

УДК 004.422.61:(551.1:622.011:628.4.032/.034)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.102.13>

Олександр АЗІМОВ, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.
e-mail: azimov@casre.kiev.ua

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України, Київ, Україна

Олексій РОГОЖИН, д-р екон. наук, ст. наук. співроб.
e-mail: olexarog@gmail.com

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

Олександр ТРОФИМЧУК, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України
e-mail: Trofymchuk@nas.gov.ua

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

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБІТ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ З ГЕОЛОГІЧНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ У КОНТЕКСТІ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром техн. наук, проф. В.І. Зацерковним)

Розглянуто сучасні світові підходи до поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ). Охарактеризовано два класи об'єктів їх локалізації – несанкціоновані звалища та полігони захоронення, що відіграють різну функціональну роль у поводженні з відходами. Разом із вмісними і навоколишніми компонентами довкілля полігони і звалища являють собою своєрідну природно-техно(антропо)генну систему. Оскільки власне відходи видаляються до геологічного середовища (ГС), то в рамках загалом цієї системи розглядається техногенно-геологічна підсистема, яка може бути відображена відповідною функціональною моделлю або ж інфогеофреймом за призначенням (цільовим).

Концептуально запропоновано методичний комплекс інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з ГС, у якому ТПВ локалізуються. Комплекс повинен включати два блоки: створення прогнозно-палеореконструктивної ретроспективно-статичної моделі ГС і створення комплексної еколого-геологічної моделі техногенно-геологічного об'єкта. Отже, основним робочим інструментом інформаційного забезпечення різноманітних дій стосовно поводження з об'єктами локалізації ТПВ у ГС є надання інформаційних моделей конкретних інфогеофреймів. Зміст таких еколого-геологічних моделей визначається цілями і завданнями поводження з референтним класом об'єктів (абстрактним інфогеофреймом). Наведено приклад наповнення деякими даними інформаційної моделі і впровадження її для Київського полігона захоронення ТПВ № 5.

Визначено основні напрями подальшого розвитку інформаційного моделювання розглянутої сфери досліджень.

Ключові слова: *тверді побутові відходи, звалища, полігони, техногенно-геологічна (під)система, інформаційне забезпечення робіт.*

Вступ

Загальна маса світового потоку побутових відходів становить щорічно близько 2 млрд т (Chen et al., 2020), з них 70 % знищується шляхом складування на полігонах (Kaza et al., 2018). Разом з тим сьогодні більша частина побутових відходів накопичується на звалищах, велика кількість з яких є несанкціонованими (самочинними).

В Україні щодо побутових і подібних до них відходів (ППВ) відзначають неухильне зростання обсягів їх збору. Згідно з чинним законодавством України об'єкти, що негативно впливають на стан довкілля, підлягають державному обліку (Закон..., 1991, ст. 24). Включенню до реєстру таких об'єктів і їхній паспортизації підлягають також місця видалення відходів, а саме: дієві, закриті, законсервовані, постійні або тимчасові. Так, в останній період щороку в нашій державі збиралося від 10 до майже 12 млн т ППВ (без урахування тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях та Автономної Республіки Крим і м. Севастополь) (Відходи, 2021; Стан..., 2021) (рис. 1). З них від 4,2 до 5,2 млн т видалалося на спеціально обладнані звалища (полігони). Проте, як і загалом у світі, на функціонально інших класах (або типах) об'єктів локалізації – *несанкціонованих звалищах* – відбувалося накопичення лівової частки відходів у країні, і насамперед – твердих побутових відходів (ТПВ). Ці два відмінних класи об'єктів видалення ТПВ відрізняються за низкою критеріїв, серед них ступінь інженерного облаштування геологічного середовища (ГС), до якого вони депонуються, технологічна послідовність їх складування, наявність екологічно-моніторингового контролю за їх експлуатацією тощо.

Постановка проблеми, цілі і задачі статті.

Отже, зважаючи на масштаби та динаміку накопичення ТПВ в Україні та в усьому світі, а також на комплекс пов'язаних з ними екологічних та соціоекономічних проблем у межах місць і районів їх локалізації на несанкціонованих звалищах і полігонах, охарактеризованих у численних публікаціях (Антошкіна та ін., 2003; Słomczyński, Słomczyński, 2004; Mor et al., 2006; Oygard, Gjengedal, 2009; Шевченко, Медведєва, 2010; Adeolu et al., 2011; Щербина, 2012; Бондар та ін., 2013; Койнова, 2015; Новохацька, Крета, 2015; Azimov et al., 2018, 2019, a, c, 2020, d, e; Азімов та ін., 2019, b, 2020, a-c, f; Шевякіна та ін., 2019; Jimoh et al., 2019; Делеган-Кокайко та ін., 2020; Azimov, Shevchuk, 2020, a, b; Chen et al., 2020; Shevchuk et al., 2021 та ін.), **актуальною** є розробка та впровадження системи інформаційної підтримки поводження з об'єктами видалення муніципальних відходів. Система повинна забезпечувати апріорно й адекватною різномірною інформацією технологічного (про класи, проектні потужності звалищ, обсяги прийнятих ними відходів, про стан фільтрату та біогазу в їх межах тощо), геологічного (геоморфологія, будова четвертинних відкладів, гідролого-гідрологічні умови, неотектоніка та ін. характеристики районів складування ТПВ), екологічного (щодо забруднення компонентів довкілля токсикантами, пов'язаними з відходами), соціологічного (розташування звалищ стосовно населених пунктів, пасовищ, сільськогосподарських угідь і т. ін.) змісту різної масштабної ієрархії відповідні органи управління й господарювання національного, регіонального і місцевого рівня та їхні структурні підрозділи, що сприятиме забезпеченню сталого розвитку певних територій. Створення

© Азімов Олександр, Рогожин Олексій, Трофимчук Олександр, 2023

такої системи інформаційного забезпечення робіт щодо поводження з ТПВ (або геоінформаційної їх підтримки) слід розглядати як **загальну проблему**, на чому ми частково акцентували увагу в роботах (Трофимчук et al., 2019; Azimov et al., 2021 та ін.).

У контексті зазначеного важливим є розв'язанням **частини** вказаної **проблеми**: розроблення концепції, розбудова і запровадження методичного комплексу інформаційного забезпечення досліджень і робіт стосовно поводження з ГС, що являє собою природний субстрат, у якому ТПВ й локалізуються. Отож, у статті зосередимо увагу передусім на об'єктному

ретроспективно-статичному і еколого-геологічному аналізі моделей об'єктів потенційної локалізації муніципальних відходів, які є своєрідними природно-антропогенними (природно-техногенними) утвореннями. Тобто розглянемо райони накопичення відходів у цьому аспекті на локальному масштабному рівні (на рівні так званого інфогеофрейму, на чому ми зупинимося нижче), що визначає **мету статті**. Водночас її основне **завдання** вбачаємