити одну ділянку для захоронення відходів. На карті є умовний знак дороги з асфальтовим покриттям шириною 8 м, що проходить поруч зі сміттєзвалищем. З другої сторони дороги позначені будівлі, що слугували господарською зоною, де розташовані адміністративні, побутові та виробничі будинки і споруди (всього 8), а також показані два озера-гудрони.

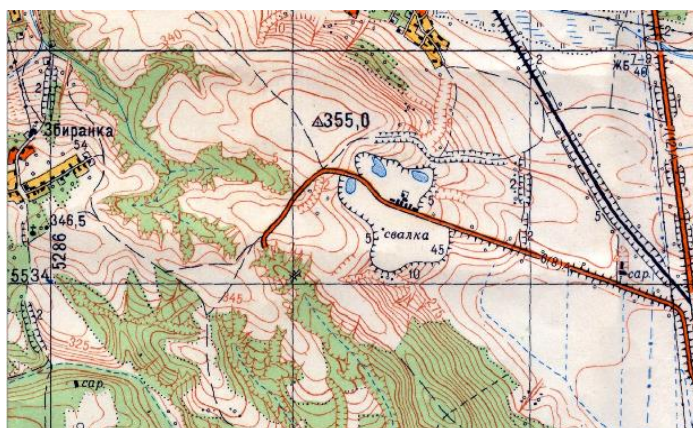


Рис. 2.12. Фрагмент топографічної карти масштабу 1:25 000 з перерізом рельєфу 5 м (ГУГК СРСР, 1972 р.)

У 1985 р. видано топографічну карту масштабу 1:10 000 М-35-73-А-в-1 з перерізом рельєфу 2 м (Рис. 2.13). Враховуючи те, що дану карту укладено в більшому масштабі, можна виділити фактично чотири карти (ділянки) складування відходів, між якими було прокладено під'їзну дорогу шириною 8 м. Для однієї з ділянок складування відходів висота меж складає 20 м. За 1972 по 1985 рр. в південній частині сміттєзвалища з'явилися два нові озера-гудрони, декілька пунктів знімальної мережі із зазначенням висоти місцеположення пункту в метрах над рівнем моря, а також на карті відсутнє позначення першого яру, що на той час був засипаний відходами.

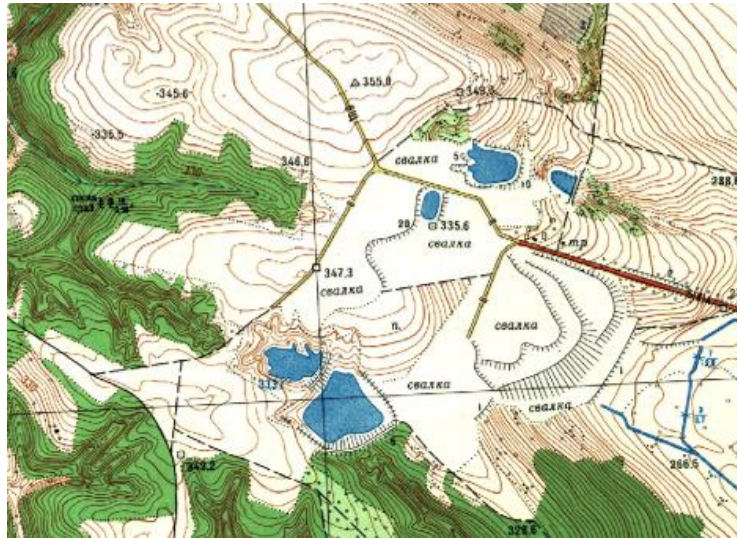


Рис. 2.13. Фрагмент топографічної карти масштабу 1:10 000 з перерізом рельєфу 2 м (ГУГК СРСР, 1985 р.)

На основі карти масштабу 1:10 000 (1985 р.) у 1991 р. видано топографічну карту (Рис. 2.14) в масштабі 1:25 000 і тому суттєвих відмінностей між ситуаціями не спостерігаємо [12].

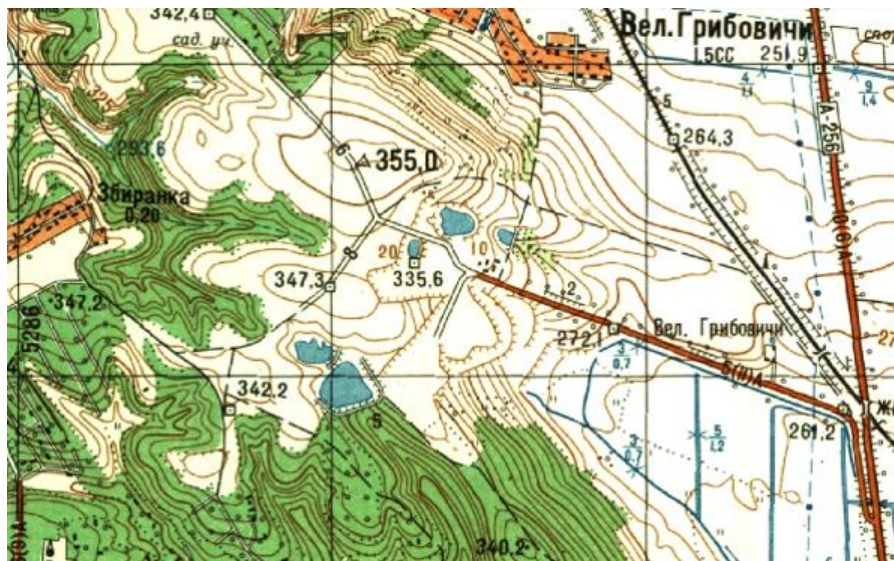


Рис. 2.14. Фрагмент топографічної карти масштабу 1:25 000 з перерізом рельєфу 2 м (ГУГК СРСР, 1991 р.)

Для моніторингу ділянки складування відходів за координатною сіткою здійснено реєстрацію архівних картографічних матеріалів в програмному продукті ArcGis. При виконанні реєстрації для кожної з карт вибрано не менше 6 точок для трансформації вибрано поліноміальну модель трансформації 2-го порядку.

Максимальні похибки реєстрації архівних картографічних матеріалів подано в табл. 2.3, які вказують на те, що використати їх можна для дослідження змін ділянки складування відходів.

Таблиця 2.3

Максимальні похибки реєстрації архівних картографічних матеріалів

Топографічна карта, рік видання	Масштаб карти	Максимальна похибка, м
Топографічна карта (1957 р.)	1:25 000	4,89
Топографічна карта (1972 р.)	1:25 000	4,78
Топографічна карта (1985 р.)	1:10 000	1,85
Топографічна карта (1991 р.)	1:25 000	4,76

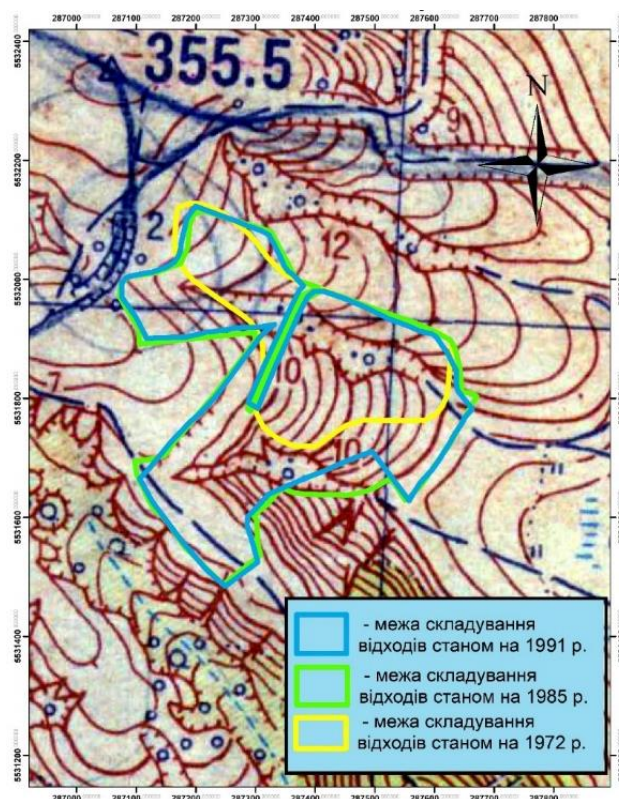


Рис. 2.15. Карта складування відходів ЛМП ТПВ (1972-1991 рр.)

Наступним кроком було створення shape-файлів полігонального типу з відповідними межами для кожної карти. Збережені файли було накладено на топографічну карту станом на 1957 р. (Рис. 2.15) та визначено площу ділянок складування відходів, яка становить на 1972 р. – 85 265 кв. м, 1985 р. – 185 690 кв. м, 1991 р. – 177 690 кв. м.

2.3.2. Опрацювання архівних аерофотознімків станом на 1988 р. для побудови ЦМР ЛМП ТПВ

Топографічну поверхню території ЛМП ТПВ змодельовано на основі чотирьох аерознімків (Рис. 2.16), виконаних 5 жовтня 1988 р. аналоговою аерофотокамерою АФА ТЭ 100. Для знімків визначено 3 стереопари для фотограмметричного опрацювання. У подальшому фотоматеріали відскановано з розрізнюваною здатністю 1200 dpi [26].

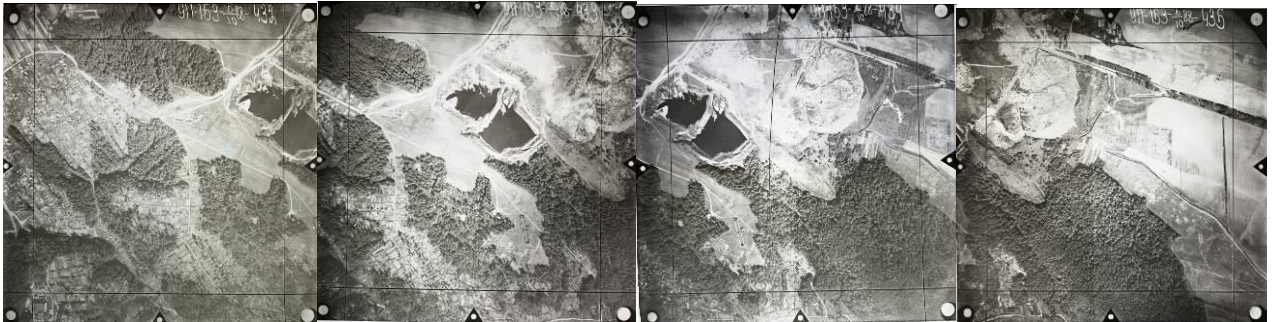


Рис. 2.16. Аерофотознімки ЛМП ТПВ станом на 5 жовтня 1988 р.

Знімки мають посередню візуальну якість, малоконтрастні. Паспортні дані АФА та елементи орієнтування знімків невідомі. Тому обрано таку послідовність фотограмметричного оброблення:

1) Формується наземна опорна мережа (Рис. 2.17) з наявних матеріалів геодезичних вимірювань та великомасштабних ортофотопланів.



Рис. 2.17. Розташування опорних та контрольних точок (жовтий колір)

На території дослідження виконане ГНСС-знімання з метою забезпечення маршруту аерознімків опорними та контрольними точками. Всього опорна наземна мережа складається з 18 точок, просторові координати яких визначено з точністю $\pm 0,05$ м. Враховуючи, що з дати аерознімання до дати геодезичного прив'язування аерознімків пройшов значний час – 29 років, важливо було відібрати необхідну кількість контурів, які збереглися на місцевості протягом цього часу. Такими контурами обрано як тверді контури – кути збережених та зруйнованих будинків, електротрансформатор, так і просторово однозначно визначені контури – перехрестя доріг.

Розпізнавання зображень точок опорної мережі на архівних аерознімках виконано з допомогою космічного зображення сервісу Google Earth, отриманого на проміжний час між датами аерознімання та створенням опорної мережі (аерознімання – 5.10.1988, космічний знімок – 3.11.2005, GPS знімання – 5.11.2017). З виїздом на місцевість полігону ТПВ та прилеглих територій виконано дешифрування таких характерних точок (Рис. 2.18).



Рис. 2.18. Процес польового дешифрування та координування опорної мережі

За результатами фотограмметричного опрацювання Колба І.З. [27] в програмному продукті PIX4D для подальшого геоінформаційного моніторингу нами отримано shape-файл точкового типу, на основі якого побудовано TIN – модель ЛМП ТПВ та прилеглих територій (Рис. 2.19). У результаті автоматичної побудови з'явилась певна кількість некоректних даних, які в режимі TIN-редагування були видалені в ручному режимі.

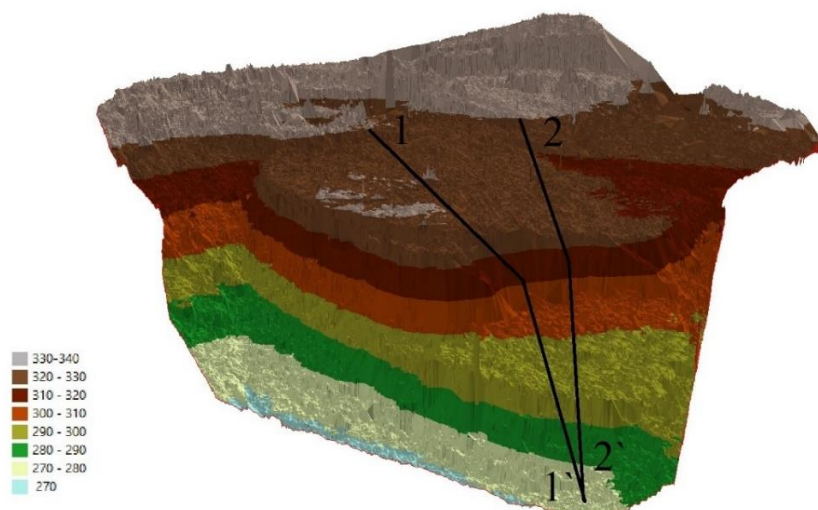


Рис. 2.19. TIN – модель ЛМП ТПВ станом на 5 жовтня 1988 р. та профільні лінії 1-1' та 2-2'

За результатами аналізу ЦМР встановлено, що сформована перша тераса складування відходів з позначками 290-300 м, а також відбувається активна фаза формування другої тераси, яка має абсолютні висоти 318-332 м. Це відображено на побудованих профільних лініях (Рис. 2.20).

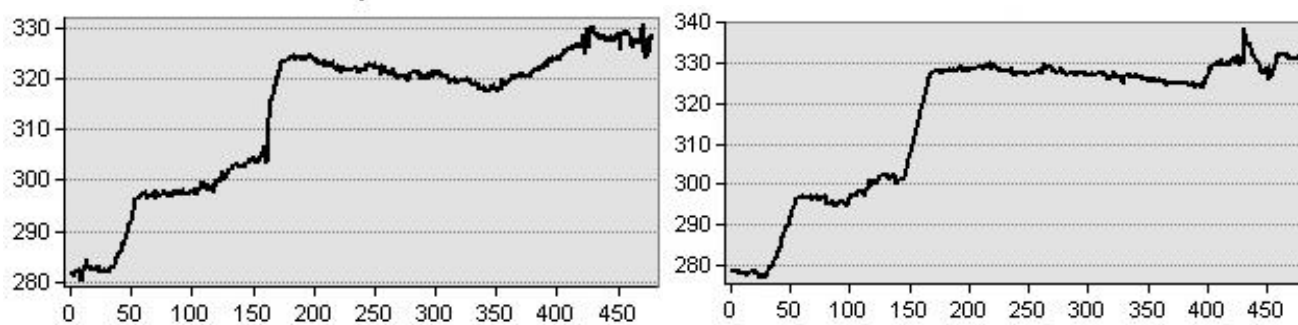


Рис. 2.20. Профільні лінії 1-1' та 2-2'

Наступним кроком при аналізі функціонування ЛМП ТПВ було визначення його об'єму. На основі ЦМР станом на 1957 р. та 1988 р. з допомогою інструменту Surface Difference визначено, що об'єм відходів у 1988 р. становив 2 076 683 куб. м. Для встановлення висоти складування відходів побудовано ізопахіти відносно початкового рельєфу (Рис. 2.21). На основі визначено, що висота складування відходів для першої тераси здебільшого 15-25 м, а для другої тераси її значення варіюються від 0 до 40 м. На основі різниць поверхонь видно, що два яри вже заповнені відходами [27].

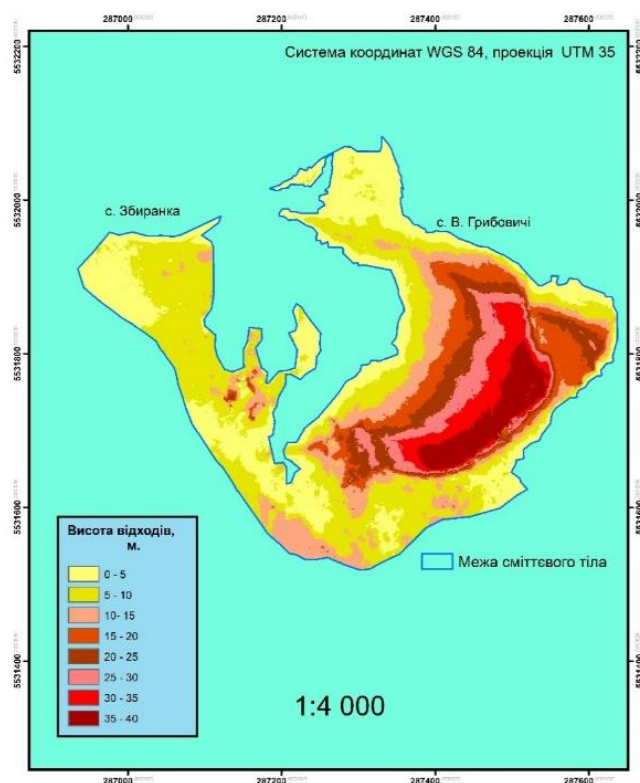


Рис. 2.21. Ізопахіти відходів ЛМП ТПВ відносно початкового рельєфу (1988 р.)

2.3.3. Моделювання ЦМР на основі топографічного плану ЛМП ТПВ станом на 2006 р.

На замовлення ЛМР у 2006 р. Львівський державний інститут проектування комунального будівництва створив топографічний план в масштабі 1:1 000 з перерізом рельєфу 0,5 м у Балтійській системі висот (Рис. 2.22). План охоплює територію ЛМП ТПВ та прилеглих територій і містить інформацію про рельєф у вигляді горизонталей, пікетів і умовних позначень уступів з позначками висот. На ньому відображені озера-відстійники фільтрату, озера-гудрони, ситуація на місцевості (будівлі, споруди, дороги, лінії електропередач та їхні характеристики).

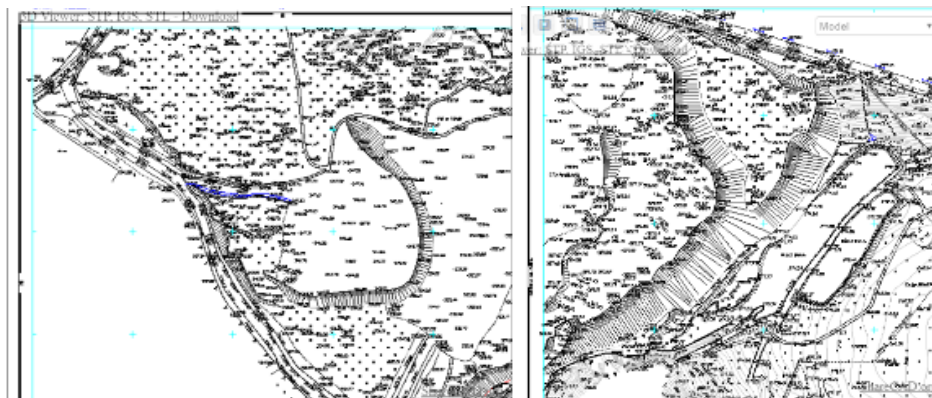


Рис. 2.22. Фрагмент топографічного плану станом на 2006 р.

Для опрацювання даного картографічного матеріалу обрано 10 опорних точок з жорсткими контурами, що збереглися донині, отримані в режимі RTK в системі координат WGS84 та в подальшому використано для реєстрації топографічного плану. Максимальні похибки точності реєстрації топографічного плану становлять 0,17 м. Створено shape-файл, який містить інформацію про висоти на тілі складування відходів (1200 точок), на основі чого побудовано TIN-модель (Рис. 2.23). За результатами моделювання встановлено, що перша тераса знаходиться на позначках 290-300 м, площа якої становить 15 717 кв. м. Друга тераса знаходиться на позначках 300-330 м. У 2006 р. вже відбувається активний процес формування третьої тераси, що мала позначках 330-350 м. Для визначення висоти складування відходів станом на 2006 р. на основі використання TIN-моделей на 1957 р. (Рис. 2.11) та 2006 р. (Рис. 2.23) побудовано карту ізопахітів відходів ЛМП ТПВ (Рис. 2.24). Товщина відходів змінюється від 0 до 40 м. З використанням інструменту Surface Difference визначено об'єм відходів на відповідний період, що становить 2 835 756 куб. м, а площа ділянки складування відходів-242 441 кв. м .

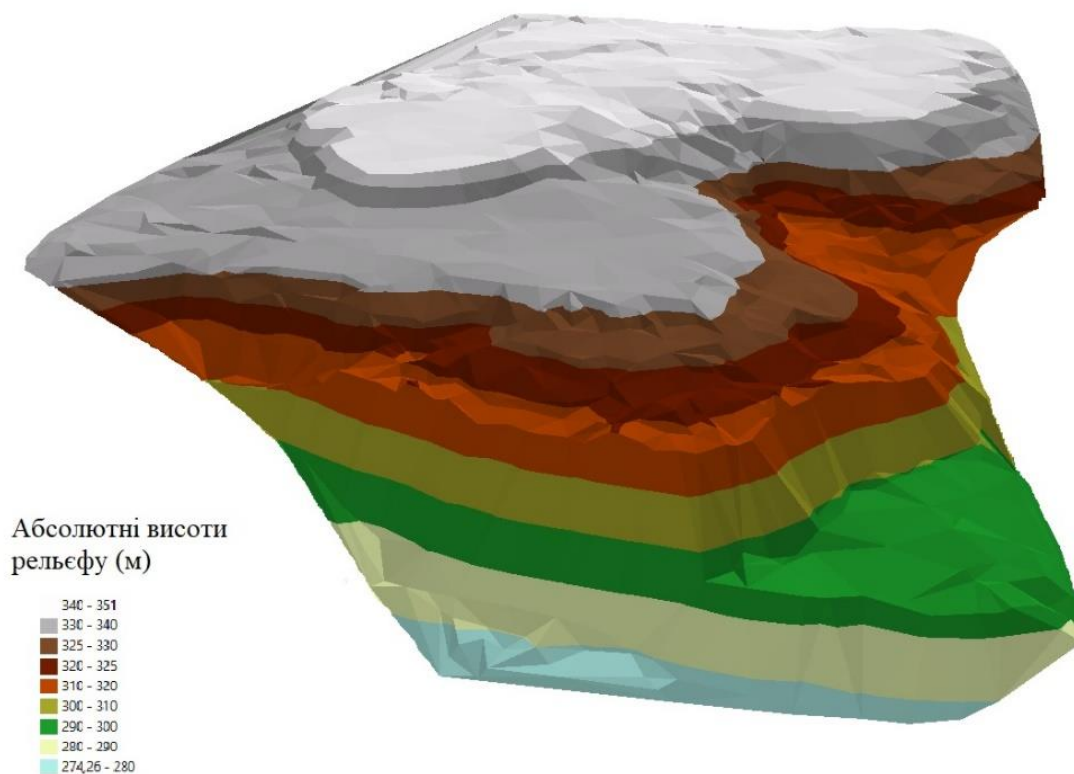


Рис. 2.23. TIN-модель, побудована за топографічним планом 2006 р.

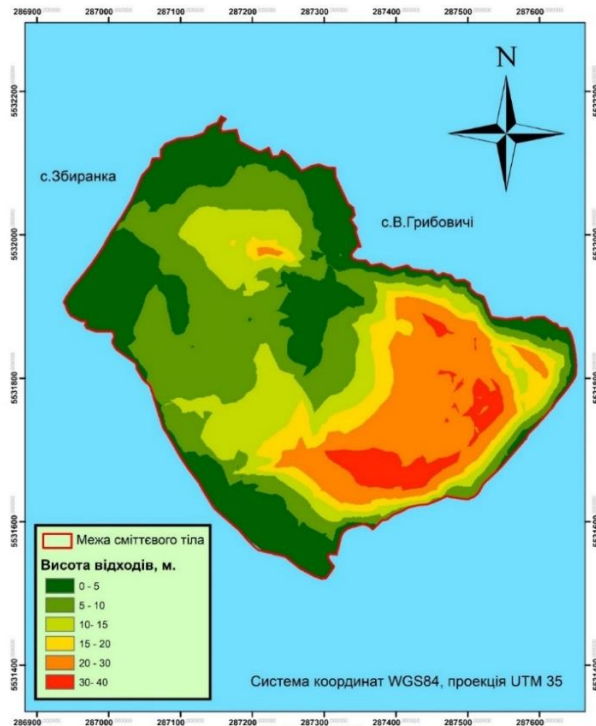


Рис. 2.24. Ізопахіти відходів ЛМП ТПВ відносно початкового рельєфу (2006 р.)

2.4. Рекомендації до проведення ретроспективно-географічного аналізу параметрів об'єктів розміщення відходів за архівними аеро- та картографічними матеріалами

У пасивний період життєвого циклу полігону ТПВ виділяємо два варіанти проведення такого аналізу.

Першим варіантом є ситуація, яка передбачає, коли сміттєзвалище пройшло певні етапи розвитку: утворене як *не санкціоноване*, потім внесене в реєстр місць видалення відходів і стало офіційним *сміттєзвалищем*, в подальшому йому надано статус *полігону ТПВ* (близько 70 % від загальної кількості сміттєзвалищ). У такому випадку необхідним є проведення комплексу заходів із встановлення просторового-часових змін функціонування об'єктів розміщення відходів. Це передбачає виконання збору різного типу архівних даних (картографічні матеріали, матеріали аерофотознімання, космічні знімки різного просторового розрізнення, матеріали кадастрових та топографічних знімків, усні та письмові свідчення очевидців про відходи, що завозилися на об'єкт тощо).

Оскільки територія України покрита низкою різночасових топографічних знімків аналіз виданих топографічних карт дозволить вибрати найоптимальніші з

них для моделювання початкової поверхні території досліджуваного об'єкту. Основними критеріями для вибору такої карти буде докладність відображення рельєфу (висота перерізу рельєфу), масштаб знімання, рік видання, спосіб створення карти (перевидання чи доповнення), колірність карти (чорно-біла, кольорова) та інші. Найкраще для цього підійдуть наявні радянські топографічні карти в масштабі 1:10 000-1:25 000, на яких чітко відображено рельєф місцевості із всіма мікроформи (яри, балки) та перерізом рельєфу 2, 5, 10, 20 м. Наявність серії таких топографічних карт надасть можливість прослідкувати повну історію функціонування полігону ТПВ в часі та просторі, а також встановити динаміку використання територій функціонуючих урбосистем та числових характеристик площі складування ТПВ. За відсутності таких картографічних матеріалів альтернативою можуть слугувати різночасові аеро- та космічні знімки. Однак для визначення об'єму відходів необхідно використовувати пари знімків для опрацювання в стереорежимі із подальшим отриманням ЦМР. Іншим типом даних для аналізу є матеріали архівних аерофотознімків, топографічні плани та інші дані про рельєф. Для використання таких матеріалів важливим етапом буде пошук і розпізнавання точок опорної мережі для їх прив'язки із визначенням координат точок на основі ГНСС-знімання в режимі РТК. Для найкращого моделювання ЦМР потрібно буде отримати якомога більшу кількість точок, що характеризують рельєф (щільна хмара точок, основні та додаткові горизонталі, абсолютні позначки висот тощо). Засобом для такої реалізації буде використанням ГІС-пакетів (ArcGis, Mapinfo), що дає змогу здійснювати опрацювання, збереження, інтерпретування та аналіз таких даних.

Другим варіантом може бути ситуація, коли проектують новий полігон ТПВ. Тоді наявні достовірні картографічні матеріали (топографічні і геологічні карти) можна використати для: обґрунтування вибору земельної ділянки, виконання інженерних досліджень, екологічних вишукувань, визначення мінімального відчуження земельних та природних ресурсів, розробленні матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище, а також для проектування і розрахунку для будь-яких будівельних робіт тощо.

Висновки до розділу 2

1. Розроблено технологію проведення геоінформаційного моніторингу динаміки функціонування ЛМП ТПВ, яка передбачає застосування комплексного підходу з використанням архівних аеро- та картографічних матеріалів.

2. Розроблено методику моделювання рельєфу початкової поверхні полігону на основі архівних картографічних матеріалів. Для ЛМП ТПВ моделювання виконане на основі топографічної карти масштабу 1:25 000 1957 р. Інтерпретація картографічних матеріалів наступних років дала змогу хронологічно встановити площі ділянок складування відходів, що становлять: 85 265 кв. м у 1972 р., 185 690 кв. м у 1985 р., 177 690 кв. м у 1991 р.

3. Встановлено, що для оцінки висотної складової функціонування полігону ефективним джерелом є архівні аерофотознімки. На основі опрацювання та інтерпретації аерофотознімків станом на 5 жовтня 1988 р. визначено активний етап експлуатації полігону. На вказаний час встановлені перша та друга тераси складування відходів, що знаходились на позначках 290 та 310 м відповідно. Побудовано ізопахіти складування відходів, що змінюються в інтервалах 0-5 м в північній частині та 10-15 м – у південно-східній частині полігону. Визначено об'єм захоронених на полігоні ТПВ, що становить 2 076 683 куб. м.

4. На основі архівних аеро- та картографічних матеріалів проведено ретроспективно–географічний аналіз ЛМП ТПВ з середини ХХ ст. до 2006 р. Дані матеріали дають змогу інтерпретувати зміну полігону та прилеглих територій діючих урбосистем, до яких можна віднести появу господарських будівель, автошляхів, озер-гудронів та інших.

5. Аналіз архівних аеро- та картографічних матеріалів засвідчив про необґрунтованість вибору земельної ділянки під сміттєзвалище, яке було розташоване у ярах і не відповідало санітарним вимогам. Опрацьовані топографічні карти підтвердили, що розвиток полігону відбувався пропорційно із збільшенням кількості населення міста та функціонуючих урбосистем. Для моніторингу процесів, що відбувалися за період функціонування полігону, важливо мати якомога більшу кількість даних аерознімання або топографо-

геодезичних матеріалів.

6. Розроблені методика та рекомендації проведення ретроспективно-географічного аналізу ЛМП ТПВ можуть бути застосовані для всіх об'єктів, де відбувається захоронення відходів (полігони ТПВ, (не) санкціоновані сміттєзвалища), а також для встановлення змін ландшафту місцевості діючих урбосистем, екологічних цілей, ефективного використання земель тощо.

Список літератури до розділу 2

1. Бурштинська Х. В. Аналіз тривимірної моделі рельєфу, побудованої за різними вихідними даними / Х. В. Бурштинська, І. Супрун // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2004. – № 1. – С. 230-233.
2. Волік О. В. Антропогенна трансформація природи заповідника „Медобори” та прилеглих територій впродовж ХХ ст. / О. В. Волік, Й. М. Свинко, П. М. Дем’янчук // Охорона і менеджмент об’єктів неживої природи на заповідних територіях: Мат. міжнародної науково-практичної конференції, (Гримайлів, 21–23 трав. 2008 р.). – Гримайлів-Тернопіль: Джура, 2008. – С. 54-57.
3. Волошин П. Аналіз впливу Львівського сміттєзвалища на природне середовище / П. Волошин // Вісник Львівського університету. Серія : Геологічна. - 2012. - Вип. 26. - С. 139-147.
4. Волошин П. К. Про дослідження з оцінки екологічного та санітарно-гігієнічного стану територій, прилеглих до Львівського полігону твердих побутових відходів / Волошин П. К., Цегелик Р. О., Бірук С. В. // Звіт ВАТ “Геотехнічний інститут”. – Львів – 2005.
5. Гайдін А. М. Хімічний склад фільтрату Львівського полігону твердих побутових відходів / А. М. Гайдін, В. О. Дяків, В. Д. Погребенник, В. Д. Пашук // Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – 2013. – № 10. – С. 43–50.
6. Голець Н. Ю. Розрахунок класу небезпеки фільтрату Грибовицького полігону твердих побутових відходів / Н. Ю. Голець, М. С. Мальований, Ю. О. Малик // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2013. – № 7. – С. 219–224.
7. Грицьків Н. З. Дослідження динамічних процесів на гірничо-промислових об’єктах методами геоінформаційного моделювання / Н. З. Грицьків, В. О. Горлатова // Геодезія, картографія і аерофотознімання. - 2014. - Вип. 80. - С. 91-100.
8. Гулик С. Методичні підходи до вивчення ландшафтів на підставі

- різночасових карт / С. Гулик // Екологічна географія: історія, теорія, практика: Матеріали II міжн. наук. конф. – Тернопіль, 2004. – С. 43-45.
9. Дзуліт З. П. Аналіз стану в сфері поводження з відходами в Львівській області / З. П. Дзуліт // Теоретичні та прикладні питання економіки. – 2009. – № 19. – С. 269–277.
10. Зозуля І. І. Шляхи вирішення проблем Львівського полігону твердих побутових відходів / І. І. Зозуля, А. М. Гайдін, В. О. Дяків // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2010. – № 1. – С. 106–112.
11. Кучерявий В. П. Полігони твердих побутових відходів Західного Лісостепу України та проблеми їх фітомеліорації / В. П. Кучерявий, П. П. Попович // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – № 22. – С. 56–66.
12. Лозинський В. А. Аналіз архівних картографічних матеріалів на територію Львівського міського полігону ТПВ з 1950 по 1990 роки / В. А. Лозинський. // Зб. праць матеріалів восьмої всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих учених “Наукова Весна” м. Дніпро 26-27 квітня 2017 р. С.27-28.
13. Мальований М. С. Тверді побутові відходи м. Львова та їх вплив на довкілля / М. С. Мальований, О. Я. Голодовська, М. І. Пастернак // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2011. – № 700. – С. 250–252.
14. Ничая О. О. Ретроспективно-географічний аналіз забудови як виду природокористування на території Волинської височини (на прикладі Волинської області) [Текст] / О. О. Ничая // Актуальні проблеми сучасної науки. Мат. III Міжн. наук.-практ. конференції – Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2015. – Ч. II. – С. 20-22.
15. Павлів А. Про надання інформації щодо звалища ТПВ в с. В. Грибовичі Жовківського району, 2013. – 2 с.
16. Петрушка І. М. Біогазовий потенціал Львівського полігону твердих побутових відходів / І. М. Петрушка, О. Р. Попович, Г. О. Жук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Хімія,

- технологія речовин та їх застосування. – 2009. – № 644. – С. 185–188.
17. Петрушка І. М. Біогазовий потенціал Львівського полігону твердих побутових відходів / І. М. Петрушка, О. Р. Попович, Г. О. Жук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2009. – № 644. – С. 185–188.
18. Попович О. Р. Проблеми утилізації твердих побутових та промислових відходів Львівської області / О. Р. Попович, О. Р. Ярема // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2008. – № 609. – С. 258–261.
19. Програма заходів для налагодження системи поводження з твердими побутовими відходами у м. Львові на 2017 – 2019 рр. / Рішення Львівської міської ради № 482. X сесія VII скликання від 13.07.2017.
20. Програми поводження з твердими побутовими відходами у м. Львові на 2014-2018 роки / Ухвала Львівської міської ради № 4132 від 18.12.2014.
21. Програми поводження з твердими побутовими відходами у м. Львові на 2014-2018 роки / Затв. ухвалою Львівської міської ради № 4132 від 18.12.2014.
22. Сосса Р. І. Історія картографування території України: Підручник / Р. І. Сосса. – К.: Либідь, 2007. – 336 с.
23. Ухвала Львівської міської ради № 743 від 06.09.2011 «Про екологічну ситуацію на Львівському міському сміттєзвалищі (с. Великі Грибовичі Жовківського району) та прилеглих територіях»
24. Четверіков Б. В. Визначення місць масових поховань часів Другої світової війни за допомогою ГІС-технологій / Б. В. Четверіков, М. Т. Процик // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2015. – Вип. 81. – С. 104-111.
25. Четверіков Б. В. Технологія створення цифрової моделі місцевості на прикладі ансамблю оборонних споруд "Цитадель" (м. Львів) / Б. В. Четверіков, Х. І. Бідюк // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2014. – Вип. 80. - С. 111-119.
26. Lozynskyi V. A. Analysis of archival cartographic materials for the modeling of

digital terrain model of the Lviv city landfill during 1988-2008 / V. A. Lozynskyi.
// 7th International Youth Science Forum «LITTERIS ET ARTIBUS». Lviv,
Ukraine, November 23-25, 2017, p. 208-209.

27. Lozynskyi V. A. Retrospective-geographical analysis of Lviv city landfill / V. A. Lozynskyi, I. Z. Kolb, T. J. Ilkiv // Geodesy, Cartography and Aerial Survey. – 2017. – Volume 86. – pp. 45–57.
28. Map Archive of Wojskowy Instytut Geograficzny 1919 – 1939 [Электронний ресурс] – Режим доступу до джерела: [http://mapywig.org/
http://maps.mapywig.org/m/WIG_maps/series/100K_300dpi/4072_LWOW_1921_IWG_300dpi.jpg](http://mapywig.org/http://maps.mapywig.org/m/WIG_maps/series/100K_300dpi/4072_LWOW_1921_IWG_300dpi.jpg)

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛМП ТПВ ЗА МАТЕРІАЛАМИ АЕРОЗНІМАННЯ З БПЛА

Загальновідомо, що використання методів ДЗЗ є ефективним засобом для збору геопросторових даних для великих за площею територій. З середини 2000-х років набуло досить широкого застосування в Україні використання БПЛА. Окрім класичного використання БПЛА при топографічному картографуванні їх можна використовувати для вирішення будівельних завдань Сіберт С. (Siebert S.) [31], моніторингу парків Дастін М. (Dustin M.) [22], виявлення незаконних зливачів каналізації та інших відходів Лега М. (Lega M.) [26], моделювання археологічних пам'яток Хаала Н. (Haala N.) [23], вирішення завдань в сільського господарства Шварцбах М. (Schwarzbach M.) [30].

Також застосування БПЛА може значно покращити визначення параметрів простору об'єктів розміщення ТПВ. Це економічно вигідніше, ніж використання контактних геодезичним методів.

3.1. Методика визначення об'єму ЛМП ТПВ з використанням архівних картографічних матеріалів та матеріалів аерознімання

Визначення об'ємів відходів є актуальним завданням, однак зважаючи на особливості розміщення кожного з таких об'єктів (фізико-географічне розташування, геологічні аспекти), природні та техногенні явища (землетруси, зсуви, цунамі, повені, погодні умови) це вимагає індивідуального підходу до розроблення методики визначення об'єму об'єктів розміщення відходів. Тому в окремих випадках для їх визначення достатньо зробити виміри за допомогою геодезичного знімання чи НЛС та обчислити значення об'єму, що з розвитком сучасних геодезичних приладів не є проблематичним.

У іншому випадку невідомою може бути земна поверхня (початкова), однак її можна описати з використанням картографічних матеріалів. Врахування особливостей рельєфу в даному випадку буде визначальним. Форма об'ємного тіла має свої особливості характерною досить різною конфігурацією залежно від географічного місця розташування, морфометричних показників та ін. Аналогічно

полігони ТПВ можуть бути розташовані на місцевості діючих урбосистем із складними формами рельєфу. Через понад нормову експлуатацію полігону можуть відбуватися значні зміни ландшафту, а й іноді виникати надзвичайні ситуації, зокрема зсуви відходів. До того ж у післяексплуатаційний період існування полігону розробляють проект рекультивації, який передбачає розрахунок кількості ізолюючої породи, що залежить від об'єму відходів. Основними вихідними даними для виконання проекту рекультивації є: площа, зайнята безпосередньо відходами (га); загальний об'єм накопичення відходів (тис. м³); об'єм надходження відходів за роками експлуатації (тис. куб.м); висота шару відходів [13].

3.1.1. Польові та камеральні роботи при аерозніманні ЛМП ТПВ із використанням БПЛА TRIMBLE UX-5 (жовтень 2015 р.)

Планування та аерознімання ЛМП ТПВ. Для моделювання поверхні ЛМП ТПВ в жовтні 2015 р. працівники Інституту геодезії виконали аерофотознімання БПЛА TRIMBLE UX- 5.

На першому етапі виконано проектування робіт в контролері Tablet, який використовується для управління і контролю всіх процесів – від планування маршрутів і до аварійної посадки. У програмному середовищі Trimble Access Aerial Imaging було запроєктовано польотну місію, яка складалася з 3 проектів Рис. 3.1.

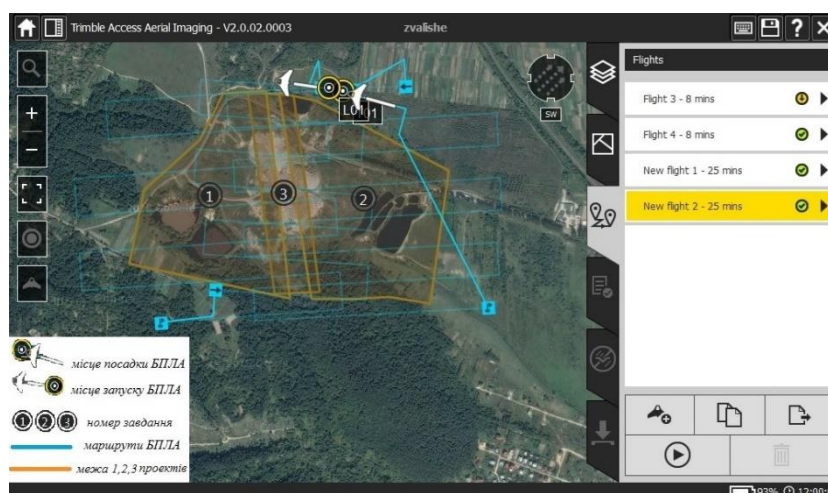


Рис. 3.1. Вікно програмного пакету Trimble Access Aerial Imaging з нанесеною додатковою інформацією

При виборі місця запуску та посадки, які відповідали б технічним характеристикам для даного БПЛА, зауважемо певні особливості під час плануванні цього проекту:

- з південної сторони полігон оточений густим лісом, з північної та північно-західної сторони територія є надзвичайно горбиста з різного роду кущами та чагарниками, що ускладнювало вибір місця запуску та посадки БПЛА;
- перепад висот між 1 і 2 проектами складає більше як 50 метрів, що могло вплинути на зв'язок між контролером і літаком;
- на території сміттєзвалища спостерігалось велике скупчення різноманітних птахів, які могли б завадити польоту.

При плануванні проекту враховано результати досліджень Інституту геодезії щодо можливостей БПЛА TRIMBLE UX-5 для створення ортофотопланів і ЦМР: при аерозніманні з висоти 300 м відзначена втрата зв'язку між контролером і літаком, що за віддалення останнього від точки на 400 м призводить до аварійної посадки [3]. Тому нами було обрано ділянку, яка знаходиться у північній частині об'єкту, має невеликий ухил.

Ця ділянка є оптимальним рішенням, так як місце запуску та посадки розташовується поблизу сміттевого тіла (Рис. 3.1) та є захищене з навітряної сторони деревами та вкрите високою травою з поодинокими кущами. Це уможливорює безпечний запуск та посадку не тільки проти вітру, а й в іншому напрямку. Також забезпечується найменша відстань до БПЛА і пряма видимість упродовж усього польоту, що дозволяє отримати надійний зв'язок між контролером та літаком. Набутий досвід можна використовувати при подальших дослідженнях цього та інших об'єктів, які характерні складним рельєфом.

Перевагою цього продукту є те, що оператор ручним способом задає висоту знімання, повздовжнє та поперечне перекриття. Також програмний продукт дає можливість автоматично розраховувати необхідний час польоту та розмір пікселя.

Для зменшення похибки за рельєф нами було заплановано 3 проекти на 3 різних висотах (таблиці 3.1), проекти між собою мали поперечне перекриття.

Таблиця 3.1

Параметри аерофотознімання БПЛА

№ проекту	Повздожнє та поперечне перекриття, %	Висота знімання, м	Розмір пікселя, см	Час знімання, хв
Проект 1	70	300	9,57	8
Проект 2	70	260	8,29	9
Проект 3	70	280	8,93	8

Обчислення середньої квадратичної похибки визначення координат точок за матеріалами аерознімання з БПЛА. За формулами з [7] нами розраховано середню квадратичну похибку (СКП) визначення координат точок для трьох проектів, які були виконані на різних висотах. В результаті були обраховані СКП для 260 м, 280 м, 300 м висот фотографування (див. табл. 3.2.)

Таблиця 3.2

Апріорне значення СКП

№ проекту	Висота знімання (м)	В (м)	m_{zn}	m_x м.	m_y м.	m_z м.
1	300	100	1:2000	0.24	0.18	0.30
2	260	90	1:1733	0.20	0.15	0.25
3	280	80	1:1866	0.26	0.19	0.33

Аналізуючи дані апріорних значень СКП координат точок можна стверджувати, що найкраща точність є для другого проекту, але оскільки дані проекти об'єднані та опрацьовувані як один, то максимальна точність визначення координат в плановому положенні становить 0,26 м, а по висоті – 0,33 м.

Планово-висотна прив'язка при аерозніманні (жовтень 2015 р.). У процесі координування проведено фотоабрис, який в подальшому був використаний при створенні ортофотоплану для ідентифікації на знімках опорних точок. На всю територію полігону було закоординовано 32 опорні точки, які були розташовані по периметру межі кожного з проектів. Враховуючи характер рельєфу і значний перепад висот на тілі сміттєзвалища для забезпечення більшої достовірності вихідних даних для фотограмметричного блоку, були розташовані додаткові опорні точки. Визначення координат опознаків відбувалося за допомогою ГНСС-приймача Trimble R7 в режимі RTK від мережі базових станцій GEOTERRACE Національного університету «Львівська політехніка». Точність визначення

планових координат становить 3-5 см, висотної компоненти – до 10 см. Для порівняння з існуючими картографічними матеріалами на дану територію після завершення знімання усі висоти приведено до Балтійської системи висот [9].

Створення ортофотоплану та ЦМР. Результати аерофотознімання з БПЛА опрацьовано в ПП Trimble Business Center Photogrammetry (Рис. 3.2), який дає досить широкі можливості для створення хмари точок, ортофотоплану, нерегулярної трикутної сітки (TIN), карти ізоліній [32]. Для цього виконано: завантаження знімків, вибір системи координат, об'єднання 3-х проектів з різними висотами знімання в один, зовнішнє орієнтування знімків, урівноваження станцій фотографування. У результаті таких дій створено ортофотоплан (Рис. 3.3), хмару точок (Рис. 3.4) та TIN-модель (Рис. 3.5).

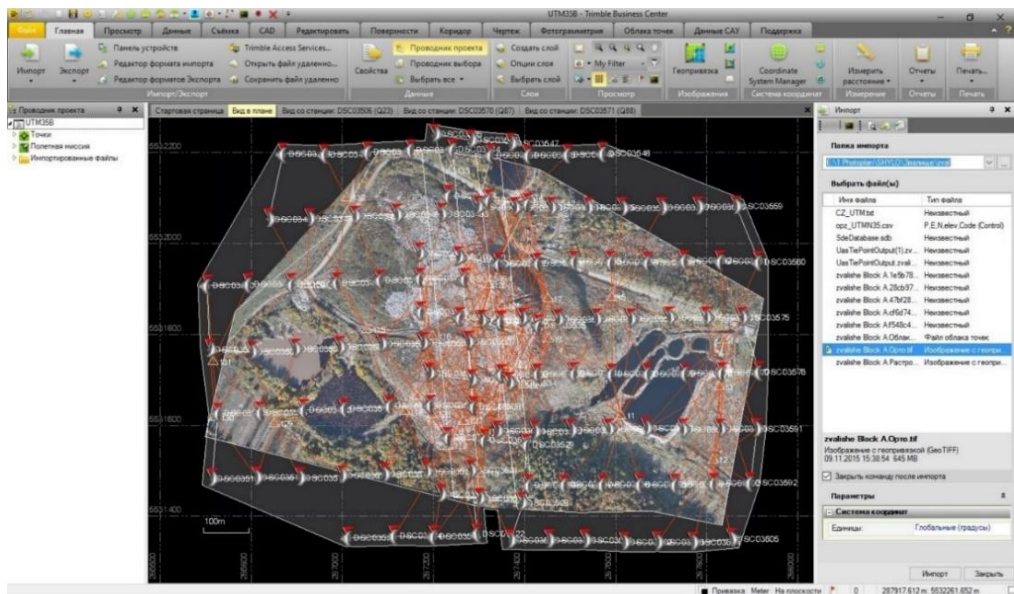


Рис. 3.2. Вікно Trimble Business Center Photogrammetry з розташованими станціями фотографування

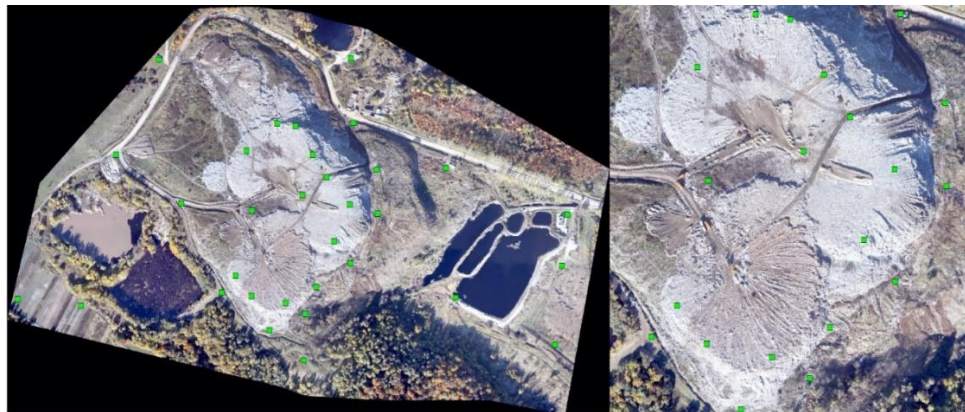


Рис. 3.3. Ортофотоплан з розташуванням опорних точок



Рис. 3.4. Хмара точок з накладанням ортофотоплану полігону

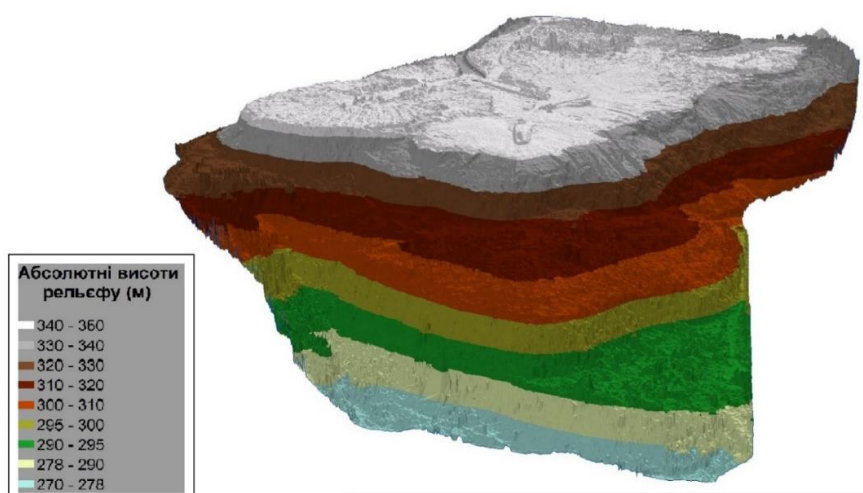


Рис. 3.5. TIN-модель, що отримана з БПЛА (жовтень 2015 р.)

Аерознімання за допомогою БПЛА дозволяє скоротити час на виконання як польових, так і камеральних робіт. В табл. 3.3 представлені затрати часу та потреба трудових ресурсів на виконання робіт.

Таблиця 3.3

Затрати часу та потреба трудових ресурсів на виконання робіт

№	Вид робіт	Затрати часу	Потреба у виконавцях (осіб)
1.	Польові роботи		
1.1	Координування опорних точок	3 год.	2
1.2	Виконання аерофотознімання	25 хв.	2
2.	Камеральні роботи	4 год.	1

ЛМП ТПВ є діючим, тому на його території постійно знаходяться сміттєвози, бульдозери, трактори та автомобілі. Недіюча частина полігону заросла кущами, висота яких сягає 2 м. Поверхні цих об'єктів включені в хмару точок. Тому перед побудовою ЦМР були видалені об'єкти, які не відносяться до класу рельєф (рослинність, автомобілі, люди, будівлі).

Визначення об'єму ЛМП ТПВ (жовтень 2015 р.). Найбільш розповсюдженими моделями представлення даних про рельєф в геоінформаційних системах (ГІС) є TIN та GRID моделі. Використавши TIN-моделі, створені в ArcGIS з використанням інструменту Surface Difference (Рис. 2.11 та Рис. 3.5), обчислено об'єм сміттевого тіла, який становить 4 072 357 куб. м та площа 274 527 кв. м.

Інструмент Surface Difference визначає числове значення об'єму та дозволяє будувати TIN моделі, які містять різниці точок обидвох поверхонь. Визначення об'єму виконано додаванням елементарних об'ємів трикутних призм з непаралельними основами. Авторське право на математичний алгоритм визначення об'єму однієї призми належить компанії ESRI і не розголошується. Цей факт не дозволяє виконати апіорну оцінку точності визначеного об'єму цим інструментом.

Для контролю висоти складування відходів на полігоні створено ізопахіти висоти складання сміття. Висота сміття в південній частині сягає більше 50 м і відображається структура ярів (Рис. 3.6) [8].

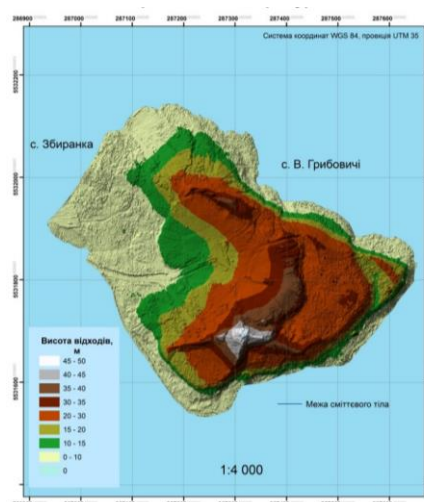


Рис. 3.6. Ізопахіти відходів ЛМП ТПВ (жовтень 2015 р.)

Порівняння різних методів інтерполяції при визначенні об'єму ЛМП ТПВ (жовтень 2015 р.). Недоліком моделі GRID є те, що вона не завжди може точно відображати структуру рельєфу. Особливо це стосується території, де одночасно присутні ділянки з пологим рельєфом та обриви, які мають великі перепади висот. Подібних недоліків позбавлена модель TIN. Оскільки використовується нерегулярна мережа трикутників, то плоскі ділянки моделюються малою кількістю великих трикутників, а на ділянках крутих уступів поверхня відображається численними маленькими трикутниками [18]. Основним методом розрахунку TIN є триангуляція Делоне, тому в порівнянні з іншими методами вона має властивості, які найбільше підходять для ЦМР [11]. Перевагою GRID є її регулярність, що дозволяє використовувати значно простіші математичні алгоритми та скорочувати час обчислень при роботі з двома поверхнями, що більше у порівнянні з TIN моделями.

Враховуючи результати досліджень німецьких вчених Крауса К. (Kraus K.) [25], Мюллера Д. (Mueller G.) [28] та словенського вченого Урбанчіка Т. (Urbančič T.) [33], при визначенні об'ємів GRID-модель вважається рівноцінною TIN-моделі, якщо виконується умова (3.1).

$$|V_{TIN} - V_{GRID}| < 0,05 \times V_{TIN}, \quad (3.1)$$

де, V_{TIN} – об'єм, визначений за TIN-моделлю,

V_{GRID} – об'єм, визначений за GRID моделлю.

Нерівність (3.2) також використовується при розрахунку оптимального розміру комірки GRID моделі.

Для досліджуваного об'єкту побудовано регулярну ЦМР з квадратною елементарною коміркою та визначено об'єм тіла, обмеженого двома поверхнями, з використанням методу чисельного інтегрування Сімпсона [29]. Таким чином, об'єми були визначені для 10-ти розмірів комірки (0.05 м, 0.1 м, 0.25 м, 0.5 м, 0.75 м, 1 м, 2 м, 5 м, 10 м, 20 м.) та 5 методів інтерполяції, а саме:

- Inverse Distance to a Power (IDP): Power=2, Anisotropy (Ratio) = 1, Number of sectors to search=4;
- Kriging: Variogram Model =linear, Slope =1, Anisotropy = 1;

- Triangulation with Linear Interpolation (TLI): Anisotropy (Ratio) = 1;
- Nearest Neighbor (NN): Range 1, 2 = 944;
- Radial Basic Function (RBF): Multiquadric, $R^2=0.069$, Anisotropy = 1.

Для обчислення відносної похибки визначення об'єму за GRID моделями використаємо формулу:

$$f = |V_{TIN} - V_{GRID}| / V_{TIN} * 100\% \quad (3.2)$$

Результати обчислень для різних розмірів комірки та методів інтерполяції представлено на графіку (Рис. 3.7), з якого отримуємо, що тільки метод TLI задовольняє нерівність (3.2). Це можна пояснити тим, що для побудови GRID використовується триангуляція Делоне, так як і при побудові TIN-моделі, а значення у кожній комірці обчислюється за допомогою лінійної інтерполяції для кожного з трикутників. Найбільше відхилення об'єму отримано з використанням методу інтерполяції IDP (12 %). Методи Kriging, NN та RBF дають відхилення в межах 8-9 %. Як бачимо, ні один з методів інтерполяції не дозволяє побудувати GRID, яка була б рівноцінна TIN-моделі за винятком TLI. При зміні розмірів комірки від 5 см до 20 м відносна похибка f для кожного методу інтерполяції змінюється в межах від 0,5 до 1,14 % (IDP – 0.53 % (бл. 25 000 м³), Kriging – 0.51 % (бл. 29 000 м³), NN – 0.23 % (бл. 14 000 м³), RBF – 1.14 % (бл. 42 000 м³)).

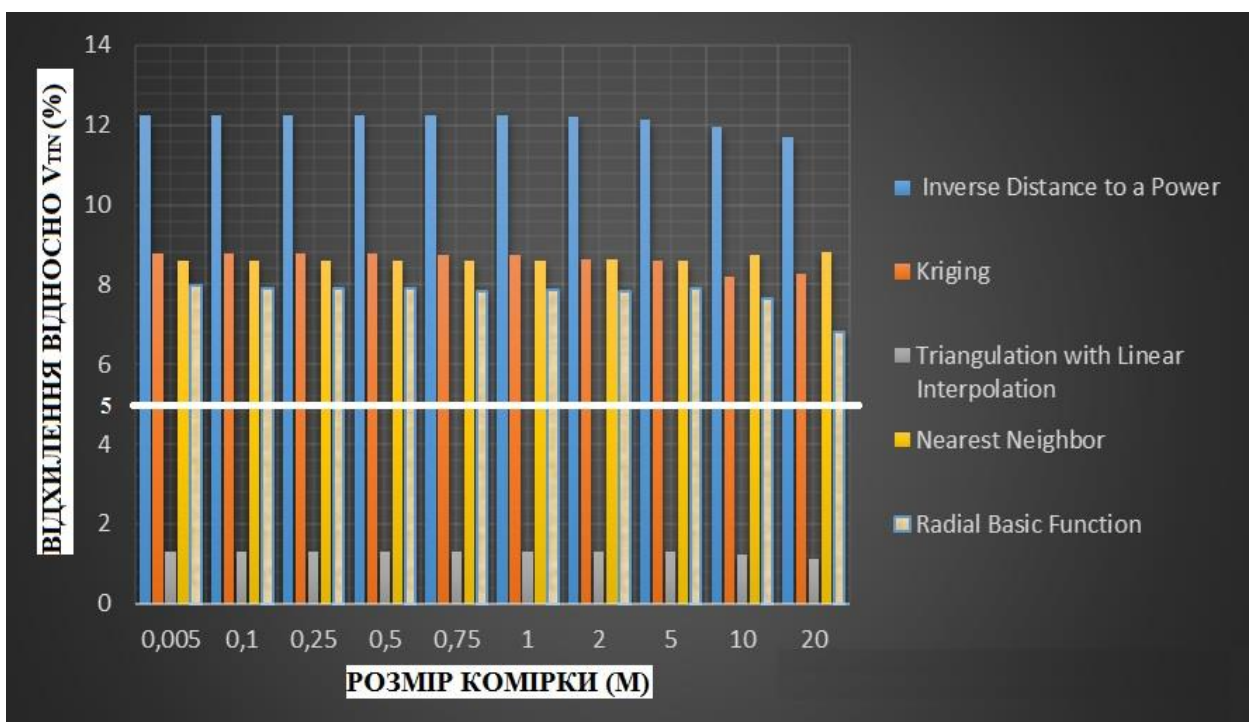


Рис. 3.7. Відносна похибка об'єму, визначена за GRID (%)

Така незначна зміна об'єму для різних розмірів комірки вказує на складну структуру рельєфу полігону ТПВ, який виражений трьома терасами з перепадами висот до 80 м, ухилами від 0 до 90 градусів, що ускладнює його описання математичними функціями.

Тому слід виконати низку теоретичних та експериментальних досліджень, пов'язаних з моделюванням поверхонь, отриманих за допомогою БПЛА, картографічних матеріалів та провести оцінку точності визначення об'єму з використанням ГІН-моделей.

3.1.2. Розрахунок накопичення відходів на ЛМП ТПВ упродовж 1959-2015 рр. на основі вагового методу

Обслуговуванням ЛМП ТПВ займається ЛКП «Збиранка», яке використовує ваговий метод визначення об'єму ТПВ, що має найменшу точність. Згідно даних, отриманих від ЛМР (табл. 3.4), для переходу від ваги до об'єму використовується показник – щільності ТПВ. У період 1959-1994 рр. цей показник був невідомий і будемо вважати, що він є такий же, як для 1995-2006 рр. і становить $1 \text{ м}^3 - 230,00 \text{ кг}$. З 2007 р. щільність відходів становить $1 \text{ м}^3 - 165,00 \text{ кг}$.

Таблиця 3.4

Накопичення відходів на ЛМП ТПВ протягом 1959-2015 рр.

№	Рік	Вага (тис. тон)	Щільність відходів(кг)	Об'єм (куб. м)
1	1959–1998	7 621,6	230	33 137 391,304
2	1999	208,0	230	904 347,826
3	2000	198,5	230	863 043,478
4	2001	186,8	230	812 173,913
5	2002	210,7	230	916 086,957
6	2003	222,6	230	967 826,087
7	2004	246,7	230	1 072 608,696
8	2005	260,4	230	1 132 173,913
9	2006	299,4	230	1 301 739,130
10	2007	328,2	165	1 989 090,909
11	2008	335,7	165	2 034 545,455
12	2009	225,8	165	1 368 484,848
13	2010	224,1	165	1 358 181,818
14	2011	223,7	165	1 355 757,576
15	2012	238,7	165	1 446 666,667
16	2013	246,3	165	1 492 727,273
17	2014	235,7	165	1 428 484,848
18	2015	197,4	165	1 196 363,636
19	1959-2015			$\Sigma = 54 777 694$

Порівнявши отримані результати з даними ЛМР, встановлено, що метод на основі зважування в десятки разів менш точний ніж метод використання сучасного геодезичного обладнання – БПЛА TRIMBLE UX- 5. Використання вагового методу представляє неспіврозмірні результати в порівнянні з геодезичними. Таку розбіжність результатів можна пояснити тим, що на полігоні працює різного роду транспорт (сміттєвози, бульдозери, трактори), внаслідок чого відбувається процес пресування ТПВ, який призводить до збільшення їх щільності. Важливим фактором є сезонні зміни складу ТПВ, що характеризуються збільшенням харчових відходів з 20-25% весною та 40-55% восени. Слід зазначити, що при виконанні всього комплексу робіт на полігоні відбувається сортування ТПВ і в подальшому частина відходів вивозять і використовують як вторинну сировину.

На основі вагового методу та визначеного об'єму на основі даних знімання з БПЛА станом на жовтень 2015 р. визначено густину відходів, що становить 2875 кг/куб. м, яка є близькою до щільності таких речовин, як цемент, мрамур, алюміній.

3.2. Створення великомасштабного топографічного плану ЛМП ТПВ комбінованим методом в умовах надзвичайних ситуацій

Після пожежі на території ЛМП ТПВ у червні 2016 р. виникла потреба оновлення картографічних даних про полігон і прилеглі до нього території, а саме – створення топографічного плану масштабу 1:500 з перерізом рельєфу через 0,5 м.

При цьому слід було врахувати:

- вибір методу та межі знімання, які залежать від конфігурації полігону та прилеглих територій;
- поодинокі загоряння сміття (Рис. 2.2), що можуть суттєво вплинути на отримані результати при побудові ортофотоплану та ЦМР;
- небезпека повторного зсуву сміття, що обумовлює застосування методу знімання з використанням БПЛА.

Нині існує велика кількість програмних продуктів для створення ЦМР, які в подальшому можуть бути використовані при створенні топографічного плану об'єкта. Укладання рельєфу топографічного плану складається з двох концептуально різних методик. Рельєф на плані відображається за допомогою горизонталей, які можна отримати двома шляхами: *автоматизована побудова горизонталей за ЦМР; ручна векторизація горизонталей за стереомоделлю.*

Перший спосіб передбачає використання сучасних програмних продуктів (ПП), які мають досить велику кількість методів та функцій. Йому присвячено низку публікацій під керівництвом Бурштинської Х. Наприклад, метод Крайгінга за оптимального вибору вихідних параметрів дозволяє здійснити високоточне моделювання рельєфу з використанням ПП Surfer та ArcGIS, натомість мультіквадрики та мультілогарифмічна функція дають гірші результати в 1,3-1,4 рази в порівнянні з ним [1]. На основі виконання аерофотознімання та комплексу гідрографічних робіт запропоновано технологію побудови ЦМР при створенні плану дна ріки, а саме моделювання горизонталей виконано в програмному середовищі Digitals за TIN-моделлю [2]. Комбінований метод створення великомасштабних планів гідротехнічних споруд з використанням наземного цифрового стереофотограмметричного знімання запропонували Глотов В., Голубінка Ю., Ільків Т. [5]. Розроблено технологічну схему автоматичної побудови горизонталей на основі використання аерофотознімання попередніх років і цифрового наземного фототеодолітного знімання [4]. Застосування другого способу (ручної векторизації горизонталей за стереомоделлю) докладно розглянуто для побудови ЦМР поверхні льодовика [14, 21].

Обчислення СКП визначення координат точок з використанням БПЛА (червень 2016 р.). Для створення топографічного плану в масштабі 1:500 нами повторно виконано аерознімання з БПЛА на висотах фотографування 110, 130 та 150 м для трьох проектів відповідно. За Лобановим А. [7] нами розраховано апріорні похибки (СКП) координат точок, подані в табл. 3.5.

Апріорне значення СКП визначення координат точок

№ проекту	Висота знімання (м)	B (м)	m_{zn}	m_x (м)	m_y (м)	m_z (м)
1	110	40	1:500	0,05	0,06	0,07
2	130	50	1:500	0,06	0,08	0,09
3	150	60	1:500	0,07	0,09	0,11

Всі значення відповідають вимогам точності знімання в масштабі 1:500 Інструкції з топографічного знімання у масштабі 1:5 000, 1:2 000 та 1:500 [6].

3.2.1. Польові та камеральні роботи при аерозніманні ЛМП ТПВ із використанням БПЛА TRIMBLE UX-5 (червень 2016 р.)

Підготовчі роботи та аерознімання ЛМП ТПВ. Оскільки згідно планів ЛМР було необхідне вилучення земельної ділянки, що знаходиться у власності Малехівської сільської ради, необхідно було виконати знімання ділянки лісу. Після рекогностування місцевості, що включало в себе визначення меж ділянки знімання та можливостей застосування контактних та дистанційних методів (Рис. 3.8) вирішено для знімання всього ЛМП ТПВ застосувати знімання з БПЛА, а для ділянки лісу виконати тахеометричне знімання.



Рис. 3.8. Ділянки меж використання дистанційних та контактних методів знімання на знімку Google Earth

При складанні проекту робіт в камеральних умовах це дало можливість змінювати як якісні, так і кількісні характеристики очікуваних результатів залежно від особливостей ділянки знімання.

Розрахунок параметрів аерознімання БПЛА, виконаний в Trimble Access Aerial Imaging, подано в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Параметри аерофотознімання БПЛА

№ проекту	Повздожнє та поперечне перекриття, %	Висота знімання, м	Розмір піксела, см	Час знімання, хв
Проект 1	70	150	4,80	8
Проект 2	70	130	4,20	9
Проект 3	70	110	3,70	8

При виконанні планово-висотної прив'язки матеріалів було закоординовано 33 опорні точки, а також зроблено фотоабрис для опізнання їх в процесі камеральних робіт. Для цього використано GPS-приймач Trimble R7, вимірювання проводились у режимі RTK від мережі базових станцій GEOTERRACE, НУ «Львівська політехніка». Точність отримання координат опорних точок для прив'язки складала: в плані – 3-5 см, а висотна складова – 10 см.

Створення ортофотоплану та ЦМР (червень 2016 р.). Процес побудови ортофотоплану ґрунтувався на автоматичному генеруванні пікселів об'єктів зображення на суміжних знімках, в результаті чого отримано ортофотоплан (Рис. 3.9), хмара точок (Рис. 3.10) та TIN-модель для побудови ЦМР заданої ділянки.



Рис. 3.9. Ортофотоплан на територію ЛМП ТПВ (червень 2016)



Рис. 3.10. Хмара точок з накладанням ортофотоплану ЛМП ТПВ (червень 2016)
Тахеометричне знімання ділянки, вкритої лісом. Оскільки частина ділянки, на якій необхідно виконати знімання, вкрита густим лісом (Рис. 3.8) то отриману цифрову модель місцевості з БПЛА не можна використати в повному обсязі. Для отримання достовірніших даних про ділянку з лісом, виконано тахеометричне знімання електронним тахеометром Leica TCR 405. Отримані 120 пікетів використані для побудови ЦМР та горизонталей (Рис. 3.11).

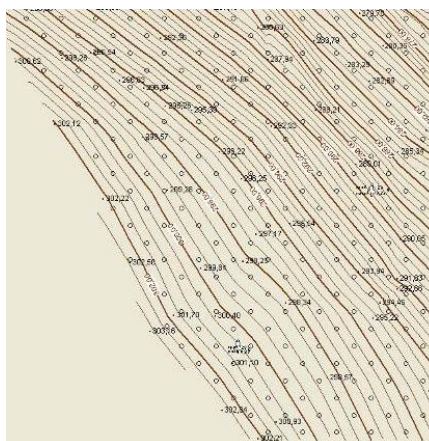


Рис. 3.11. ЦМР у вигляді горизонталей за результатами тахеометричного знімання

3.2.2. Технологічні особливості створення топографічного плану ЛМП ТПВ та оцінка точності

Отримана з БПЛА хмара точок безпосередньо не може бути використана при побудові горизонталей для топографічного плану масштабу 1:500, оскільки в такому випадку утворюється велика кількість дрібних об'єктів, а основні

горизонталі не є згладженими. Для усунення цих некоректних даних застосовано технологічні операції (фільтрація) та статистичні методи (фокальна статистика), що дали змогу усунути високочастотний шум для ЦМР. Також для згладження горизонталей застосовано як автоматизовані, так і ручні методи редагування. При створенні топографічного плану проводилось польове дешифрування. У результаті виконання комплексу робіт створено топографічний план у масштабі 1:500 з перерізом рельєфу 0,5 м у системі координат СК-63 та Балтійській системі висот (Рис. 3.12) [27].

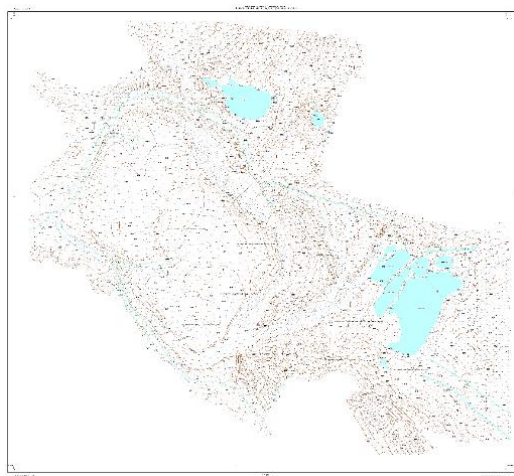


Рис. 3.12. Топографічний план на територію ЛМП ТПВ (червень 2016 р.)

У подальшому за допомогою ГНСС-приймача у режимі RTK визначено координати 55 точок, які були використані для контролю побудови ортофотоплану та ЦМР. Результати обчислених СКП подано в табл.3.6 [10].

Таблиця 3.6

Значення СКП до та після застосування технологічних операцій та статистичних методів

	Кількість контрольних точок	Ортофотоплан		ЦМР
		$m_x, м$	$m_y, м$	$m_z, м$
Допустиме значення СКП для масштабу 1:500		0.10	0.10	0.16
Результати СКП створеного плану	55	0.07	0.08	0.095

Значення СКП за контрольними точками свідчать, що створений

топографічний план в масштабі 1:500 на територію ЛМП ТПВ відповідає вимогам «Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» [6]. В нашому випадку значення СКП відповідають результатам, що отримані колективом авторів для досліджуваного тестового полігону на висоті знімання 150 м для цього БПЛА Trimble UX - 5 [3].

Технологічну схему створення великомасштабного топографічного плану на територію ЛМП ТПВ подано на Рис. 3.13.

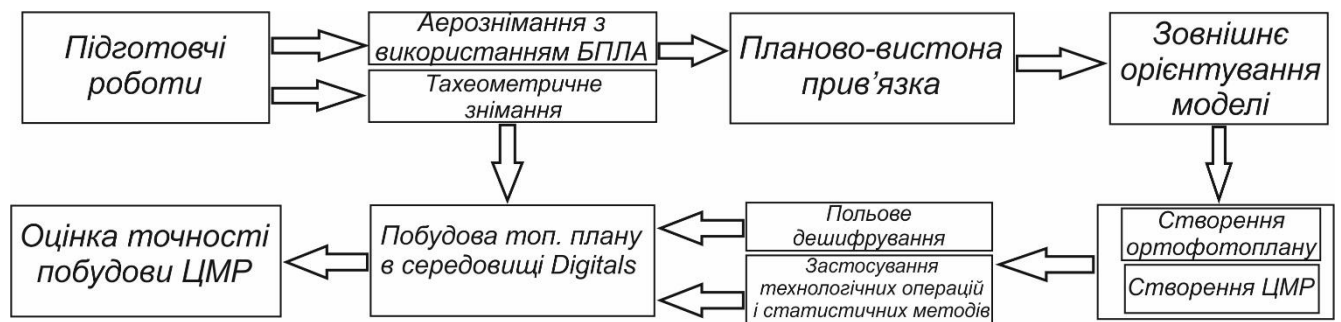


Рис. 3.13. Технологічна схема створення великомасштабного топографічного плану на територію ЛМП ТПВ в умовах надзвичайних ситуацій

Великомасштабний топографічний план на територію ЛМП ТПВ можна використати при уточненні проекту рекультивації, а також він дає змогу проектним організаціям виконати низку завдань: проектування нових карт для складування ТПВ, розрахунок обсягу земляних робіт, складання робочих креслень для укріплення та побудови нової дамби, розроблення плану розташування дренажної системи фільтрату.

3.3. Алгоритм отримання формули при обчисленні об'єму методом трикутних призм

Нині існує великий вибір різних програмних продуктів (ArcGis, Digital, AutoCAD Civil 3D), що надають можливість знаходити різниці TIN-моделей. Здебільшого виробники таких програмних продуктів не дають огляду математичного апарату, за допомогою якого виконуються такі дії. А відтак немає можливості виконати оцінку точності. Аналогічною є ситуація з використанням нами інструментом Surface Difference в ArcGIS, де на основі TIN-моделей (Рис. 2.11 та Рис. 3.5) обчислено об'єм сміттевого тіла. Інструмент Surface Difference

(Різниця поверхонь) виконує геометричне порівняння трикутників обох вхідних поверхонь. Трикутники першої поверхні класифікуються як такі, що знаходяться повністю над базовою поверхнею або такі, що перетинаються з нею. При виявленні перетинів трикутники діляться на частини, які класифікуються як розташовані повністю над базовою поверхнею або копланарні до неї. Сусідні трикутники і їх частини з однаковою класифікацією групуються в полігони, причому їх об'ємні характеристики складаються і утворюють підсумкове значення для кожного з цих полігонів [24].

Отже, подамо алгоритм та виведення формули обчислення об'єму методом трикутних призм. Оскільки нижня і верхня поверхня складаються з трикутників, то об'єм тіла можна подати як різницю сум об'ємів трикутних призм, побудованих відносно базової поверхні, тобто

$$V = \sum_{i=1}^n \bar{V}_i - \sum_{i=1}^k V_j, \quad (3.3)$$

де \bar{V}_i - об'єм призми, обмежений верхньою поверхнею смітцевого тіла та базовою поверхнею, V_j - об'єм призми, обмежений нижньою поверхнею смітцевого тіла та базовою поверхнею, n - кіл-сть трикутників у TIN-моделі у верхній поверхні тіла, k - кіл-сть трикутників у TIN-моделі нижньої поверхні тіла.

Для подальших розрахунків об'єму однієї призми за вихідні дані нами було взято координати вершин трикутників, отримані з побудованої TIN-моделі див підрозділ 3.1.4.

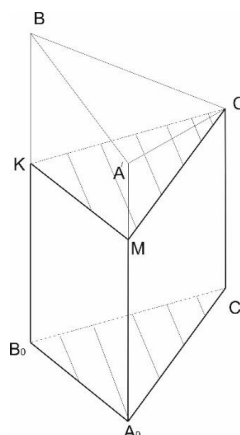


Рис. 3.14. Графічне подання однієї призми за TIN-моделлю

Маємо $A(x_1, y_1, z_1); B(x_2, y_2, z_2); C(x_3, y_3, z_3)$; – вершини трикутника з TIN-моделі нижньої поверхні тіла; $A_0(x_1, y_1, 0); B_0(x_2, y_2, 0); C_0(x_3, y_3, 0)$; – вершини трикутника ABC , спроектовані на базову поверхню. Нехай $\min \{z_1, z_2, z_3\} = z_3$.

Проведемо додаткову площину через точку C , паралельну до площини $A_0B_0C_0$. Тоді отримаємо точки $M(x_1, y_1, z_3); K(x_2, y_2, z_3)$. Обчислюємо координати наступних векторів:

$$\overrightarrow{C_0A_0} = (x_1 - x_3; y_1 - y_3; 0); \overrightarrow{C_0B_0} = (x_2 - x_3; y_2 - y_3; 0); \overrightarrow{C_0C} = (0; 0; z_3);$$

$$\overrightarrow{AM} = (0; 0; z_3 - z_1); \overrightarrow{AK} = (x_2 - x_1; y_2 - y_1; z_3 - z_1); \overrightarrow{AC} = (x_3 - x_1; y_3 - y_1; z_3 - z_1);$$

$$\overrightarrow{AB} = (x_2 - x_1; y_2 - y_1; z_2 - z_1);$$

Об'єм призми $A_0B_0C_0CBA$ визначатиметься як сума об'ємів трикутної прямої призми $A_0B_0C_0CMK$ та піраміди $ABKMC$ [15]:

$$V_j = V_{A_0B_0C_0CBA} = V_{приз} + V_{пир} ,$$

де

$$\begin{aligned} V_{приз} &= \frac{1}{2} \left| \left(\overrightarrow{C_0A_0}, \overrightarrow{C_0B_0}, \overrightarrow{C_0C} \right) \right| = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & 0 \\ x_2 - x_3 & y_2 - y_3 & 0 \\ 0 & 0 & z_3 \end{vmatrix} = \frac{z_3}{2} \begin{vmatrix} x_1 - x_3 & y_1 - y_3 \\ x_2 - x_3 & y_2 - y_3 \end{vmatrix} \\ V_{пир} &= \frac{1}{6} \left| \left(\overrightarrow{AM}, \overrightarrow{AK}, \overrightarrow{AC} \right) \right| + \frac{1}{6} \left| \left(\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AK}, \overrightarrow{AC} \right) \right| = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 0 & 0 & z_3 - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_3 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} + \frac{1}{6} \begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_3 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = \\ &= \frac{|z_3 - z_1|}{6} \begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{vmatrix} + \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 0 & 0 & z_2 - z_3 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_3 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = \\ &= \frac{|z_3 - z_1|}{6} \begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{vmatrix} + \frac{|z_2 - z_3|}{6} \begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{vmatrix} = \\ &= \frac{1}{6} (|z_3 - z_1| + |z_2 - z_3|) \cdot |(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)| = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{6} (|z_3 - z_1| + |z_2 - z_1|) \cdot |x_2 y_3 - x_2 y_1 - x_1 y_3 + x_1 y_1 - x_3 y_2 + x_3 y_1 + x_1 y_2| = \\
&= \frac{1}{6} (|z_3 - z_1| + |z_2 - z_1|) \cdot |x_2 (y_3 - y_1) + x_1 (y_2 - y_3) + x_3 (y_1 - y_2)| = \\
&= \frac{1}{6} (|z_3 - z_1| + |z_2 - z_1|) \cdot \left\| \begin{array}{cc} x_1 - x_3 & y_1 - y_3 \\ x_2 - x_3 & y_2 - y_3 \end{array} \right\|.
\end{aligned}$$

Тоді

$$\underline{V}_j = (z_3 + \frac{|z_3 - z_1| + |z_2 - z_3|}{3}) \cdot \frac{1}{2} \left\| \begin{array}{cc} x_1 - x_3 & y_1 - y_3 \\ x_2 - x_3 & y_2 - y_3 \end{array} \right\| = (z_3 + \frac{|z_3 - z_1| + |z_2 - z_3|}{3}) \cdot S^j_{\Delta A_0 B_0 C_0}$$

Враховуючи, що $\min \{z_1, z_2, z_3\} = z_3$, отримаємо

$$\underline{V}_j = (\frac{z_3 + z_1 - z_3 + z_2 - z_3}{3}) \cdot S^j_{\Delta A_0 B_0 C_0} = \frac{z_1 + z_2 + z_3}{3} \cdot S^i_{\Delta A_0 B_0 C_0}$$

Аналогічно представимо об'єм піраміди обмеженої верхньою поверхнею тіла та базовою

$$\begin{aligned}
\bar{V}_i &= (z'_3 + \frac{|z'_3 - z'_1| + |z'_2 - z'_3|}{3}) \cdot \frac{1}{2} \left\| \begin{array}{cc} x'_1 - x'_3 & y'_1 - y'_3 \\ x'_2 - x'_3 & y'_2 - y'_3 \end{array} \right\| = (\frac{z'_3 + z'_1 - z'_3 + z'_2 - z'_3}{3}) \cdot S^i_{A'_0 B'_0 C'_0} = \\
&= \frac{z'_1 + z'_2 + z'_3}{3} \cdot S^i_{A'_0 B'_0 C'_0},
\end{aligned}$$

де $S^i_{A'_0 B'_0 C'_0}$ - площа проекції ΔABC TIN - моделі верхньої поверхні на базу.

Таким чином, об'єм i -ої призми обчислюється за формулою:

$$\bar{V}_i = \frac{1}{3} (z_1^i + z_2^i + z_3^i) \cdot S^i_{\Delta A'_0 B'_0 C'_0} = \frac{1}{3} (z_1^i + z_2^i + z_3^i) \cdot S_i, \quad (3.4)$$

а об'єм j -ої призми відповідно так

$$\underline{V}_j = \frac{1}{3} (z_1^j + z_2^j + z_3^j) \cdot S^j_{\Delta A_0 B_0 C_0} = \frac{1}{3} (z_1^j + z_2^j + z_3^j) \cdot S_j. \quad (3.5)$$

Формули 3.3 – 3.5 застосовано для обчислення об'єму простого тіла безпосередньо та обчислено об'єм цього ж об'єкту з використанням програмного пакету ArcGis. Результати даних обчислень співпали, тому можна стверджувати про використання даного алгоритму при застосуванні інструменту Surface Difference. Отже будемо вважати значення, отримані з даного ПП за ідеальні.

Перейдемо до оцінки точності обчислення об'єму. Врахувавши формулу 3.3, отримаємо:

$$m_V^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_{V_i}^2 + \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k m_{V_j}^2.$$

Тут, зважаючи на (3.4) і (3.5)

$$m_{V_i}^2 = \frac{1}{3} S_i^2 \cdot m_{z'}^2 + \left(\frac{z_1^i + z_2^i + z_3^i}{3} \right)^2 \cdot m_{S_i}^2; \quad m_{V_j}^2 = \frac{1}{3} S_j^2 \cdot m_z^2 + \left(\frac{z_1^j + z_2^j + z_3^j}{3} \right)^2 \cdot m_{S_j}^2;$$

де, $m_{z_1^j}^j = m_{z_2^j}^j = m_{z_3^j}^j = m_z$ – похибка визначення висоти для нижньої поверхні смітцевого тіла, яка визначається з врахуванням масштабу карти; $m_{z_1^i}^i = m_{z_2^i}^i = m_{z_3^i}^i = m_{z'}$ – похибка визначення висоти для верхньої поверхні, яка залежить від БПЛА.

Проблема виникає з оцінкою величини $m_{S_i}^2$ та $m_{S_j}^2$, оскільки дані величини залежать від плоских координат x і y вершин трикутників TIN – моделі, які в свою чергу корелюються між собою, що спричинене методом побудови TIN – моделі за триангуляцією Делоне. Тому подальше вирішення даної задачі потребує складних математичних та алгоритмічних операцій із програмування.

3.4. Обчислення об'єму за рельєфом та картографічними матеріалами

Опис алгоритму визначення об'єму рельєфної частини смітцевого тіла, що характеризується двома ярами (Рис. 3.15).

$$V = V_1 + V_2 \quad (3.6)$$

де V_1 – об'єм 1-го яру; V_2 – об'єм 2-го яру.

Згідно з теорією інтегрального числення об'єм тіла можна обчислити за допомогою визначеного інтеграла.

$$V = \int_a^b S(z) dz; \quad (3.7)$$

де a, b – верхня та нижня межа змінної z , яку трактуємо як зміну глибини; ($b - a$ відповідно перепад висот між найнижчою та найвищою точками), $S(z)$ – площа поперечного перерізу, що обмежений на карті ізолініями.

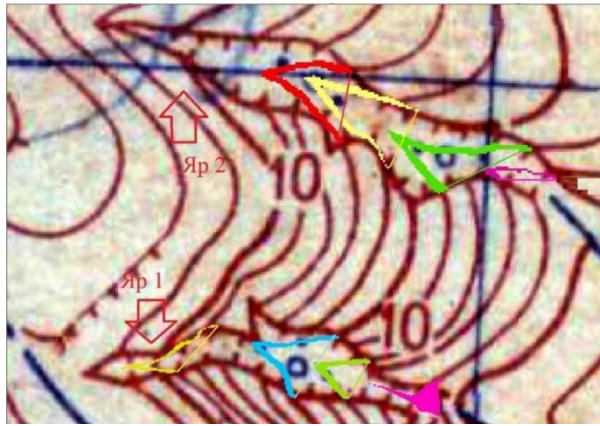


Рис. 3.15. Представлення двох ярів з ділянками поперечних перерізів для висоти : — 280 м.; — 290 м.; — 300 м.; — 290 м. (I яр) та — 285 м.; — 295 м.; — 305 м.; — 310 м. (II яр).

Оскільки аналітичний вираз $S(z)$ невідомий, але для кожного z значення площ поперечних перерізів можна знайти по карті в дискретних точках, то для визначення об'єму застосуємо наближені методи обчислення інтегралів. Існують різні методики з відповідною точністю наближення. Ми не ставимо завдання детального дослідження такого застосування, бо це є темою окремого вивчення, а лише наведемо один із цих методів, а саме метод парабол (метод Сімпсона), який полягає в наближенні підінтегральної функції на проміжку інтерполяційним многочленом другого степеня. Розбивши проміжок інтегрування на $2n$ відрізків, та застосувавши формулу Сімпсона до кожного з них отримаємо для інтеграла (3.7):

$$V_{2n} = \frac{h}{3} \left[S(z_0) + 4 \sum_{i=1}^n S(z_{2i-1}) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} S(z_{2i}) + S(z_{2n}) \right] \quad (3.8)$$

де $h = \frac{b-a}{2n}$, $z_i = a + hi$, $0 \leq i \leq 2n$, $z_0 = a$, $z_{2n} = b$;

Похибка обчислення об'єму за формулою (3.8) задається умовою:

$$|\Delta| \leq \frac{(b-a)^5}{180n^4} \max_{z \in [a;b]} \left| S^{(4)}(z) \right|, \quad z \in [a;b].$$

$$|\Delta| = |V - V_{2n}| = R_{2n} \quad (3.9)$$

Для оцінки похибки, потрібно знайти похідну 4-го порядку функції $S(z)$. Оскільки вона задається в дискретних точках, то ми можемо лише визначити похідну наближено, побудувавши різницеві інтерполяційні многочлени (Лагранжа, Бесселя). Оскільки це трудомісткий процес і така оцінка теж буде наближеною, то на практиці поступають інакше: використовуючи правило Рунге та екстраполяцію за Річардсоном оцінюють похибку чисельного інтегрування та знаходять більш точне наближення інтеграла (3.7).

Різницю результатів, отриманих за однією і тією ж квадратурною формулою до і після подвоєння числа елементарних відрізків, можна використовувати для оцінки похибки числового інтегрування, а саме:

$$R_{2n} \approx \frac{|Q_{2n} - Q_n|}{2^P - 1}, \quad (3.10)$$

де, Q_n – значення складової квадратурної формули для n інтервалів,

Q_{2n} – значення складової квадратурної формули для $2n$ інтервалів,

P – порядок залишкового члена складової квадратурної формули,

R_{2n} – оцінка похибки числового інтегрування для $2n$ інтервалів.

Зокрема, для формули Сімпсона

$$R_{2n} \approx \frac{|Q_{2n} - Q_n|}{15}.$$

Якщо Q_m і Q_n – два наближених значення інтеграла $I = \int_a^b f(x)dx$, знайдені за однею і тією ж складовою квадратурною формулою при числі відрізків m і n ($m > n$), тоді більш точне наближене значення цього інтеграла можна знайти згідно екстраполяції за Річардсоном формулою:

$$Q_{n,m} = Q_m + \frac{n^P}{m^P - n^P} \cdot (Q_m - Q_n), \quad (3.11)$$

де P порядок залишкового члена вибраної складової квадратичної формули.

Для формули Сімпсона $P = 4$, тому для нашого випадку отримуємо:

$$V_{n,m} = V_m + \frac{n^4}{m^4 - n^4} \cdot (V_m - V_n), \quad (3.12)$$

Обчислюємо об'єм одного і того ж яру декілька разів для різних інтервалів (таблиця 3.7) та залишкові члени за формулою (3.10). Максимальну величину залишкових членів прийmemo за абсолютну похибку Δ_1 обчислення об'єму за формулою Сімпсона. А значення об'єму $V = V_{2n} + \Delta_1$.

Тоді, гранична відносна похибка обчислення об'єму буде

$$\delta_V^1 = \frac{\Delta_1}{V}.$$

Аналогічно виконаємо цю процедуру і для другого яру.

Результати обчислення об'ємів ярів представлено в таблиці 3.7

Таблиця 3.7

Значення об'ємів визначене для різного кроку

	$V(h=10)$	$V(h=8)$	$V(h=5)$	$V(h=4)$	$V(h=2)$	$V(h=1)$	Δ_1	δ_V^1 (%)
1 яр	22311,5	23620,8	22402,1	23946,3	23742,51	23589,12	543,42	2,21
2 яр	23018,79	22325,1	23344,7	22100,9	22011,32	22217,58	575,63	2,67

Отримані результати є підтвердженням складної конфігурації ярів, які можна пояснити тим, що проведені перерізи не завжди добре описують характер рельєфу, тобто виникає прибільшення чи применшення значення об'єму.

Отже, остаточне значення об'єму ярів з врахуванням попередніх викладок та екстраполяції за Річардсоном будуть такими $V_1 = 24489,72$ та $V_2 = 21525,27$ куб. м.

З іншого боку, при заміні визначеного інтеграла його дискретним аналогом, значення функції $S(z)$ в фіксованих точках z_i обчислюється з карт з певною похибкою ΔS_i , тобто $S(z_i) - S_i = \Delta S_i$. Ця похибка ΔS_i з'являється, якщо площу, обмежену ізолініями на карті, обчислювати як площу n-кутника:

$$S = 0.5 \sum_{i=1}^N X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1}) \text{ або } S = 0.5 \sum_{i=1}^N Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}); \quad (3.13)$$

де $y_0 = y_N, y_{N+1} = y_1$

Похибка залежатиме від точності визначення координат точок на карті, кількості n вершин багатокутника та складності конфігурації яру. Зрозуміло, що зі збільшенням кількості вершин багатокутник краще апроксимує ізолінію, за якою визначається площа поперечного перерізу.

Ця похибка також впливає на загальну точність визначення об'єму за формулою Сімпсона і за підстановкою її у формулу (3.8) дає другу частину похибки обчислення об'єму:

$$\Delta_2 = \frac{h}{3} \left(\Delta S_0 + 4 \sum_{i=1}^n \Delta S_{2i-1} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \Delta S_{2i} + \Delta S_{2n} \right) \quad (3.14)$$

Нехай δ_i -відносна похибка обчислення площі i -го перерізу, тоді $\delta_i = \frac{\Delta S_i}{S_i}$,

а звідси $\Delta S_i = \delta_i S_i$. Підставимо останню рівність в (3.14) і отримаємо

$$\Delta_2 = \frac{h}{3} \left(\delta_0 S_0 + 4 \sum_{i=1}^n \delta_{2i-1} S_{2i-1} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \delta_i S_{2i} + \delta_{2n} \Delta S_{2n} \right) \quad (3.15)$$

Якщо ж замість δ_i в кожному добутку взяти граничну відносну похибку δ_{\max} , то відносна похибка обчислення об'єму, яка залежить від точності обчислення площ поперечних перерізів, враховуючи рівність (3.8), задовольнятиме нерівність:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta_2}{V} &\leq \frac{h}{3} \frac{\left(\delta_{\max} S_0 + 4 \sum_{i=1}^n \delta_{\max} S_{2i-1} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \delta_{\max} S_{2i} + \delta_{\max} S_{2n} \right)}{V} \leq \\ &\leq \frac{\delta_{\max} \frac{h}{3} (S_0 + 4 \sum_{i=1}^n S_{2i-1} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} S_{2i} + S_{2n})}{\frac{h}{3} (S_0 + 4 \sum_{i=1}^n S_{2i-1} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} S_{2i} + S_{2n})} = \delta_{\max} \end{aligned} \quad (3.16)$$

або ж гранична відносна похибка об'єму $\delta_V^2 = \delta_{\max}$.

Оскільки відносна похибка суми не перевищує максимальної відносної похибки доданків, то остаточна гранична відносна похибка обчислення об'єму δ_V буде максимальне з чисел δ_V^1 та δ_V^2 .

Визначимо похибку δ_{\max} обчислення площі поперечного перерізу таким

чином. Позначимо δ_i^* граничні відносні похибки чисел S_i , тоді

$$\delta_{\max} = \max\{\delta_i^*, i=1,2,n\} \quad (3.17).$$

Для знаходження δ_i^* знайдемо площу одного і того ж перерізу для різної кількості вершин багатокутника. Кількість співпадаючих значущих цифр вважатимемо за істинне значення, а перші не співпадаючі трактуватимемо як точність обчислення площі кожного перерізу.

Значення обчислених площ поперечних перерізів ярів, їх похибок та значення отримані з використанням ПП Arc Gis подані в табл.3.8–3.11.

Таблиця 3.8

Площа перерізів 1 яру

Значення висоти поперечного перізу для I яру	Площа (кв. м)	Кількість точок	Площа (кв. м)	Кількість точок	Значення Arc Gis
280	681,64	50	659,74	25	676,10
290	437,315	50	446,65	25	443,37
300	623,36	50	581,56	25	645,53
320	344,19	50	319,96	25	358,43

Таблиця 3.9

Площа перерізів 2 яру

Значення висоти поперечного перізу для II яру	Площа (кв. м)	Кількість точок	Площа (кв. м)	Кількість точок	Значення Arc Gis
285	479,91	50	477,20	25	479,22
295	1051,95	50	1007,57	25	1215,04
305	1074,13	50	1032,22	25	1064,11
310	986,29	50	953,65	25	1052,78

Таблиця 3.10

Значення відносних похибок (кв. м)

Значення висоти поперечного перізу для I яру	Різниця ArcGis та Excel (кв.м)	Значення висоти поперечного перізу для II яру	Різниця ArcGis та Excel (кв.м)
280	5,53	285	0,68
290	6,06	295	163,08
300	22,16	305	10,02
320	14,24	310	66,49

Таблиця 3.11

Значення відносних похибок

Значення висоти поперечного перізу для I яру	Відносна похибка обчислення площі δ_i^* (%)	Значення висоти поперечного перізу для II яру	Відносна похибка обчислення площі δ_i^* (%)
280	3.2	285	0.5
290	2.1	295	3.6
300	6.4	305	3.9
320	6.7	310	3.1

Встановлено, що максимальна відносна похибка δ_i^* становить 6,7%.

Слід зазначити, що похибку залишкового члена можна не враховувати, оскільки вона є меншою у порівнянні з відносною похибкою очислення площ. Тому прийmemo, що граничною відносною похибкою обчислення об'єму ярів буде δ_i^* і становить 6,7% [16]. Варто зазначити, що дану методику та оцінку точності обчислення об'єму за рельєфом та картографічними матеріалами (площі поперечних перерізів) можна застосувати для складних за конфігурацією об'єктів рельєфу (яри, балки).

3.5. Оцінка точності визначення об'єму за квадратурними формулами

Визначення об'ємів мас є запитуваною задачею, наприклад, відбувається складування пустої породи в терикони конусоподібної форми, де основою є горизонтальна площина. Аналогічне складування відбувається зі складами будівельних матеріалів (пісок, щебінь, гравій) – буде першим типом тіл (Рис. 3.16). Тому для їх визначення достатньо зробити виміри за допомогою геодезичного знімання та обчислити значення об'єму, що з розвитком сучасних геодезичних приладів не є проблематичним, а в деяких випадках з використанням роботизованих тахеометрів дозволяє визначити об'єм практично в польових умовах.



Рис. 3.16 Перший тип об'єктів (відвали, терикони, склади піску та щебеню)

Другий тип тіл - тіла зі складною нижньою основою. Складну конфігурацію має водосховище для гідроелектростанцій, яке постійно змінює свою поверхню за рахунок намулу, що змінюється залежно від географічного розташування водойми та потребує постійного контролю корисного об'єму. Також схожими до таких об'єктів будуть озера-гудрони, що знаходяться на території ЛМП ТПВ. Така сама ситуація трапляється із не санкціонованими сміттєзвалищами, які утворюються на узбіччі доріг, околицях населених пунктів, а в подальшому можуть стати полігонами ТПВ.

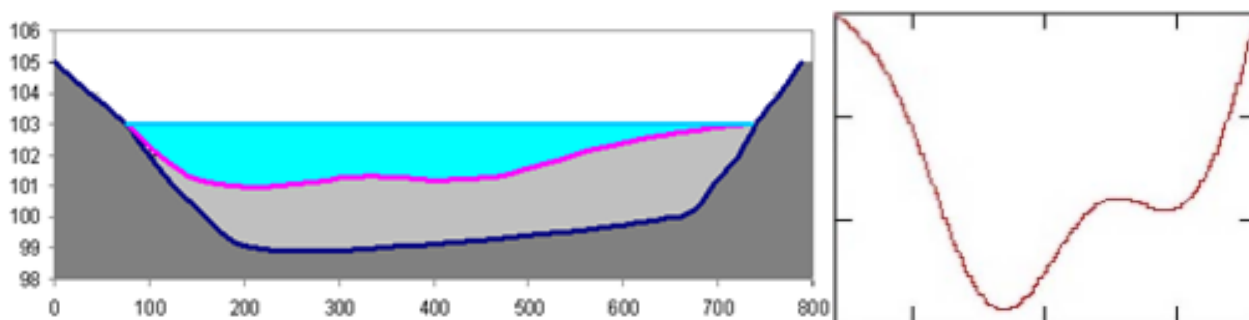


Рис. 3.17 Другий тип об'єктів (водосховища, несанкціоновані сміттєзвалища)

Об'єм тіла сміттєзвалища обчислено як об'єм тіла зі складною конфігурацією за квадратурними формулами з оцінюванням точності визначеного об'єму.

Отже, розглянемо більш складніший варіант другого типу, де об'єм тіл зі складною конфігурацією можна розділити на дві частини:

Обчислення об'єму, що визначається рельєфом та описується архівними картографічними матеріалами, змодельовано в підрозділ 2.3.1, і обчислення об'єму з поверхнею, що визначається геодезичними методами подано в підрозділ 3.1.1.

На основі обчислених результатів в підрозділі 3.1.1, нами отримано тіло сміттєзвалища. В подальшому його поділено на 11 січень тобто $n=5$, а крок становить $h=5$, а для знаходження площ поперечних перерізів візьмемо такі висоти: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 м, які показано на рисунку Рис. 3.18.

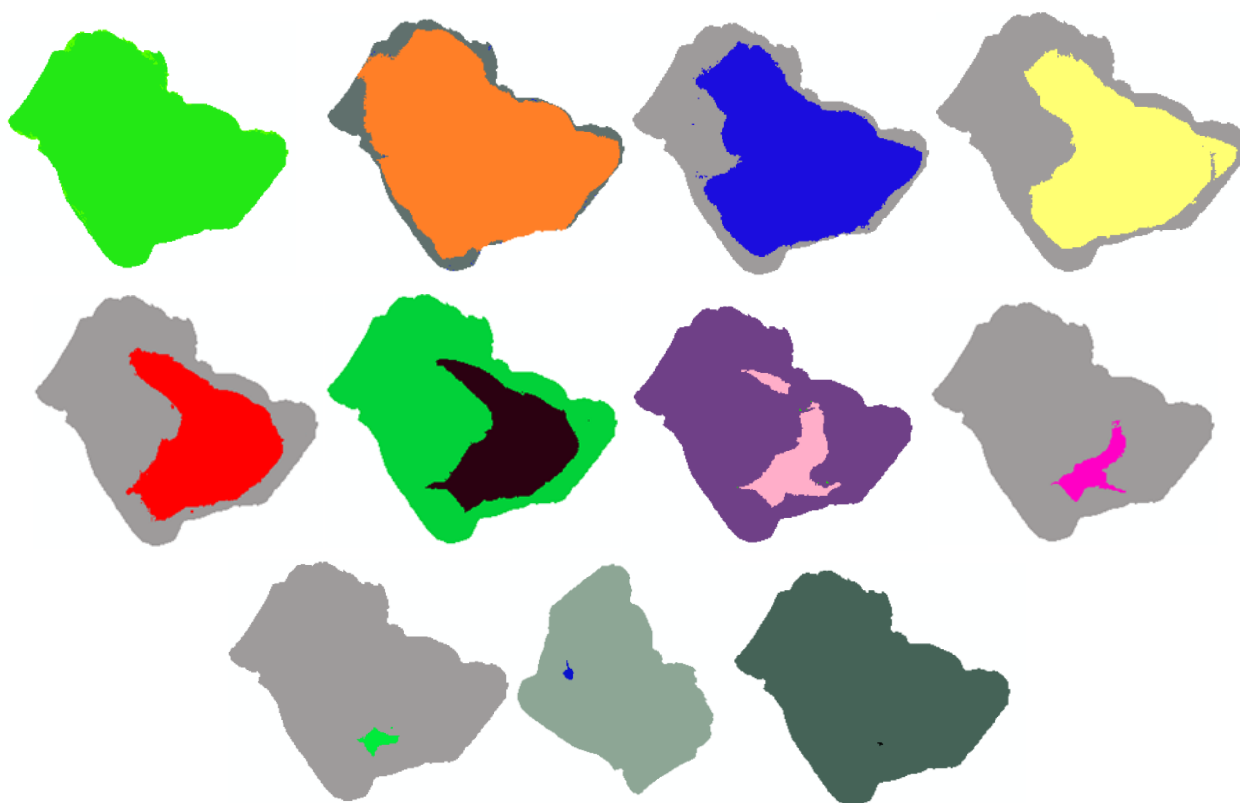


Рис. 3.18. Площа поперечних перерізів тіла сміттєзвалища для висоти:

0 м.; 5 м.; 10 м.; 15 м.; 20 м.; 25 м.; 30 м. 35 м.: 40 м.; 45 м.; 50 м.;

За формулою (3.13) нами обчислено площі поперечних перерізів, результати яких подано в таблиці 3.12. Для контролю ці ж значення обчислювалися в програмному продукті ArcGis.

Таблиця 3.12

Площа перерізів для тіла сміттєзвалища

Значення висоти поперечного перерізу для тіла сміттєзвалища (м)	Площа поперечного перерізу згідно формули (3.9) (кв. м)	К-ть точок	Площа поперечного перерізу згідно обчислень в ArcGis
0	240939,20	80	242789,20
5	206632,44	33	206978,20
10	156711,85	51	158181,22
15	123323,52	51	123324,34
20	89845,83	51	91693,09
25	66288,08	26	66084,09
30	29505,82	56	30605,19
35	12739,13	21	12852,54
40	3358,99	21	3354,07
45	966,85	40	845,35
50	66,679	16	53,45

На основі отриманих результатів табл. 3.12 з використанням формул (3.8)

визначено об'єм тіла, що становить 4 077 901,888 куб. м.

Аналогічні обчислення проведено для перерізів з кроками 1, 2, 4, 10 м. Результати наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13

Значення об'єму, які отримані для різного кроку перерізів

Значення кроку перерізів	$V(h = 10)$	$V(h = 5)$	$V(h = 4)$	$V(h = 2)$	$V(h = 1)$
Об'єм тіла визначений за формулою Сімпсона	3984119,49	4077901,88	4077971,34	3832389,55	3830000,19

Отже, остаточне значення об'єму сміттевого тіла за формулою Сімпсона з врахуванням попередніх викладок та екстраполяції за Річардсоном буде таким $V_1 = 3829840,9$, де абсолютна похибка залишкового члена за правилом Рунге буде становити 16 372 куб. м або 6,0 %. Це загальне значення похибки зумовлено похибками при обчисленні площ поперечних перерізів та значень висот, а також відкиданням залишкового члена формули Сімпсона. Звідси зрозуміло, що формула Сімпсона дає результат менший від істинного значення.

Отримавши таке значення, можна прийти до висновку, що це наближене геометричне тіло, з точки зору об'єму не тотожне загальному тілу і їх різниця - похибка апроксимації об'єму загального тіла. Інші джерела помилок при визначенні об'єму тіла є помилками у визначенні площ перерізів та відстані між цими перерізами (висотна складова).

Загальну точність об'єму тіла можна характеризувати СКП [19]

$$m_V^2 = m_{V_a}^2 + m_{V_S}^2$$

де $m_{V_a}^2$ точність апроксимації тіла; $m_{V_S}^2$ - точність визначення об'єму методом Сімпсона.

Похибка $m_{V_a}^2$ залежить від низки факторів: кроку перерізів; форми поверхні тіла, морфології. Компонент $m_{V_S}^2$ буде залежати від відстані між визначальними

перерізами. Він буде зменшуватись пропорційно – чим менша відстань між визначальними перерізами та більш правильними і з малими кутами перепаду висот є поверхня об'єкта [20].

Враховуючи формулу (3.8) та знайшовши часткові похідні, отримаємо формулу СКП цього методу:

$$m_{V_s}^2 = \frac{1}{9(2n)} \left[\left(S(z_0) + 4 \sum_{i=1}^n S(z_{2i-1}) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} S(z_{2i}) + S(z_{2n}) \right)^2 m_h^2 + \right. \\ \left. + h^2 \left(m_{S(z_0)}^2 + 16 \sum_{i=1}^5 m_{S(z_{2i-1})}^2 + 4 \sum_{i=1}^4 m_{S(z_{2i})}^2 + m_{S(z_{2n})}^2 \right) \right] \quad (3.18)$$

де $h = 5$, $n = 5$, $m_h = \frac{1}{3} * h = 1.666 \text{ м}$ – (оскільки дані отримано з карти, де переріз рельєфу 5 м). Крім цього, СКП площ поперечних перерізів з врахуванням формули (3.13) обчислено із виразу:

$$m_{S(z_i)} = \frac{m^2}{8N} \left(\sum_{i=1}^N (\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2) \right), \quad (3.19)$$

де $\Delta X_i = X_{i+1} - X_{i-1}$, $\Delta Y_i = Y_{i+1} - Y_{i-1}$, де N – кількість вершин багатокутника;

$m = m_x = m_y = 5 \text{ м}$ – похибки визначення координат, які отримано з карти масштабу 1:25 000. Результати СКП для поперечних перерізів 0-50 м подано в таблиці 3.14

Таблиця 3.14

СКП площі поперечного перерізу

Значення висоти поперечного перерізу для тіла сміттєзвалища (м)	СКП площі поперечного порерізу $m_{S(z_i)}$ (кв. м)	Кількість точок N
0	280,6	80
5	242,6	33
10	135,7	51
15	130,12	51
20	108,55	51
25	185,13	26
30	94,2	56
35	109,1	21
40	50,76	21
45	9,3	40
50	5,4	16

Отримавши дві складові похибки (m_h висоти та $m_{S(z_i)}$ площі) за формулою (3.18) нами встановлено, що СКП обчислення об'єму за формулою Сімпсона m_V _s = 306 517,55 куб. м. або 7,52 % [17].

Оскільки поверхня, яка описує сміттєве тіло, отримана з картографічних матеріалів, то для обчислення СКП m_V об'єму враховано максимальні значення планових та висотних похибок згідно з масштабом (1:25 000) та перерізом рельєфу (5 м) карти. Це для нашого випадку є оптимальним варіантом, оскільки інших джерел для моделювання об'єктів не було.

Проте якщо проінтерпретувати результати для інших масштабів знімань, то похибки обчислення об'єму за формулою Сімпсона значно змінюються табл.3.15.

Таблиця 3.15

СКП обчислення об'єму за формулою Сімпсона

Масштаб	1: 25 000	1: 10 000	1: 5 000	1: 2 000	1: 1 000	1: 500
Переріз рельєфу (м)	5	2	1	0.5	0.5	0.5
Похибка визначення висотної складової (м) m_h	1.666	0.666	0.333	0.166	0.166	0.166
Похибка визначення планових координат (м) $m_x = m_y = m$	5	2	1	0.4	0.2	0.1
Середня квадратична похибка обчислення об'єму за формулою Сімпсона m_V	7.52	3.01	1.5	0.75	0.75	0.75

Аналіз результатів СКП обчислених об'єму за формулою Сімпсона показав, що визначальним параметром, від якого залежить ця похибка, є похибка визначення висотної складової. Прослідковується систематичне зменшення похибки удвічі до масштабу 1: 5 000 зі значенням 1,5 %, а для масштабів 1: 2 000, 1: 1 000, 1: 500 не змінюється і становить 0,75 %.

3.6. Рекомендації до проведення моніторингу в активний період функціонування полігонів ТПВ

В активний період функціонування полігону одним із найважливіших етапів моніторингу буде *моніторинг захоронення ТПВ*.

Встановлено, що використання БПЛА для геоінформаційного моніторингу має низку переваг. Для оперативного картографування полігонів ТПВ знімання з БПЛА дає можливість оперативно отримати ортофотоплан та ЦМР. Підприємству, що займається його експлуатацією, необхідно здійснити рекогноситування місцевості діючих урбосистем із подальшим створенням (закладанням) надійної геодезичної основи, яка передбачатиме закладання пунктів. Для цього слід врахувати природні, геологічні, географічні фактори, що забезпечать стабільність такої мережі. Розміщення геодезичних пунктів повинно врахувати: можливе збільшення меж полігонів ТПВ (прокладання доріг, залізниць, спорудження допоміжних будівель, озер зі збору фільтратів, відведення нових змельних ділянок), осідання земної поверхні в безпосередній близькості до тіла полігону (природній тиск ґрунту і сміття) та інші фактори. На основі створеної геодезичної основи можливе проведення подальших геодезичних робіт, що забезпечить отримання результатів із високою точністю.

В активний період експлуатації полігонів ТПВ необхідним буде **моніторинг загального характеру** (всього полігону ТПВ), де для виконання планово-висотної прив'язки аерознімання може бути використана створена геодезична основа із таким спеціалізованим обладнанням (тахеометри, теодоліти) або сучасніше ГНСС обладнання для виконання прив'язки планово-висотних опознаків в режимі RTK. Отримані при камеральному опрацюванні матеріали (ортофотоплан і ЦМР) можуть бути використані при створенні та винесенні в натуру робочих карт захоронення відходів. Підприємство при цьому зможе виконувати контроль запроектованих технологічних операцій: аналіз параметрів захоронення відходів на встановлених робочих картах (ширина робочої карти до 15 м, а довжина – від 50-120 м), контроль ступеня ущільнення відходів робочої карти (поки ущільнений шар відходів не досягне 2,0-2,5 м після чого його слід накрити ізолюючим шаром (ґрунту, глини, подрібнених будівельних відходів) [12]. Такий контроль всього полігону ТПВ повинен відбуватися, що найменше два рази у міжвегетаційний період (рання весна та пізня осінь), коли відсутня рослинність на полігоні ТПВ.

Ще одним із можливих способів використання геодезичних приладів і водночас геоінформаційного моніторингу є використання сучасних ГНСС приймачів в режимі РТК, проведення тахеометричного знімання, наземного лазерного сканування для контролю ущільнення відходів, що виконується спеціальними тракторами, бульдозерами. Такі операції необхідно проводити з різною періодичністю залежно від кількості захоронення відходів, починаючи від декількох разів на день і закінчуючи одним разом на місяць. Дані знімання з БПЛА можуть бути використані спеціалістами комунального господарства, науково-дослідних організацій для виконання інженерних та проектних робіт. Зокрема на основі розробленої методики визначення об'єму полігонів ТПВ із використанням архівних картографічних матеріалів та матеріалів знімання з БПЛА можна встановити місця із найбільшим значенням висоти складування відходів в різних частинах полігону ТПВ. На основі таких даних необхідно встановлювати спеціальне устаткування для відкачування біогазу, який утворюється в процесі функціонування полігону. Ще одним джерелом при дослідженні полігонів ТПВ є їх представлення 3D-моделями. Переваги таких моделей полягають у реалістичності, добрій візуалізації, читабельності, розпізнаванні різних елементів, можливості детального аналізу (площі, профілі, ухили, експозиції). В активному періоді функціонування полігону якомога більша періодичність знімання з БПЛА надасть можливість створити корисну для аналізу базу даних. А підприємство, що займається його експлуатацією та утриманням, зможе збільшити термін функціонування.

Іншим важливим етапом є *моніторинг температурних режимів* сміттєзвалищ і полігонів ТПВ. Таку інформацію можна отримати за даними космічного чи аерознімання в інфрачервоному режимі, що базується на тепловому випромінювання поверхні та об'єктів, чи встановлення тепловізорів. Актуальність даного блоку дослідження базується на отриманні точкових значень температури ділянки складування відходів, і уможливить пошук аномальних зон, потенційно пожежо-небезпечних ділянок. Такі дослідження дозволять встановити як відкриті (поверхневі), так і глибинні пожежі. Найбільшу кількість досліджень, щодо

температурних режимів необхідно проводити в найбспекотніші місяці (травень-серпень), коли є велика загроза пожеж на полігонах ТПВ, із використанням аеро-чи космічного знімання. А упродовж року для цього слід із використовувати стаціонарні тепловізори на окремих ділянках. Зазначимо, що навіть у постексплуатаційний період є необхідність проведення моніторингу температурних режимів на основі космічного знімання хоча б два рази на рік.

Результати таких досліджень у подальшому можна використати для попередження екологічних катастроф, пожеж, розроблення комплексних програм, нормативних документів для працівників служб із надзвичайних ситуацій та інших організацій, дотичних до об'єктів розміщення відходів.

Моніторинг утворення біогазу та фільтрату в активний та постексплуатаційний період функціонування об'єктів розміщення відходів передбачається проведення робіт із встановлення мережі свердловин, що відкачуватимуть біогаз. Завдяки такому комплексу робіт можна зменшити пожеж – небезпечність самого полігону ТПВ і отримати додаткові матеріальні надходження. Щоденні обсяги утвореного біогазу необхідно зберігати в базі даних полігонів ТПВ.

Складовою геоінформаційного моніторингу є також визначення площі дзеркала води для озер фільтратів за даними космічного знімання. Такі дані необхідно інтегрувати в ГІС-базу даних, що в свою чергу дозволить провести оцінку стану і аналізу тенденцій використання збірника фільтрату. Періодичність таких спостережень залежатиме від обсягів утворення фільтрату, атмосферних опадів та системи збору фільтрату, але не менше як один раз на місяць. Для точнішого та оперативнішого дослідження необхідним є проведення щоденних наземних спостережень. Оскільки збільшення кількості фільтрату спричиняє додатковий тиск на дамбу, що може призвести до прориву та деформації дамби. Додатково можна проводити інженерно-геодезичний моніторингу дамби озер фільтратів.

Висновки до розділу 3

1. З метою отримання оперативної інформації про стан ЛМП ТПВ в жовтні 2015 р. виконано комплекс польових та камеральних робіт для знімання з БПЛА, за результатами якого створено ортофотоплан та ЦМР. На основі моделювання архівних картографічних матеріалів (параграф 2.2.1) та вибору оптимальних параметрів аерознімання розроблено методику визначення об'єму ЛМП ТПВ з використанням архівних картографічних матеріалів та матеріалів знімання з БПЛА Trimble UX-5. Визначено кількісні параметри полігону ТПВ: об'єм та площу, що становлять 4 072 357 куб. м та 274 527 кв. м відповідно.

2. Побудовано ізопахіти висоти складування відходів відносно початкової поверхні станом на жовтень 2015 р., що змінюються від 0 до 50 м. Виконано порівняння методів визначення об'єму на основі геодезичних вимірювань та вагового методу. Встановлено, що останній в десятки разів менш точний.

3. На основі експериментальних досліджень встановлено, що визначення об'єму за допомогою GRID сітки не забезпечує достатньої точності. Відносна похибка обчислення об'єму, який визначений за GRID-моделлю, для методів інтерполяції IDP, Kriging, NN, RBF змінюється від 8 % до 12 %, а для методу Triangulation with Linear Interpolation становить 1%. Встановлено, що об'єми, визначені за GRID з розмірами комірок 5 см та 20 м, відрізняються на 1,14 %. Це є показником складної структури рельєфу, яка не дозволяє однозначно виконати оцінку точності методу інтерпольованої поверхні та об'єму сміттевого тіла.

4. Встановлено, що використання TIN-моделей рельєфу дозволяє отримати точніше значення об'єму із застосуванням складних математичних залежностей та обчислювальних ресурсів.

5. Апробовану технологію аерознімання з БПЛА застосовано для створення комбінованим методом великомасштабного топографічного плану в умовах надзвичайних ситуацій в масштабі 1:500 з перерізом рельєфу 0,5 м у системі координат СК-63 та Балтійській системі висот. Топографічний план можна використати для розроблення проекту рекультивациі ЛМП ТПВ.

6. Запропоновано методику математичного визначення об'єму складних за конфігурацією ярів за квадратурними формулами. Обчислено значення об'ємів для різного кроку поперечного перерізу, що становить 23 589,12 і 22 217,58 куб. м, граничною відносною похибкою 6,7 %. СКП обчислення об'єму за квадратурною формулами становить 306 517 куб м або 7,52 %.

7. Отримано математичні формули для визначення об'ємів тіл за TIN – моделями, на основі яких встановлено їх правильність та перевірено на простому прикладі.

Список літератури до розділу 3

1. Бурштинська Х. Цифрове моделювання рельєфу з використанням ПЗ Surfer та ГІС ArcGis / Х. В. Бурштинська, О. Л. Дорожинський, П. М. Зазуляк, О. С. Заяць // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2003. – № 63. – С. 196-200.
2. Бурштинська Х. Технологія побудови цифрової моделі рельєфу для створення плану дна ріки / Х. В. Бурштинська, І. Василюха, П. Коваль // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2007. – С. 135-144.
3. Вовк А. Аналіз результатів для створення ортофотопланів та цифрових моделей рельєфу з застосуванням БПЛА TRIMBLE UX-5 / А. Вовк, В. Глотов, А. Гуніна, А. Маліцький, К. Третяк, А. Церклевич // Геодезія, картографія і аерофотознімання. - 2015. - Вип. 81. - С. 90-103.
4. Глотов В. Спосіб складання великомасштабних планів за матеріалами аеро- та наземного знімання / В. М. Глотов, В. І. Нікулішин, В. В. Чижевський // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2007. – № 69. – С. 144-149.
5. Глотов В. Технологічні особливості наземного цифрового знімання гідротехнічних споруд / В. М. Глотов, Ю. І. Голубінка, Т. Я. Ільків // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2009. – № 71. – С. 251-258.
6. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). – К., 1998. – 252 с.
7. Лобанов А. Н. Фотограмметрия: учебник для вузов / А. Н. Лобанов. –2-е изд., перераб. и доп. – М., 1984.– 552 с.
8. Лозинський В. А. Методика визначення об'єму Львівського полігону ТПВ з використанням архівних картографічних матеріалів та БПЛА Trimble UX-5 / В. А.Лозинський, В. І. Нікулішин, К. Р. Третяк, К. Р. Шило // Геодезія, картографія і аерознімання. – 2016. – №83. – С. 64–82 .

9. Лозинський В. А. Розроблення методики аерознімання Львівського міського полігону ТПВ із використанням БПЛА Trimble UX-5 / В. А. Лозинський, В. І. Нікулішин, Є. О. Шило // Збірник тез всеукраїнської науково-практичної конференції «Геодезія. Землеустрій. Природокористування: Присвячується пам'яті П. Г. Черняги». м. Рівне 9-10 листопада 2016 р. – 2016. – С. 25–27.
10. Лозинський В. А. Технологічні особливості створення великомасштабного топографічного плану Львівського міського полігону твердих побутових відходів комбінованим методом / В. А. Лозинський, В. І. Нікулішин, Т. Я. Ільків, О. В. Ломпас // Матеріали восьмої міжнародної науково-технічної конференції «Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку» м. Львів – Східниця. С. 86 – 90.
11. Мусин О. Р. Диаграмма Вороного и триангуляция Делоне / О. Р. Мусин. – М.: Заседания Санкт-Петербургского математического общества, 1999. – 10 с.
12. Правила з технічної експлуатації полігонів твердих побутових відходів / Затв. Наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 05.04.2007 № 121.
13. Проектування. Полігони зі знешкодження та захоронення токсичних відходів: ДБН В.2.4-4: 2010. – [Чинний від 2011-01-01]. – К. Мінрегіонбуд України, 2010. – 42 с. – (Державні будівельні норми України).
14. Третьяк К. Р. Аналіз результатів моніторингу острівних льодовиків антарктичного узбережжя цифровим стереофотограмметричним методом / К. Р. Третьяк, В. М. Глотов, Ю. І. Голубінка // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: – 2013. Випуск II (26) – С. 264–268.
15. Фис М. М. Метод визначення об'єму у випадку апроксимації поверхні TIN-моделлю / М. М. Фис, М. І. Юрків, В. А. Лозинський // Збірник тез всеукраїнської науково-практичної конференції «Геодезія. Землеустрій. Природокористування: Присвячується пам'яті П. Г. Черняги». м. Рівне 9-10 листопада 2016 р. – 2016. – С. 54–55.
16. Фис М. М. Обчислення об'єму, що визначається рельєфом та описується

- картографічними даними / М. М. Фис, М. І. Юрків, В. А. Лозинський // Збірник міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених "GeoTerrace-2017". м. Львів 14-16 грудня 2017 р. – 2017. – С. 134–136.
17. Фис М. М. Оцінка точності визначення об'єму за формулою Сімпсона для Львівського міського полігону твердих побутових відходів / М. М. Фис, М. І. Юрків, В. А. Лозинський // Матеріали ІХ міжнародної науково-практичної конференції «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні». м. Ужгород 4-6 жовтня 2018 р. – 2018. – С. 124–128.
18. Хромых В. В. Цифровые модели рельефа / В. В. Хромых, О. В. Хромых – Т.: ТМЛ – Пресс, 2007. – 178 с.
19. Bitterer L. Geodézia. / L. Bitterer // Žilinská univerzita. 2003
20. Blistan P. Modelovanie a výpočet objemu nepravidelných telies - princípy / P. Blistan // [Електронний ресурс]. – Режим доступу https://www.researchgate.net/publication/236031879_Modelovanie_a_vypocet_objemu_npravidelnych_telies_-_principy
21. Cahyono B.K. Landslide detection on slope area by using close-range photogrammetric data / B.K. Cahyono, A.N. Matori // [Електронний ресурс]. –
22. Dustin M. Monitoring parks with inexpensive UAVs: cost benefits analysis for monitoring and maintaining parks facilities / M. Dustin // A Thesis Presented to the faculty of the usc graduate school university of southern california In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree master of science (geographic information science and technology). – pp.1 – 113.
23. Haala N. performance test on uav-based photogrammetric data collection / N. Haala, M. Cramer, F. Weimer, M. Trittler // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22. – 2011. – pp.1 – 6.
24. <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-surface-difference-3d-analyst-works.htm>
25. Kraus K. Zur Genauigkeit der Volumenbestimmung / K. Kraus // Zeitschrift fuer

- Vermessungswesen. – 2000. – №125 (12). – pp.398–402.
- 26.Lega M. Thermal Pattern and Thermal Tracking: fingerprints of an environmental illicit/ M. Lega, C. Ferrara, J. Kosmatka, G. Persechino, R.M.A. Napoli // 11th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography. – 2012.
- 27.Lozynskyi V. A. Technological features of creation of a large-scale topographical plan of Lviv city landfill using combined method / V. A. Lozynskyi, V. I. Nikulishyn, T. J. Ilkiv // Geodesy, Cartography and Aerial Survey. – 2016. – Volume 84. – pp. 65–75.
- 28.Mueller G. Handbuch Ingenieurgeodaesie/ G. Mueller, M. Moeser, H. Schlemmer, H. Werner// – 2001. – Strassenbau, 2., voellig neu bearbeitete und erweiterte Auflage Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, S. 247–249.
- 29.Press W.H. Numerical Recipes in Cambridge/ W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling // Cambridge University Press.1988.
- 30.Schwarzbach M. Acquisition of High Quality Remote Sensing Data Using a UAV Controlled by an Open Source Autopilot / M. Schwarzbach, U. Putze, U. Kirchgaessner, M. v. Schoenermark // International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. – 2009. – Volume 3. – pp. 595-601.
- 31.Siebert S. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system / S. Siebert, J. Teizer // Automation in Construction. – 2014. – 41. – pp. 1-14.
- 32.Trimble Business Center Office Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://uas.trimble.com/tbc-am>
- 33.Urbančič T. Vpliv velikosti mrežne celice in metod interpolacij na izračunano prostornino / T. Urbančič, V. Grahor, B. Koler // GEODETSKI VESTNIK. – Volume 59. №. 2. – pp. 231-245.

РОЗДІЛ 4. ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНОЇ ДІЛЯНКИ ЛМП ТПВ

Зсуви сміття на полігонах ТПВ є загальногеоекологічними проблемами, які потенційно можуть призвести до загибелі людей, знищення майна, нанесення шкоди навколишньому природному середовищу та інфраструктурі регіону [7, 9].

Оскільки інженерно-конструктивні характеристики полігону є складними і в процесі своєї експлуатації він може стати нестійким під впливом зовнішніх чинників, то при виборі місця складування ТПВ насамперед слід врахувати низку гідрогеологічних та інженерно-геологічних властивостей ділянки, на якій буде розміщений полігон [19]. Не менш важливими залишаються такі фактори як морфометричний склад відходів, фізико-географічне положення ділянки складування відходів, сейсмічна активність території, кількість опадів, структурні особливості тіла полігону та інженерна діяльність людини і т.д. [11, 14].

Геодезичні та геотехнічні методи. Процеси осідання можуть утворюватися як на діючих, так і на недіючих полігонах ТПВ, тому останні також потребують періодичного моніторингу. Довготривалий геодезичний та геотехнічний моніторинг 5 нефункціонуючих полігонів ТПВ в Чехії дозволив встановити деформаційні процеси, що проходили упродовж 1998 - 2009 рр. [12]. На основі отриманих даних Кудрна З. (Kudrna Z.) наголошує на важливості виконання геодезичних спостережень навіть після закриття полігонів ТПВ. Схожі дослідження для чеського полігону Штепановице, проведені з використанням спеціальних датчиків, що були встановлені в тілі сміттєзвалища на глибинах 0.1, 0.5, 0.75, 1.0 м, дали можливість встановити середньорічну різницю між зовнішньою температурою і температурою тіла полігону [19,18].

Створення ЦМР полігону є надзвичайно важливим аспектом, який можна використовувати як в геологічних цілях, так і для дослідження рухів сміття не лише з використанням спеціальних датчиків на поверхні полігону, а й всередині. В результаті виконання проекту для встановлення рухів, що відбуваються на полігоні ТПВ, пробурено свердловини та встановлено в них спеціальні датчики,

які дали можливість на різних глибинах контролювати вертикальні та горизонтальні рухи. За даними двохрічного моніторингу встановлено, що вертикальні швидкості деформації не залежать від глибини, а горизонтальні рухи на схилах є найбільшими поблизу поверхні і зменшуються з глибиною, а після землетрусу магнітудою 6.1 балів зсуву взагалі не відбулося [9].

Осідання на полігонах ТПВ триває кілька років після закриття, а швидкість і магнітуда цього осідання залежить від багатьох чинників, включаючи час після розміщення, товщину складування відходів, морфометричний склад відходів, географічні умови розміщення, вологість, температуру, і наявність утвореного БГ на полігоні. Аналіз та визначення числових параметрів обвалу відходів на сміттєзвалищі в китайському Гуанмін виконав Уянг С. (Ouyang C.) [16]. За результатами трьох циклів НЛС після зсуву відходів для кар'єру Тунббілека (Туреччина) встановлено, що відбуваються значні зсуви у верхній частині досліджуваної території [17]. Натомість використання різниць ЦМР для аналізу та оцінювання небезпеки діяльності вулканів Індонезії, виконано дослідниками на чолі з Гаєрані Н. (Haerani N.), де відзначено доцільність використання різниць ЦМР у випадку, коли відсутні спільні контрольні точки в різні періоди [10]. Подібна методика була використана для аналізу результатів моніторингу зсуву в Ташкент Конья (Туреччина), авторами побудовано профілі та встановлено об'єми переміщеного ґрунту [20].

Після аналізу літературних джереліз врахуванням ситуації на ЛМП ТПВ після зсуву відходів, вважаємо необхідне проведення комплексу інженерно-геодезичного робіт. Томунайбільшу увагу варто приділити скануванню зсувонебезпечної ділянки. Відповідно до цього нами розроблено технологічну схему проведення інженерно-геодезичного моніторингу зсувонебезпечної ділянки в умовах надзвичайної ситуації (Рис. 4.1).

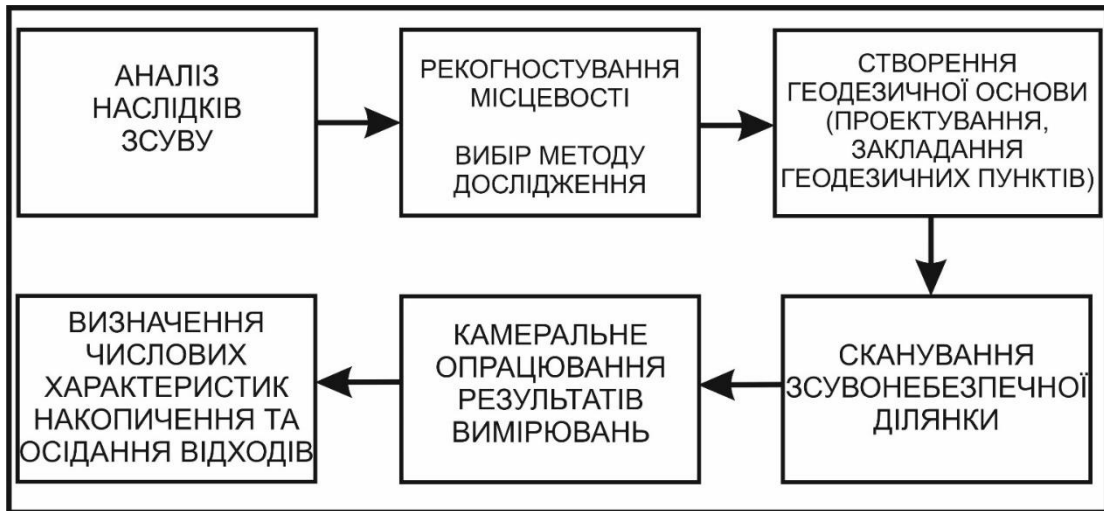


Рис. 4.1. Технологічна схема проведення інженерно-геодезичного моніторингу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ

4.1. Технологія сканування зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ з використанням роботизованого тахеометра Topcon IS-301 у червні 2016 р.

4.1.1. Аналіз наслідків зсуву на ЛМП ТПВ на основі використання даних з БПЛА

Після зсуву відходів у південно-східній частині ЛМП ТПВ утворилася тріщина довжиною 82 м, яка могла спровокувати новий зсув (Рис. 4.4).

Для аналізу стану ЛМП ТПВ найкраще застосувати аерознімання із використанням наявного БПЛА Trimble UX-5. Даний метод дає змогу проводити аерознімання невеликих за площею об'єктів [6, 14,18].

Порівняння створених ортофотопланів ЛМП ТПВ за 2015 та 2016 рр. (Рис. 4.2) дало можливість оцінити реальні масштаби зсуву відходів. Встановлено, що в результаті зсуву відходів засипано ділянку площею 34 800 кв. м, серед якої 17 600 кв. м лісу та 8 100 кв. м (тобто 25 %) озер фільтратів. Відходи, які потрапили в озера фільтратів, підняли відмітку дзеркала води та посилили тиск на ґрунтову дамбу. Це спричинило загрозу прориву дамби та витоків фільтрату на прилеглі території. Порівняння створених ортофотопланів та ЦМР дало можливість визначити межу та площу ділянки, яка обвалилася. Вона становить 7 600 кв. м [5].

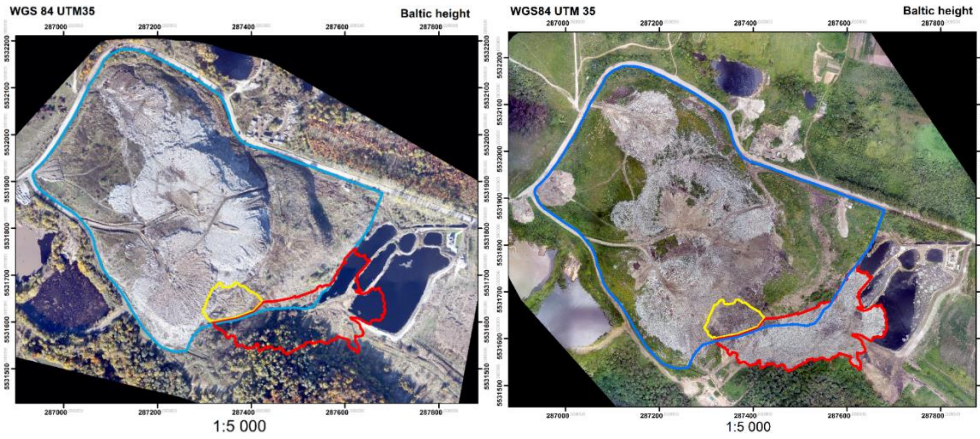


Рис. 4.2. Ортофотоплан ЛМП ТПВ станом на жовтень 2015 (а) та червень 2016 р. (б): — межа ділянки складування відходів ЛМП ТПВ; — межа ділянки, засипаної відходами після зсуву; — межа ділянки, що обвалилася.

Для кількісного аналізу об'єму зсуву відходів на основі створених ЦМР побудовано два профілі (Рис. 4.3) вздовж напрямку руху відходів (Рис. 4.4).

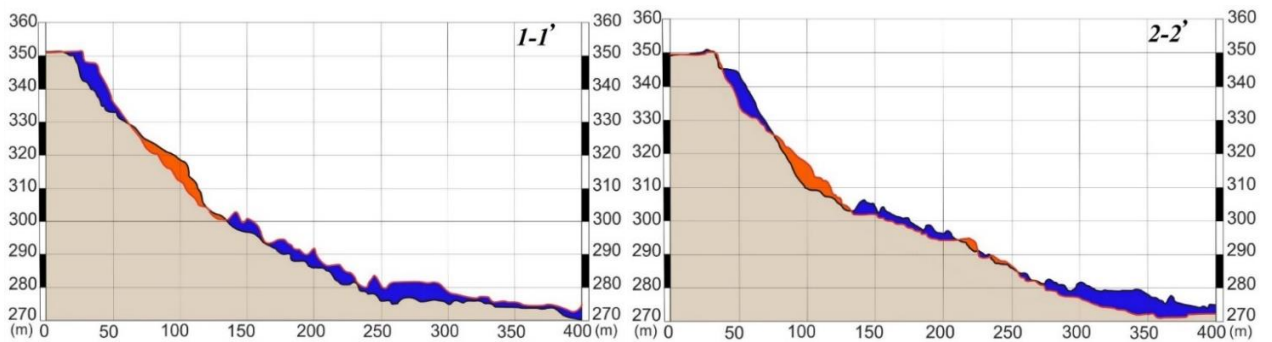


Рис. 4.3. Профільні лінії 1–1' та 2–2': — до зсуву в жовтні 2015 р.; — після зсуву в червні 2016 р.; — зсунуті відходи; — накопичені відходи.

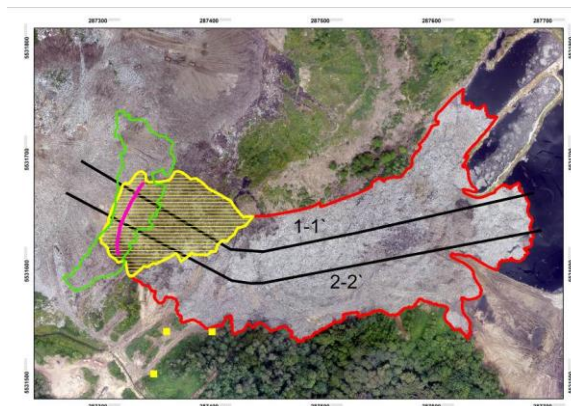


Рис. 4.4. Ділянка зсуву відходів ЛМП ТПВ у червні 2016 р.: — межа ділянки, засипаної відходами після зсуву; — межа ділянки, що обвалилася; — межа ділянки складування відходів у період з жовтня 2015 по червень 2016 р.; — тріщина, утворена в результаті зсуву; — зсувонебезпечна ділянка ЛМП ТПВ; — профільні лінії.

На основі аналізу побудованих профілей (Рис. 4.3) встановлено, що товщина накопичених відходів досягала 8 м, натомість товщина зсунутих - 10 м. Домінуюча частина зсунутих відходів знаходилась між відмітками 300 – 330 м, що відповідає висоті, на якій розміщена друга тераса складування відходів ЛМП ТПВ. Очевидно її частина і обвалилася. Оскільки співвідношення зсунутих та накопичених відходів не є однаковим, то можна припустити, що окрім частини другої зсунулась і частина третьої тераси, на якій відбувалося захоронення відходів у період з жовтня 2015 по червень 2016 р. Використовуючи різниці ЦМР, визначено межу ділянки складування відходів у період з жовтня 2015 по червень 2016 р. (7 місяців) та встановлено об'єм накопичених відходів за цей період (59 000 куб. м) [13].

Рекогностування місцевості та вибір методу дослідження. Ситуація, яка склалася на ЛМП ТПВ, для України є новою. Існує мало інформації про деформації та процеси, які відбуваються на полігонах ТПВ. Особливо важко вивчати полігони через їх неоднорідність, сезонні зміни складу відходів, морфометричний склад, що робить практично неможливим перебування його в стані інженерної стійкості. Відтак властивості полігону та процеси, які будуть на ньому відбуватися, безпосередньо залежатимуть від терміну експлуатації полігону та процесу розкладання ТПВ [8].

Утворена тріщина становила серйозну небезпеку для рятувальників, які проводили пошукові та ліквідаційні роботи. Тому необхідно було провести рекогностування місцевості, яке забезпечило би як безпеку для виконання геодезичних робіт, так і достатньо швидкий та точний результат щодо осідання відходів на зсувонебезпечній ділянці.

Для вибору методу моніторингу нами проведено низку пробних вимірювань різними методами, зокрема НЛС, НЦЗ, сканування з використанням роботизованого тахеометра, аерознімання з БПЛА. Можливість використання НЛС за допомогою наявного FARO Focus 3D 120 була виключена через необхідність оператора підходити надто близько до тіла полігону ТПВ та зокрема до потенційно небезпечної ділянки (дальність роботи даного сканера 120 м).

Іншою причиною недоцільності використання НЛС та НЦЗ була пожежа, яка призводила до періодичного задимлення об'єкту. Застосування НЦЗ також було виключено через проблематичність дешифрування точок на знімках та відсутність достатньої кількості надійних контрольних точок через постійні процеси осідання та осипання відходів.

Для виконання моніторингу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ визнано за доцільне застосувати метод сканування з використанням наявного роботизованого тахеометра Topcon IS-301. Даний прилад дозволяє виконувати вимірювання на відстані до 1200 м в умовах легкого туману та задимлення [4].

Створення геодезичної основи (проекування, закладання пунктів). Для проведення моніторингу на відстані 150-200 м від зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ було закладено 3 базові пункти (Рис. 4.19). Координати базових пунктів визначено в режимі RTK двочастотним ГНСС-приймачем Trimble R7 від мережі базових станцій GeoTerrace (Україна) з точністю 0.05 м в плані та 0.1 м по висоті, що представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

**Координати станцій спостереження, які визначені ГНСС
методом в режимі реального часу**

№ станції	Назва станції	X (м)	Y (м)	H (м)
1	ST1	5 531 540.007	287 355.958	320.51
2	ST2	5 531 502.055	287 344.428	328.717
3	ST30	5 531 539,7475	287 396,963	342,817

Використовуючи закладені пункти, в період з 11 червня 2016 по 30 червня 2016 р. виконано 10 циклів моніторингу зсувонебезпечної ділянки (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Цикли моніторингу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ

№ циклу	Дата	№ циклу	Дата
1	11.06.2016	6	23.06.2016
2	14.06.2016	7	27.06.2016
3	17.06.2016	8	28.06.2016
4	21.06.2016	9	29.06.2016
5	22.06.2016	10	30.06.2016

Сканування зсувонебезпечної ділянки з використанням роботизованого тахеометра *Torson IS-301*. Моніторинг виконували роботизованим тахеометром *Torson IS-301* у режимі сканування з дискретністю вимірювань 1 м у горизонтальному та вертикальному напрямках. Оскільки зони вимірювань із 3-х станцій перекривалися між собою, то можна припустити, що дискретність вимірювань становила приблизно 0.5 м (приблизно 3 точки на 1 кв. м). Вимірювання одного циклу тривало 3 години (близько 1-ї години на кожній станції).

Камеральне опрацювання результатів вимірювань (експорт даних та побудова ЦМР). Результати вимірювань опрацьовано у програмному продукті *Torson Image Master for IS* (Рис. 4.5). Дані із всіх трьох станцій сканування завантажені та об'єднані в одну хмару точок. Цей ПП дає можливість редагування, а саме: видалення диму, кущів та інших об'єктів, що не потрібні при побудові GRID моделі. Особливістю даного ПП є те, що він дозволяє виконати попереднє опрацювання, тому вихідним файлом є *.txt файли. Аналіз та візуалізація отриманих хмар точок для кожного циклу моніторингу проводились у програмному забезпеченні *Surfer 13*.

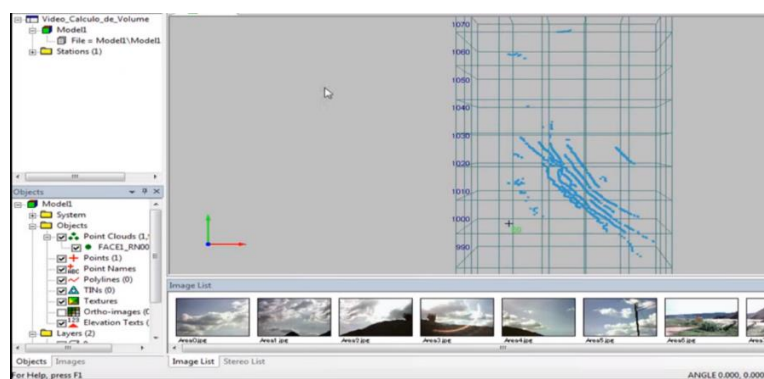


Рис. 4.5. Вікно програмного продукту *Torson Image Master for IS*.

У результаті опрацювання 10-ти циклів моніторингу побудовані ЦМР зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ з кроком сітки 0.25 м. Для візуалізації результатів період дослідження було поділено на 3 часові інтервали – 11-17 червня 2016 р., 17-23 червня 2016 р. та 23-30 червня 2016 р. Побудована ЦМР зсувонебезпечної ділянки полігону ТПВ для вибраних часових інтервалів (Рис. 4.6).

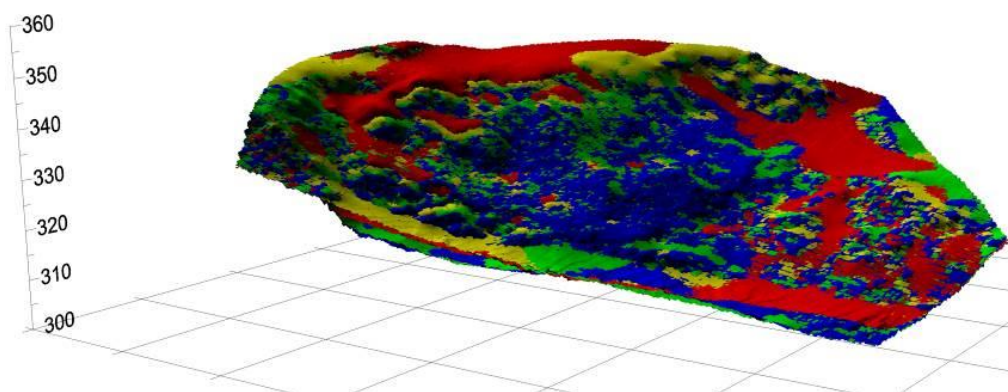


Рис. 4.6. ЦМР зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ для часових інтервалів:
■ 11 червня 2016 р.; ■ 17 червня 2016 року; ■ 23 червня 2016 р.;
■ 30 червня 2016 р.

Подані результати (Рис. 4.6) підтверджують нерівномірність руху відходів та неоднорідне перекриття ранніх циклів пізнішими, проте вони не дають можливості встановити кількісні характеристики даного процесу.

Окрім сканування ділянки зсувонебезпечного схилу ЛМП ТПВ нами було проведено також візуальні спостереження. Тріщини в південній та північно-східній частинах полігону станом на 23 і 28 червня 2016 р. подані на Рис. 4.7 - Рис. 4.10.



Рис. 4.7. Тріщина в південній частині полігону ТПВ 23.06.2016 р.



Рис. 4.8. Тріщина в південній частині полігону ТПВ 28.06.2016 р.



Рис. 4.9. Тріщина в північно-східній частині 23.06.2016 р.



Рис. 4.10. Тріщина в північно-східній частині полігону ТПВ 28.06.2016 р.

Навіть аналіз фотоматеріалів засвідчує тенденцію руху зсувонебезпечної ділянки порядку декількох метрів.

4.1.2. Визначення числових характеристик накопичення та осідання сміття

Для визначення таких характеристик руху відходів доцільно оперувати різницями ЦМР. Для вибраних часових інтервалів такі різниці подані на (Рис. 4.11).

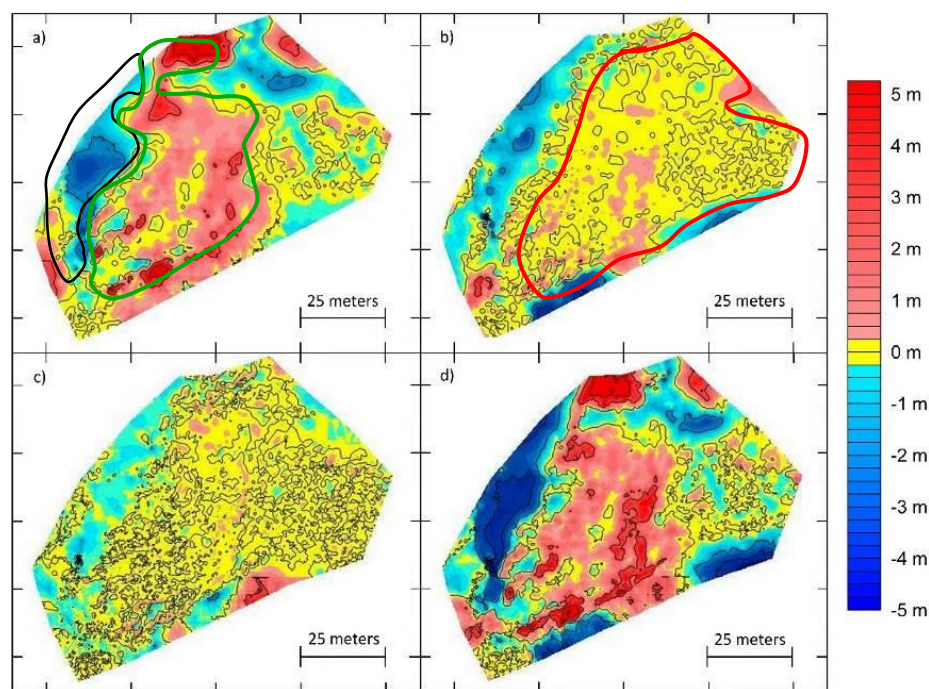


Рис. 4.11. Різниці ЦМР зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ на відповідні періоди: а) 11 - 17.06.2016 р.; б) 17 - 23.06.2016 р.; в) 23 - 30.06.2016 р.; г) 11-30.06.2016 р.

Червоним кольором позначено ділянки, де кількість сміття збільшилась порівняно з попереднім циклом (накопичення). Це можна трактувати, як переміщення сміттевого тіла вниз по схилу, де позначка була меншою, і на різниці поверхонь відображається приріст об'єму. Синім кольором позначено ділянки, де кількість сміття зменшилась порівняно з попереднім циклом (осідання). Такий варіант можливий у випадках, якщо фрагмент сміттевого тіла під дією власної ваги осів або перемістився в інше місце, а на його місце не перемістився інший фрагмент. Жовтим кольором позначено зони, в яких сміттеве тіло стабільне. Ще одне представлення різниць поверхонь між двома циклами подано на Рис. 4.12

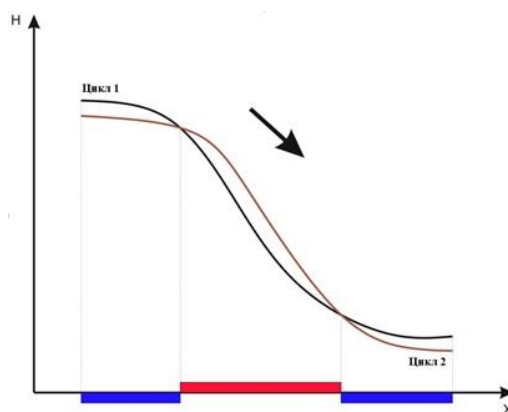


Рис. 4.12. Інтерпретація різниць поверхонь

Оскільки поверхня сканування (сміттєзвалища) є досить неоднорідною з великою кількістю об'єктів направлених в різні сторони, а лазерний промінь не завжди потрапляє в ті самі точки в різних циклах спостережень було прийнято рішення вважати всі рухи в межах від -0.25 м до 0.25 м як стабільну зону.

На основі аналізу різниць ЦМР зсувонебезпечної ділянки встановлено, що найактивніше зсувні процеси спостерігалися з 11 до 17 червня 2016 р. (Рис. 4.11 а). Протягом цього інтервалу у центральній частині зсувонебезпечної ділянки можна виділити значну зону накопичення відходів (близько 2 400 кв. м) із накопиченням від $+0.4$ до $+4.1$ м (зелений колір), а також значні осідання відходів в межах ідентифікованої тріщини від -0.5 до -2.5 м. (синій колір).

Упродовж 17–23 червня 2016 р. (див. Рис. 4.11б) простежується значне зменшення зони накопичення відходів у центральній частині зсувонебезпечної ділянки, а також починає відбуватися процес формування однієї великої стабільної зони (червоний колір).

Також упродовж цих двох часових інтервалів простежується рівномірне зменшення значень осідань відходів в межах тріщини (від -0.4 до -1.3 м). Аналіз підтверджує затухання зсувних процесів зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ впродовж червня 2016 р.

З часом зсувні процеси слабшали і протягом 23 - 30 червня 2016 р. (див. Рис. 4.11. в) можна простежити відносну стабільність більшої частини зсувонебезпечної ділянки приблизно на площі 4 280 кв. м. Рис. 4.11 г. демонструє значення різниць ЦМР протягом 11-30 червня 2016 р.

Для підтвердження затухання зсувних процесів у табл. 4.3 представлено основні кількісні характеристики зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ.

Таблиця 4.3

Кількісні характеристики зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ

			Інтервали спостережень		
			11-17 червня 2016 р.	17-23 червня 2016 р.	23-30 червня 2016 р.
Площа	Накопичення	кв. м	2482.1	818.94	531.0
		%	40.0	13.4	8.0
	Осідання	кв. м	1520.70	1374.45	1173.2
		%	24.5	22.4	17.6
	Стабільна	кв. м	1826.2	3638.3	4279.2
		%	35.5	64.2	74.4
Об'єм	Накопичення	куб. м	1291.24	167.0	115.5
		куб. м /день	215.21	27.83	16.50
	Осідання	куб. м	753.49	722.1	206.7
		куб. м /день	125.58	120.34	29.53

Тенденцію схилу до стабільності ілюструють також графіки (Рис. 4.13.).

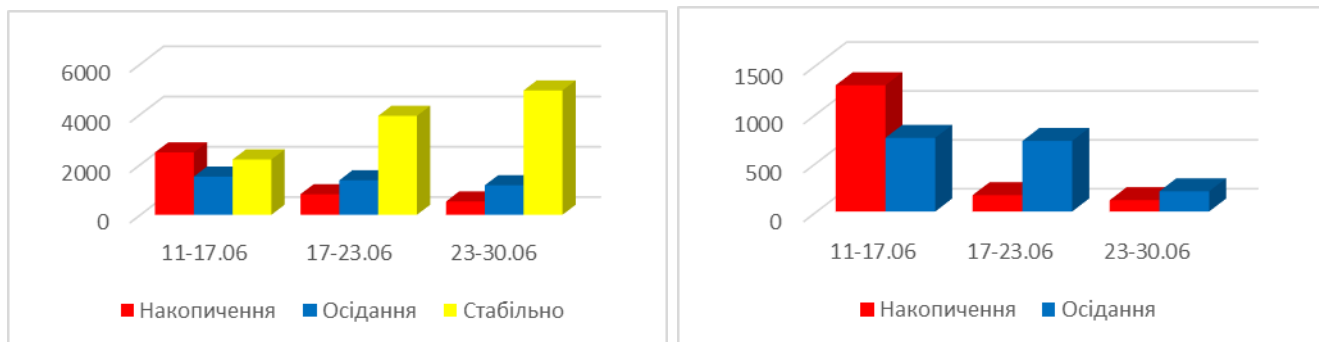


Рис. 4.13. Зміна площ та об'ємів за досліджуваний період, кв. м та куб. м

Так як на зсувонебезпечній ділянці не було можливості встановити контрольні точки, для визначення напрямку відносних горизонтальних рухів виконано порівняння координат виявлених характерних точок. У результаті аналізу та порівняння побудованих ЦМР встановлено 22 характерні точки. На їх основі укладено карту розподілу напрямків відносних горизонтальних рухів зсувонебезпечної ділянки протягом досліджуваного періоду (Рис. 4.14).

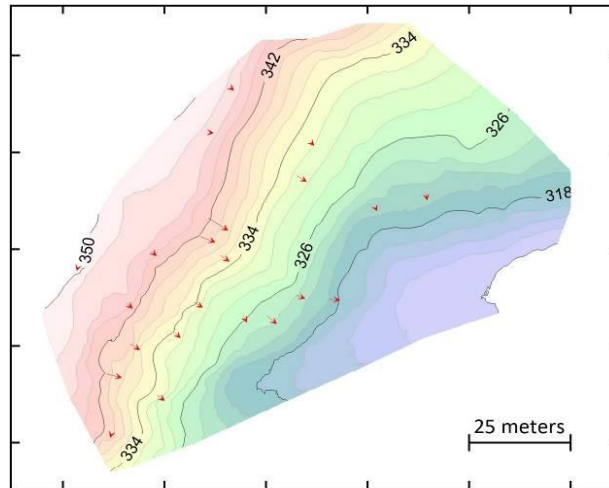


Рис. 4.14. Карта розподілу напрямків відносних горизонтальних рухів зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ впродовж 11-30.06.2016 р.

Отримана карта засвідчує, що більшість векторів мають південно-східний напрямок. У середньому відносна швидкість горизонтальних рухів складала 0.25 м/день. Проте відносна швидкість горизонтальних рухів у центральній частині ділянки є більшою в порівнянні з іншими. Це підтверджує неоднорідність руху відходів, що вже було встановлено на основі накладання різночасових ЦМР.

Тріщина, що знаходиться в західній частині досліджуваного схилу, протягом періоду спостережень (11.06 – 30.06.2016 р.) постійно збільшувалася. Візуально стала проявлятися тріщина, яка ділить схил на дві частини. Тому на основі різниць поверхонь карти розподілу руху та наочних спостережень виділено два блоки (D1 та D2) з вираженими рухами сміття (Рис. 4.15).



Рис. 4.15. Блоки смітєвого тіла зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ

4.2. Дослідження динаміки схилу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ у березні –серпні 2017 р.

З метою отримання інформації про стан зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ 25 березня 2017 р. проведено повторне сканування. Із закладених 3 базових пунктів для спостережень отримано набір даних, що в подальшому використано для побудови ЦМР.

Порівняння ЦМР, отриманих 30 червня 2016 р. та 25 березня 2017 р. (Рис. 4.16), показало, що відбувся практично рівномірний процес зсуву, окрім верхньої частини досліджуваної ділянки, на якій збільшилась тріщина.

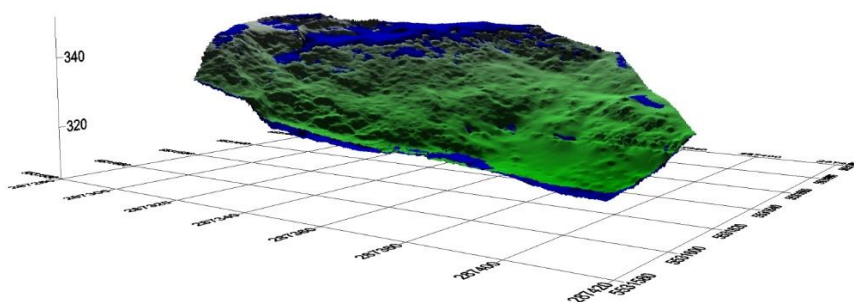


Рис. 4.16. 3D представлення ЦМР — 30 червня 2016 та — 25 березня 2017 р.

За знайденими різницями ЦМР (Рис. 4.17) у період з 30 червня 2016 р. по 25 березня 2017 р. бачимо осідання відходів в межах тріщини від -0.4 до -2.3 м, а також рівномірне накопичення відходів на решті зсувонебезпечної ділянки в межах від $+0.6$ до $+2.8$ м. Отримані результати можна пояснити тривалою перервою між циклами сканування зсувонебезпечної ділянки (близько 9 місяців).

Кількісні характеристики руху сміття представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Характеристики зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ з 30.06.16 – 25.03.2017 р.

		Од. вим.	Період спостережень
			30.06.16-25.03.2017 р.
Площа	Накопичення	кв. м.	4731.0
	Осідання	кв. м.	1038.3
Об'єм	Накопичення	куб. м.	1586.1
		куб. м./міс	176,2
	Осідання	куб. м.	592.5
		куб. м./міс	65,7

За ЦМР визначено, що в середньому за місяць накопичується близько 176 куб. м відходів на площі 4 731,0 кв. м, а осідає 65,7 куб. м на площі 11 038,3 кв. м.

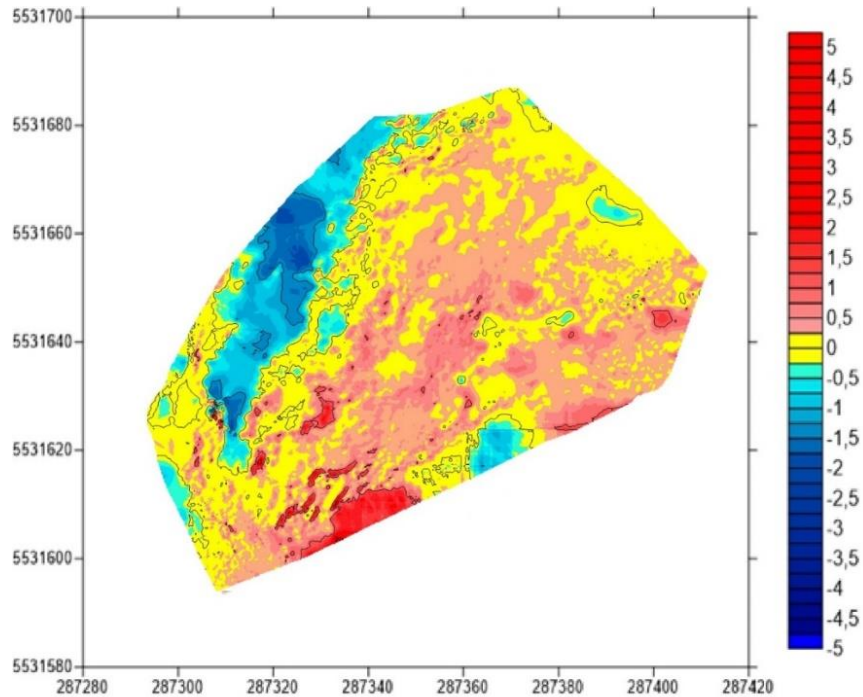


Рис. 4.17. Різниці ЦМР зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ в періоди 30.06.16 - 25.03.2017 р.

Ділянка з додатніми значеннями (червоний колір) є досить однорідною, а рух, який відбувається зверху, спричинений масою ділянки, що зсувається. У крайній правій частині зсувонебезпечної ділянки спостерігається зона зі значеннями близькими до нуля, яка є частиною другої тераси складування відходів, що, вочевидь, робить цю ділянку більш стабільною [1].

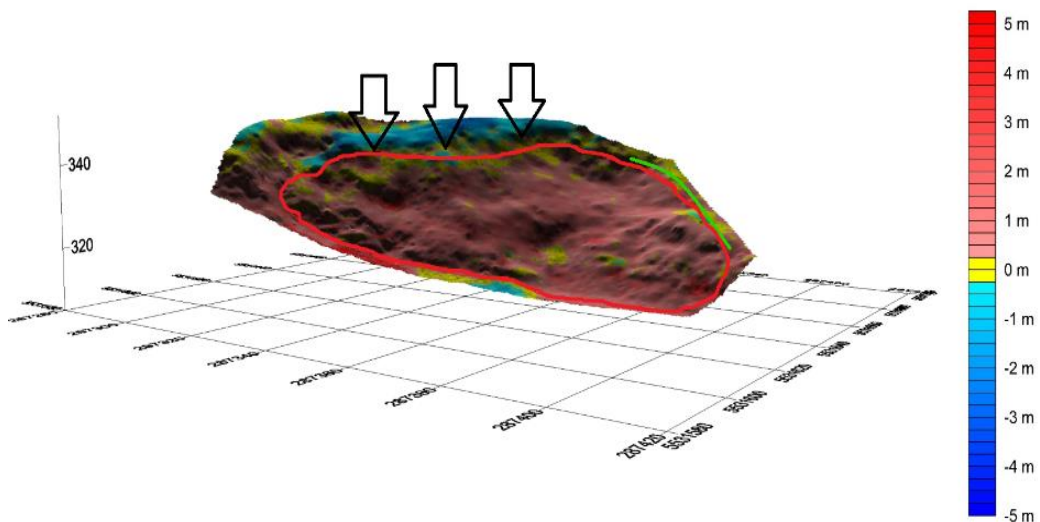


Рис. 4.18. 3D – представлення різниць ЦМР 30.06.16 - 25.03.2017 р.

4.3. Дослідження динаміки схилу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ у серпні-грудні 2017р.

Задля вчасного попередження можливого нового зсуву та зменшення збитків від його наслідків було вирішено продовжити геодезичний моніторинг за зсувонебезпечною ділянкою. Заплановані до проведення на полігоні рекультивація, прокладання дренажних каналів, монтаж дегазаційних установок біогазу тощо також вимагають достовірної інформації про стабільність зсувонебезпечного схилу. Наступними датами моніторингових спостережень було обрано 15 серпня, 7 листопада, 2 грудня 2017 р.

На основі закладених базових станцій з попередніх циклів для кожної із трьох станцій було отримано від 30 000 до 40 000 точок, на основі яких з дискретністю 0.25 м побудовано ЦМР зсувонебезпечної ділянки. Через заборону експлуатації та складування відходів на полігоні ТПВ досліджувана ділянка активно заростає трав'яним покривом. Однак, провівши очистку місцевості, нами виконано спостереження, за результатами якого побудовано ЦМР. Слід зазначити, що навіть при візуальному накладанні ЦМР 25 березня 2017 та 15 серпня 2017 р. (Рис. 4.20) простежується сповільнення процесу зсуву.



Рис. 4.19. Схема розташування знімальних станцій та — межа ділянки, засипаної сміттям після зсуву; — межа сканування зсувонебезпечної ділянки; ▲ пункти знімальної мережі для виконання сканування.

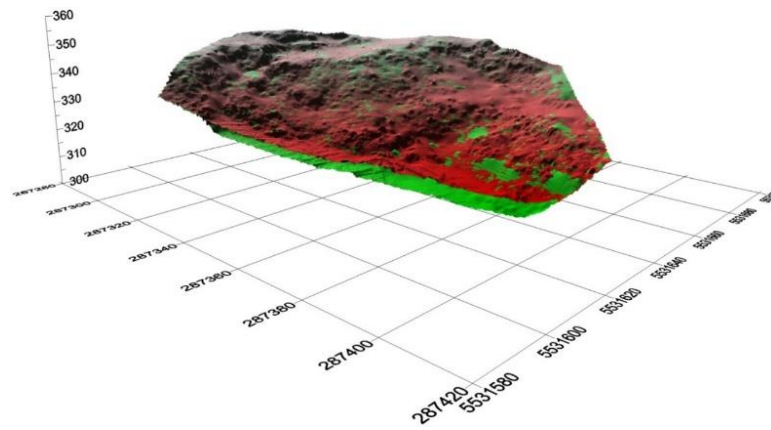


Рис. 4.20. 3D представлення ЦМР — 25 березня 2017 та — 10 серпня 2017 р.

Аналізуючи різниці ЦМР на 25 березня 2017 р. та 15 серпня 2017 р. (4 місяці), у центральній частині зсувонебезпечної ділянки можна виділити один стабільний блок зі значеннями, близькими до нуля, а на решті ділянки простежується відносна стабільність від -0.4 до $+0.6$ м (Рис. 4.21).

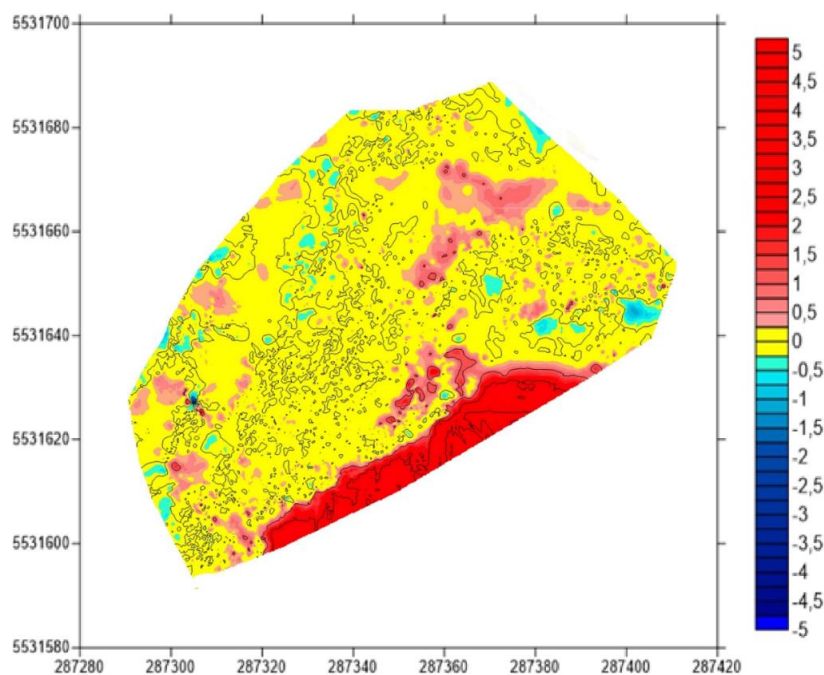


Рис. 4.21. Різниці ЦМР зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ (25.03.17-04.08.17)

Аналіз отриманих результатів показав, що в східній частині зсувонебезпечної ділянки отримано значення близько 3-4 м (червоний колір). Це ділянки відходів, яка заросла трав'янистим покривом і з точки зору техніки безпеки не піддавалася роботам по очистці, а також не бралася до уваги при розрахунках щодо кількісних характеристик руху на схилі, які подані у таблиці 4.5.

**Кількісні характеристики зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ з
25.03.2017 -10.08.17**

		Од. вим.	Періоди спостережень
			25.03.2017-10.08.2017 р.
Пло ща	Накопичення	кв. м	2948.8
	Осідання	кв. м	192.9
Об'єм	Накопичення	куб. м	1838.2
		куб. м./міс	367,7
	Осідання	куб. м	25.9
		куб. м./міс	5,2

За ЦМР визначено, що в середньому за місяць накопичується близько 367.7 куб. м відходів на площі 2948,8 кв. м, а осідає 25,9 куб. м. на площі 192,9 кв. м.

Аналогічні дії виконано для знаходження різниць ЦМР з 15 серпня по 7 листопада 2017 р., де спостерігаємо осідання відходів в межах тріщини від -0.3 до -1.3 м, а також нерівномірне осідання відходів на решті зсувонебезпечної ділянки від -0.3 . до -1.1 м. Також проявляється вплив значної кількості рослинності з попереднього циклу, тому в південно-східній частині зсувонебезпечної ділянки знову фіксуються некоректні результати. Для даного періоду спостережень можна стверджувати про перехід від одного стабільного блоку з попереднього циклу до незначної активації процесів осідання на схилі (чорний колір на Рис. 4.22).

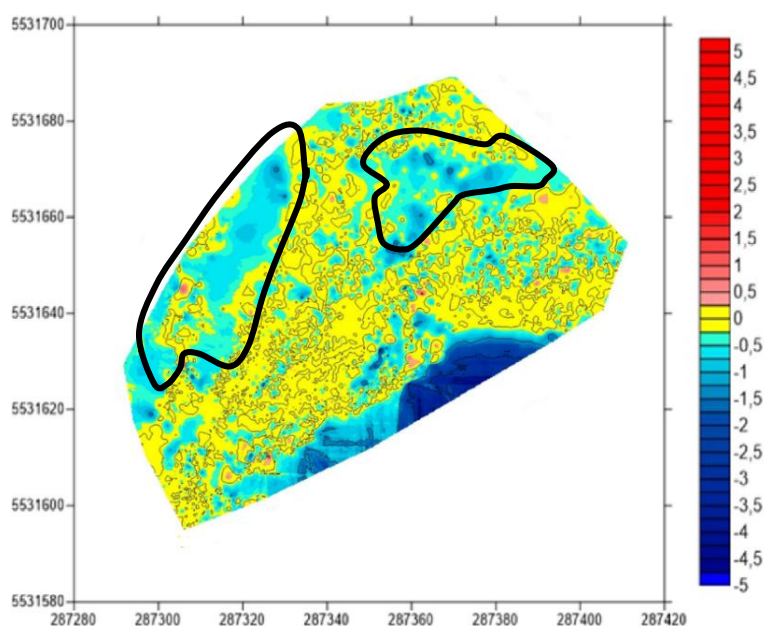


Рис. 4.22. Різниця ЦМР зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ (15.08.17-07.11.17)

Виділимо ділянки, на яких відбувається просідання, а саме ділянка в якій сформувалася тріщини та ділянка, що знаходиться на рівні другої тераси складування відходів.

Аналогічні дії виконуємо і для останнього циклу сканування 2 грудня 2017 р. (Рис. 4.23), де більша частина зсувонебезпечної ділянки схилу жовтого та голубого кольору, що свідчить про стабілізацію схилу та незначне осідання відходів. На схилі відбувається здебільшого поступове фрагментарне осідання у межах від -0.5 м до +0.5 м.

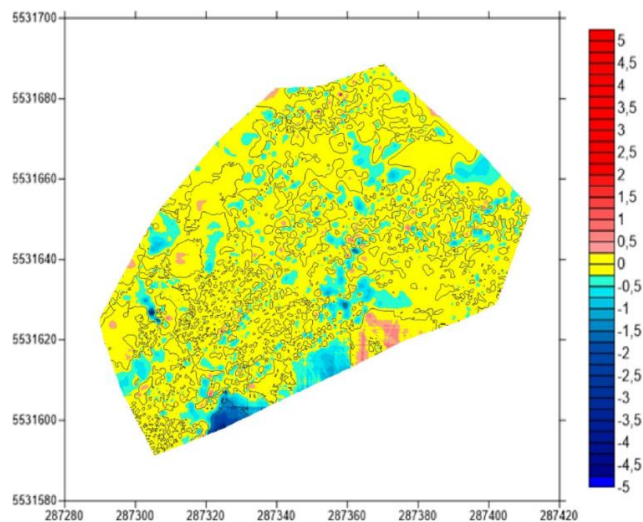


Рис. 4.23. Різниці ЦМР зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ (7.11.17-2.12.17)

Описана вище методика дозволяє досить чітко виявити вертикальні рухи, такі як осідання, однак значно важче інтерпретувати накопичення, які часто є проявом горизонтальних рухів. Для виявлення горизонтальних рухів, наприклад таких як відслонення, нами була вибрана інша система відліку, як показано на Рис. 4.24.

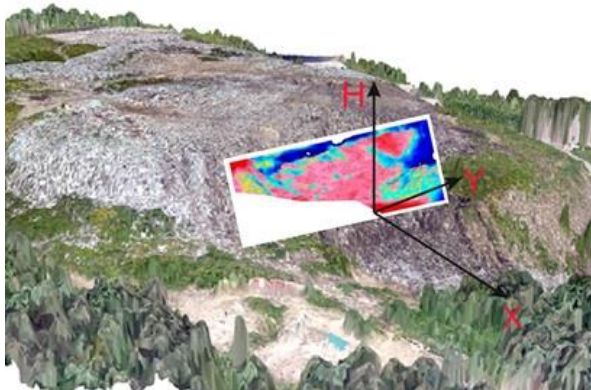


Рис. 4.24. Система відліку для виявлення горизонтальних рухів

Вісь X цієї системи спрямована перпендикулярно до площини схилу, а вісь Y – паралельно. Цифрова модель побудована у площині YN з кроком сітки 0.25 м. Завдяки такому розвороту осей чітко можна побачити зони, де відбуваються рухи саме у горизонтальній площині (Рис. 4.25). Синім кольором позначено зони з від’ємними значеннями, тобто відслонення стало менше, ніж було. Червоним кольором позначено зони з додатними значеннями, тобто насування стало більше, ніж було.

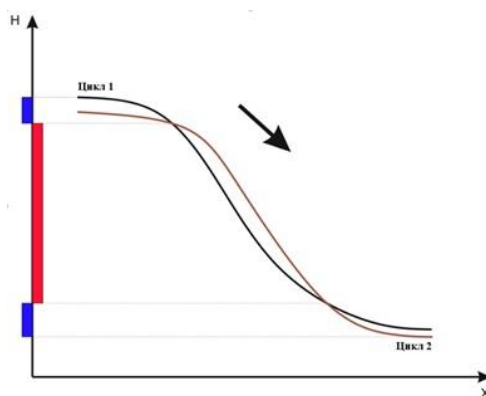


Рис. 4.25. Інтерпретація різниць поверхонь для виявлення горизонтальних рухів

На рис. Рис. 4.26 - Рис. 4.28 подані різниці поверхонь описаних вище циклів спостережень для знаходження горизонтальних рухів. Жовтим кольором позначено відносно стабільну зону з рухами у межах ± 0.10 м. Можна стверджувати, що найінтенсивніші горизонтальні рухи спостерігалися з березня по серпень 2017 р., де їх значення становило +4.7 м в місцях тріщини на відмітках 340-350 м. Подальші спостереження дають можливість побачити, що відбувається сповільнення горизонтальних рухів та збільшення стабільної площі на зсувонебезпечній ділянці (таблиця 4.6), а схил має тенденцію до стабілізації [2].

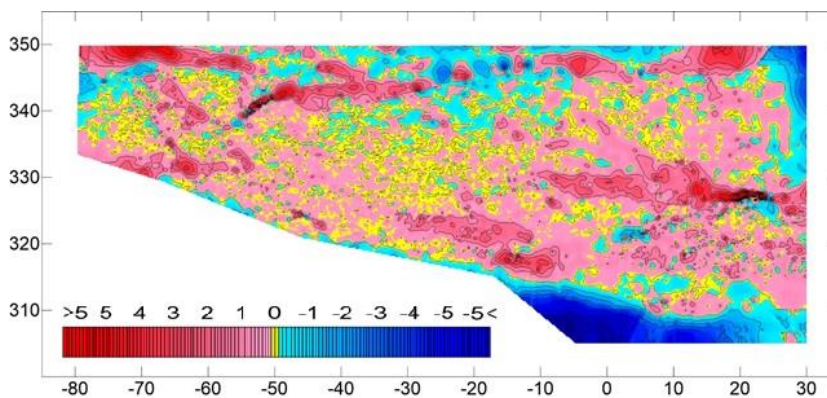


Рис. 4.26. Різниці поверхонь (15.08 – 25.03.2017)

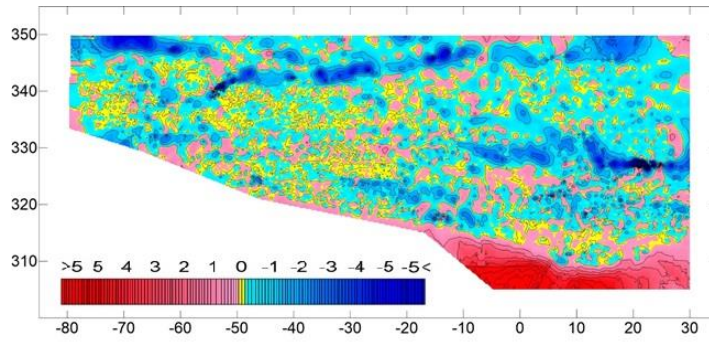


Рис. 4.27. Різниці поверхонь (15.08 – 07.11 2017)

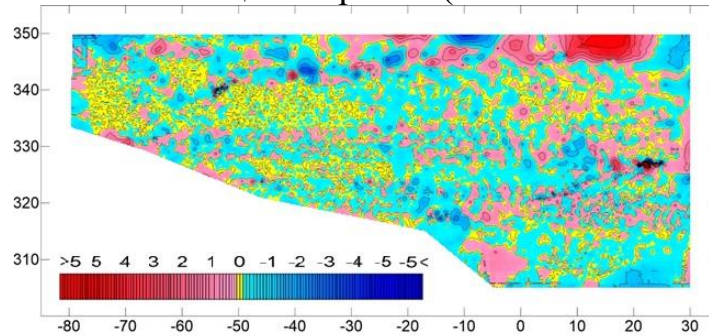


Рис. 4.28. Різниці поверхонь (07.11 – 02.12 2017)

Таблиця 4.6

Кількісні характеристики рухів на схилі

		Од. вим.	Періоди спостережень		
			25.03-04.08	04.08-07.11	07.11-02.12
Площа	Накопичення	кв.м	2123.18	1228.88	1116.69
		%	49.3	28.5	25.9
	Осідання	кв.м	1269.48	2176.22	2016.48
		%	29.5	50.5	46.8
	Стабільна	кв.м	913.72	901.28	1173.21
		%	21.2	20.9	27.2

Також для простеження тенденції рухів на схилі нами проведено профільну лінію (Рис. 4.29), що підтверджує зміщення в певних точках близько 5 м на період з 30 червня 2016 р. по 02 грудня 2017 р. (Рис. 4.30).

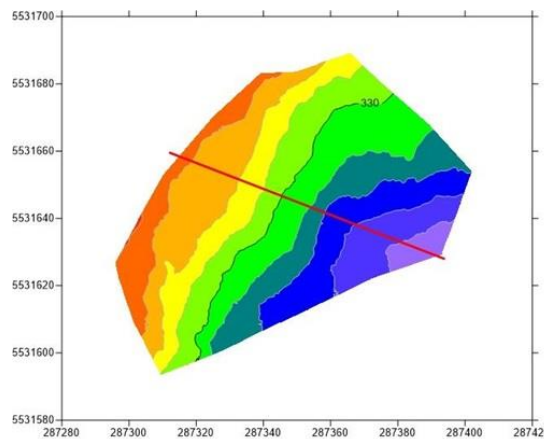


Рис. 4.29. Профільної лінії на схилі зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ

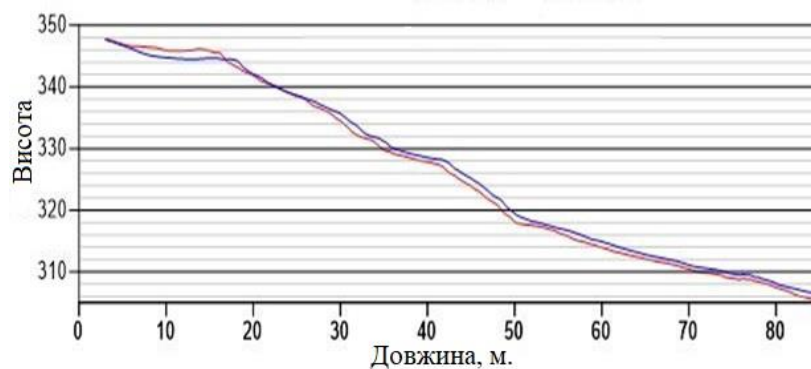


Рис. 4.30. Профільні лінії 30 червня 2016 р. (червоний колір) та 02 грудня 2017 р. (синій колір)

Аналізуючи дані результати слід зазначити, що необхідним для тіла полігону ТПВ буде проведення, як коротко термінових так і довго термінові спостереження.

4.4. Рекомендації до проведення моніторингу просторового зміщення тіла полігону ТПВ

В постексплуатаційний період життєвого циклу об'єктів розміщення відходів може бути два варіанти розвитку ситуації, що пов'язані із закриттям полігону ТПВ.

Перший варіант. Причиною закриття полігону ТПВ може бути надзвичайна ситуація (пожежа, зсув відходів чи інші), що в подальшому передбачає вивчення наслідків зсуву, оцінку ризиків та небезпек утворення нових зсувів, встановлення зсувонебезпечної ділянки та її числових характеристик зміщення. Аналіз вибору методів моніторингу засвідчив, що за рахунок оперативності і безпеки з точки зору охорони праці та техніки безпеки найкраще застосувати знімання з БПЛА. Для встановлення кількісних параметрів зміщення зсувонебезпечної ділянки найкраще підійдуть дистанційні методи, оскільки є велика ймовірність повторного зсуву. Далі слід розробити технологію дослідження зсувонебезпечної ділянки, що передбачає використання вже існуючих базових пунктів геодезичної основи чи закладання нових із подальшим проведення інженерно-геодезичного робіт. Закладання контрольних точок моніторингу надасть можливість встановити розподіл напрямків відносних горизонтальних та вертикальних рухів. Для таких задач найкраще використати

автоматизована система геодезичного моніторингу, яка передбачає використання сучасних геодезичних приладів (роботизовані тахеометри, нівеліри, інклінометри та інше обладнання), що працюють в автоматичному режимі і може проводити візуалізацію процесів, що відбуваються безпосередньо на полігоні ТПВ. Однак за неможливості встановлення таких пунктів безпосередньо на об'єкті, то альтернативою могло бути покриття його щільної хмарою точок, отриманою із використанням НЛС чи роботизованого тахеометра в безрефлекторному режимі. Періодичність таких спостережень залежить від масштабів зсуву та самої зсувонебезпечної ділянки, однак найбільша частота (циклічність) спостережень повинна бути в перші години, дні, тижні, місяці спостережень після зсуву, а й подекуди повинна продовжуватися протягом декількох років.

Другий варіант передбачає планове закриття полігону ТПВ, де одним із етапів буде технічна рекультивації полігону ТПВ. Одним із завдань яке необхідне для проектних організацій є створення топографічного плану на момент закриття. План необхідний у подальшому для розрахунків необхідного ґрунту для ізоляції (верхній шар), за вертикального планування, виположення схилів і приведення їх до норми в 18° . Також в процесі рекультивації полігонів ТПВ необхідне закладання геодезичних пунктів, які будуть слугувати для визначення просторових зміщень, що необхідно виконувати сучасними ГНСС приймачами в режимі статички яке дасть достатньо високу точність близько декількох міліметрів або альтернативою до такого моніторингу може бути застосування геотехнічних методів.

Проведення екологічного моніторингу необхідно здійснювати як в активний так і у постексплуатаційний період життєвого циклу об'єктів розміщення відходів. Його вирішення необхідно здійснювати відповідно до переліку і термінів, що описані в [3]. Зауважимо, що для цього слід залучити широке коло спеціалістів із різних галузей (екології, хімії, медицини, теплоенергетики тощо). Таку вузькогалузеву інформацію слід додати до бази даних про об'єкти розміщення відходів при проведенні геоінформаційного моніторингу.

Висновки до розділу 4

1. Розроблено технологію проведення інженерно-геодезичного моніторингу зсувонебезпечної ділянки для ЛМП ТПВ, що передбачає використання сучасного геодезичного обладнання (роботизований тахеометр в безрефлекторному режимі) з метою отримання оперативної інформації про числові характеристики зсувонебезпечної ділянки.

2. На основі проведених пробних вимірювань дистанційними та контактними методами встановлено, що використання роботизованого тахеометра Topcon IS-301 в режимі сканування є ефективним засобом для спостережень за процесами, які відбувалися на зсувонебезпечній ділянці ЛМП ТПВ. Використання даного роботизованого тахеометра є виправданим засобом для збору геопросторової інформації на великих відстанях (1 200 м) у складних метеорологічних умовах і, головне, є безпечним з точки зору техніки безпеки та охорони праці в умовах небезпеки повторного зсуву.

3. Упродовж червня 2016 – грудня 2017 р. виконано комплекс інженерно-геодезичних робіт, який включав: закладання трьох станцій для спостережень в режимі РТК з визначенням їх координат (їх правильне розміщення забезпечило достатнє покриття зсувонебезпечної ділянки необхідною кількістю точок), проведено 14-ть циклів спостережень, побудовано ЦМР зсувонебезпечної ділянки та визначено числові характеристики осідання та накопичення відходів.

4. Виконані дослідження з моніторингу зсувонебезпечної ділянки ЛМП ТПВ дають підстави стверджувати про неодинакові рухи впродовж досліджуваного періоду, а також їх різну інтенсивність у різних частинах ділянки моніторингу. Встановлено, що максимальні рухи спостерігалися у перший тиждень після пожежі (11–17 червня 2016 р.) у центральній частині зсувонебезпечної ділянки. Тут можна виділити значну зону накопичення відходів площею близько 2 400 кв. м із накопиченням від +0.4 до +4.1 м, а також значні осідання відходів у межах ідентифікованої тріщини від –0.5 до –2.5 м. З часом інтенсивність рухів слабшала і з кінця червня 2016 р. по березень 2017 р. значення

різниць ЦМР коливалося у межах тріщини від -0.4 до -2.3 м, а також відбувалося рівномірне накопичення відходів на решті зсувонебезпечної ділянки в межах від $+0.6$ до $+2.8$ м. Відповідно середньомісячний рух склав $-0,25$ м та $+0,31$ м і проходив у південно-східному напрямку суцільним блоком. У період з 25 березня по 4 серпня 2017 р. простежується відносна стабільність зі значеннями від -0.4 до $+0.6$ м. Упродовж 15 серпня – 7 листопада 2017 р. відбувалося осідання відходів в межах тріщини від -0.3 до -1.3 м, а також нерівномірне осідання відходів на решті зсувонебезпечної ділянки від -0.3 до -1.1 м. Також відносна стабільність більшої частини зсувонебезпечної ділянки (від -0.5 до $+0.5$ м) простежувалася впродовж останнього циклу спостереження з 7 листопада по 2 грудня 2017 р.

5. Для виявлення горизонтальних рухів запропоновано зміну системи осей координат, яка дала можливість встановити, що найактивніші переміщення відходів відбувалися в районі тріщини і їх зміщення становило $+4.7$ м.

6. Для визначення напрямку відносних горизонтальних рухів відходів виконано порівняння координат виявлених на ЦМР 22 характерних точок. Побудовано карту розподілу напрямків відносних горизонтальних рухів зсувонебезпечної ділянки протягом червня 2016 р. Встановлено, що більшість векторів мають південно-східний напрямок, а середня відносна швидкість горизонтальних рухів становить 0.25 м/день.

7. Завдяки вибору інженерно-геодезичного методу дослідження встановлено, що при неможливості виконання знімачів на надійно встановлених контрольних точках, доцільним є оперування різницями ЦМР.

Список літератури до розділу 4

1. Лозинський В. А. Моніторинг зсувонебезпечної ділянки Львівського міського полігону твердих побутових відходів (червень 2016 - березень 2017 років) / В. А. Лозинський, О. В. Ломпас // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2017. – № 34. – С. 92–97.
2. Ломпас О. В. Дослідження динаміки схилу зсувонебезпечної ділянки Львівського міського полігону твердих побутових відходів / О. В. Ломпас, В. А. Лозинський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2018. – № 34. – С. 45–52.
3. Методичні рекомендації по впровадженню системи моніторингу у сфері поводження з твердими побутовими відходами: затверджені наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 02.10.2008 року, № 295.
4. Нікулішин В. І. Досвід виконання геодезичного моніторингу зсувонебезпечної ділянки Львівського міського полігону твердих побутових відходів / В. І. Нікулішин, О. В. Ломпас, І. Р. Савчин, В. А. Лозинський // Збірник міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених "GeoTerrace-2016". м. Львів 15-17 грудня 2016 р. – 2016. – С. 54–57.
5. Нікулішин В. І. Застосування БПЛА Trimble UX-5 для моніторингу наслідків зсуву на Львівському міському полігоні ТПВ / В. І. Нікулішин, І. Р. Савчин, О. В. Ломпас, В. А. Лозинський // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації». м. Івано Франківськ 22-25 березня 2017 р. – С. 297-298.
6. Bendea H. Low cost UAV for post-disaster assessment. / H. Bendea, P. Boccardo, S. Dequal, F. Giulio Tonolo, D. Marenchino, M. Piras // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – Beijing.: 2008. – Vol. XXXVII. – pp. 1373-1380.
7. Blight G. Catastrophe revisited—disastrous flow failures of mine and municipal solid waste./ G. E. Blight, A. B. Fourie// Geotechnical and Geological

- Engineering, – 2005. – Volume 23, Issue 3. – pp.219–248.
8. Blight G. Slope failures in municipal solid waste dumps and landfills: a review./ G. Blight // Waste Management and research. – 2008. – No. 26(5). – pp. 448-463.
 9. Coduto D. Monitoring Landfill Movements Using Precise Instruments [Электронный ресурс] / D. Coduto, R. Huitric // Symposia Papers & STPs – Режим доступа до ресурсу: https://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/STP/PAGES/STP25317S.htm.
 10. Haerani N. On the Performance of Terrestrial Laser Scanner for Volcanic and Landslide Hazard Assessment in Indonesia / N. Haerani, H. Abidin, I. Gumilar, V. Sadarviana, D. Wijaya // FIG Working Week. – 2016.
 11. Huang Yu. Engineering geological analysis of municipal solid waste landfill stability/ Y. Huang, G. Fan // Natural Hazards. – 2016. – Volume 84, Issue 1. – pp. 93–107.
 12. Kudrna Z. Long-term deformations of municipal landfill bodies and their effects on functional safety of superficial sealing / Z. Kudrna // Acta Geodynamica et Geomaterialia. – 2009. – № 4. – pp. 465–473.
 13. Lozynskyi V. A. The catastrophic waste-slide at Lviv Municipal Solid Waste Landfill on May 30, 2016 / V. A. Lozynskyi, V. I. Nikulishyn, O. V. Lompas, I. R. Savchyn // Book of Abstract VIII Miedzynarodowa konferencja Naukowa z cyklu Innowacyjne technologie geodezyjne - zastosowania w roznych dziedzinach gospodarki. Kamionka Poland 7-9 czerwca 2017. – pp. 75-76.
 14. Lucero O. Use of Drones on Landfills / O. Lucero, M. Reynores, E. Verdini, J. Law // – 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.scsengineers.com/wp-content/uploads/2015/10/Use_of_Drones_on_Landfills_092015_James_Law.pdf
 15. Merry S. Reconnaissance of the July 10, 2000, Payatas Landfill Failure / S.M. Merry, Jr. E. Kavazanjian, W. U. Fritz // Journal of performance of constructed facilities. – 2005. – Volume 19. – pp. 100–107.
 16. Ouyang C. Dynamic analysis and numerical modeling of the 2015 catastrophic landslide of the construction waste landfill at Guangming, Shenzhen, China/

- C. Ouyang, K. Zhou, Q. Xu, Y. Jianhua, P. Dalei, W. Dongpo, L. Weile // Landslides. – 2016. – pp. 1-14.
- 17.Ozdogan M. Monitoring of Landslide at Tuncbilek Open Pit Stripping Area with Terrestrial Laser Scanner and Optical Images / M. Ozdogan, A. Deliormanli // World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – Volume 44. – pp.1-7.
- 18.Toth C. Mapping with Small UAS: A Point Cloud Accuracy Assessment / C. Toth, G. Jozkow, D. Grejner-Brzezinska // Journal of Applied Geodesy. – 2016 – № 9 (4). – pp. 213–226.
- 19.Vaverková M. Long-Term Temperature Monitoring of a Municipal Solid Waste Landfill Pol / M. Vaverková, D. Adamcová // Polish Journal of Environmental Studies. – 2015. – № 24. – pp. 1373–1378.
- 20.Zeybek M. Accurate determination of the Taşkent (Konya, Turkey) landslide using a long-range terrestrial laser scanner / M. Zeybek, I. Şanlıoğlu // Bulletin of Engineering Geology and the Environment.– 2015 – № 74 (1). – pp. 61–76.

Загальні висновки

У результаті виконання дисертаційної роботи на основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливе завдання обґрунтування та розроблення системи геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів функціонуючих урбосистем. Встановлено, що для забезпечення нормального, безпечного функціонування полігонів ТПВ необхідне розроблення комплексного підходу, до ведення моніторингу на різних етапах життєвого циклу полігону – до початку створення, в активний період експлуатації та після його закриття. Вихідними даними для проведення моніторингу є архівні картографічні матеріали (топографічні плани та карти, аерофотознімки), дані знімання з БПЛА, результати інженерно-геодезичних вимірювань.

Основні результати дисертаційної роботи:

1. Проаналізовано сучасний стан дослідження об'єктів розміщення відходів (полігони ТПВ, (не) санкціоновані сміттєзвалища, відвали, хвостосховища (шлако-, шламо-, золосховище)) функціонуючих урбосистем. Встановлено, що найефективнішим засобом для аналізу, управління та планування діяльності у сфері поводження з відходами є використання ІС-технологій. Використання таких технологій на основі різних джерел вхідних даних здійснюється широким колом спеціалістів: екології, географії, хімії, геодезії, картографії, містобудування, державної служби з надзвичайних ситуацій та інші.

2. Розроблено теоретико-методичні засади геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів, зокрема запропоновано:

– структурна схема моніторингу об'єктів розміщення відходів (сміттєзвалища, полігони ТПВ) відповідно до періодів їх життєвих циклів (пасивний, активний, постексплуатаційний). Для кожного з етапів сформовано такі види моніторингу: *ретроспективно-географічний аналіз архівних картографічних матеріалів, моніторинг складування ТПВ, моніторинг температурних режимів, моніторинг утворення біогазу та фільтрату;*

моніторинг просторового зміщення тіла полігону; екологічний моніторинг (атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, шумового навантаження, експлуатаційної надійності споруд, ґрунту та рослин, стану здоров'я населення).

Для кожного виду моніторингу сформульовано завдання, цілі та засоби реалізації;

– структурна схема системи геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення ТПВ із структурними блоками: збирання даних (*архівні матеріали, аерофотознімки, інформаційні ресурси, дані геодезичного знімання*), первинного опрацювання (*систематематичії зібраних матеріалів, фотограмметричне опрацювання, імпорту даних у ГІС, просторова прив'язка, трансформації системи координат, векторизації, внесення атрибутивної інформації*), створення бази геопросторових даних, застосування методів геопросторового аналізу (*побудову ЦМР, обчислення геометричних параметрів полігонів ТПВ, виконання картометричних операцій, застосування функцій картографічної алгебри, просторового моделювання, оверлейного аналізу даних, побудова буферних зон, обчислення горизонтальних та вертикальних зміщень тіла полігону*).

– концептуальна модель баз даних системи геоінформаційного моніторингу об'єктів розміщення відходів де складовими будуть: *БГД цифрової топографічної основи, БГД меж землевідведення ділянки та БГД просторово-часових даних*;

3. Розроблено класифікацію методів отримання даних для визначення площ та об'ємів, визначено їх переваги та недоліки, опрацьовано рекомендації щодо їх використання.

4. Технологію геоінформаційного моніторингу апробовано на функціонуванні ЛМП ТПВ. Вона передбачає комплексний підхід із використанням архівних аеро- та картографічних матеріалів з початку ХХ ст. до 2006 р. (збір картографічної джерельної бази, моделювання початкової поверхні рельєфу, аналіз геометричних параметрів, встановлення тенденції до збільшення кількісних характеристик площі складування відходів упродовж 1972-1991 рр.). На основі побудованих ЦМР на 1988 та 2006 рр. визначено об'єми відходів ЛМП ТПВ, що становить відповідно 2 076 683 та 2 835 756 куб. м на площі 203 445 і 242 441 кв. м. Встановлено просторово-часові особливості функціонування ЛМП

ТПВ, зокрема етапи формування терас складування відходів, а також появу господарських будівель, автошляхів, озер-гудронів та інших об'єктів. Дані матеріали дають змогу інтерпретувати зміну полігону та прилеглих територій для відслідковування тенденцій змін ландшафту місцевості функціонуючих урбосистем, екологічних цілей, ефективності використання земель тощо.

5. Розроблено та апробовано:

– методику визначення об'єму об'єктів розміщення відходів з використанням архівних картографічних матеріалів і матеріалів знімань БПЛА, що передбачає: виконання комплексу робіт з аерознімання та фотограмметричного опрацювання (підбір параметрів аерознімання, розрахонки апріорної оцінки точності визначення координат для БПЛА, камеральне опрацювання) для отримання сучасної просторової інформації (ортофотоплан та ЦМР) досліджуваного об'єкту;

– методику оцінки точності визначення об'єму за квадратурними формулами, де СКП становить 7,52 % і залежить від двох значень похибок: площ поперечних перерізів і висотної складової. Дана методика є універсальною і може бути використана при дослідженні об'єктів розміщення відходів ((не) санкціоновані сміттєзвалища, відвали, хвостосховища (шлако-, шламо-, золосховище) функціонуючих урбосистем.

– технологію створення великомасштабного топографічного плану комбінованим методом в умовах надзвичайних ситуацій (пожежа, зсув тощо) з використанням БПЛА та електронного тахеометра, точність якого відповідає вимогам Інструкції з топографічного знімання у масштабі 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 та 1 500.

– технологію геодезичного моніторингу зсувонебезпечної ділянки з використанням роботизованого тахеометра в безрефлекторному режимі, що включає в собі такі процеси: рекогностування місцевості та вибір методу дослідження, створення геодезичної основи (проекування, закладання пунктів), сканування зсувонебезпечної ділянки, камеральне опрацювання результатів вимірювань, визначення числових характеристик накопичення та осідання

відходів. Завдяки даній технології впродовж червня 2016 – грудня 2017 р. (14 циклів моніторингу) встановлено відсутність критичних рухів, а дані результати застосовано для усунення та попередження подальших надзвичайних ситуацій.

6. Розроблено рекомендації щодо проведення геоінформаційного моніторингу в різних періодах життєвого циклу об'єктів розміщення відходів функціонуючих урбосистем.

Додаток А

Затверджую



Проректор з наукової роботи
 Національного університету
 «Львівська політехніка»

Чухрай Н.І.

10.05.2019

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи Лозинського Віктора Адамовича на тему «Геоінформаційний моніторинг полігонів твердих побутових відходів» представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук при виконанні гранту для молодих вчених.

Комісія у складі голови –начальника НДЧ, к.т.н. доц. Жук Л.В. та членів: завідувача кафедри картографії та геопросторового моделювання д.г.н., доцента Сосси Р.І., завідувача відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень к.т.н. Лазько Г.В. та заступника начальника планово-фінансового відділу Чулой Т.М. цим актом підтверджують, що результати дисертаційної роботи на тему «Геоінформаційний моніторинг полігонів твердих побутових відходів» провідного інженера Лозинського Віктора Адамовича використані при виконанні гранту для молодих вчених ГЛП 5/2016 «Геоінформаційний моніторинг Львівського полігону твердих побутових відходів» (державний реєстраційний номер 0116U008629). Зокрема, Лозинським В.А. запропоновано система проведення геоінформаційного моніторингу та оцінювання геометричних параметрів Львівського міського полігону ТПВ.

Голова комісії

Начальник НДЧ,

к.т.н. доц.

Жук Л.В.

Члени комісії

Зав.каф. КГМ, д.г.н. доц.

Сосса Р.І.

Зав. відділу науково-організаційного супроводу
 наукових досліджень, к.т.н.

Заст. Нач.ПФВ.

Лазько Г.В.

Чулой Т.М.

Додаток Б



Затверджую

Проректор з наукової роботи

Національного університету

«Львівська політехніка»

Чухрай Н.І.

10.05.2019

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи
Лозинського Віктора Адамовича на тему «Геоінформаційний моніторинг
полігонів твердих побутових відходів» представленої на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук при виконанні госпдоговірних робіт.

Комісія у складі голови –начальника НДЧ, к.т.н. доц. Жук Л.В. та членів: завідувача кафедри картографії та геопросторового моделювання д.г.н., доцента Сосси Р.І., завідувача відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень к.т.н. Лазько Г.В. та заступника начальника планово-фінансового відділу Чулой Т.М. цим актом підтверджують, що результати дисертаційної роботи на тему «Геоінформаційний моніторинг полігонів твердих побутових відходів» провідного інженера Лозинського Віктора Адамовича використані при виконанні госпдоговірних робіт «Створення та передача інженерно-топографічного плану з точністю масштабу 1:500 на територію сміттєзвалища у Грибовичах під Львовом 38 га», «Сканування зсувонебезпечної ділянки Львівського міського полігону твердих побутових відходів роботизованим тахеометром Topcon IS-301», «Сканування зсувонебезпечної ділянки Львівського міського полігону твердих побутових відходів роботизованим тахеометром Topcon IS-301 впродовж серпня –грудня 2017 року (3 цикли сканування)». Зокрема, Лозинським В.А. запропоновано технологія виконання геодезичного моніторингу зсувонебезпечних ділянок об'єктів розміщення відходів та технологію створення топографічного плану комбінованим методом в умовах надзвичайних ситуацій (пожежа, зсув тощо).

Голова комісії

Начальник НДЧ,

к.т.н. доц.

Жук Л.В.

Члени комісії

Зав.каф. КГМ, д.г.н. доц.

Сосса Р.І.

Зав. відділу науково-організаційного супроводу

наукових досліджень, к.т.н.

Лазько Г.В.

Заст. Нач.ПФВ.

Чулой Т.М.

Додаток В

Акт впровадження Львівська міська рада



Львівська міська рада

Департамент з питань поводження з відходами

79006, м. Львів, пл. Ринок, 1, тел/факс: (032) 297 55 49, e-mail: dppv@lvivcity.gov.ua

20.05.2019 № 3002-всх-45

На № _____ від _____

Ректору Національного університету
«Львівська політехніка»
проф. д.т.н. Бобалу Ю.Я.
вул. С. Бандери, 12,
м. Львів, 79013

Шановний Юрію Ярославовичу!

Департамент з питань поводження з відходами Львівської міської ради підтверджує, що результати дисертаційної роботи Лозинського Віктора Адамовича на тему «Геоінформаційний моніторинг полігонів твердих побутових відходів» представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія є актуальним дослідженням, результати якого були використані у діяльності Львівського комунального підприємства «Збиранка».

Отримані Лозинським В. А. результати досліджень мають важливе практичне значення, зокрема для Львівського міського полігону ТПВ здійснено аерознімання із використанням БПЛА TRIMBLE UX-5 для ефективної організації поводження з відходами.

Розроблена та апробована методика укладання великомасштабних планів, що дала змогу виконати: проектування нових карт для складування ТПВ, розрахунок обсягу земляних робіт, складання робочих креслень для укріплення та побудови нової дамби, розроблення плану розташування дренажної системи фільтрату та інше.

З повагою
в.о. директора департаменту

С. Сало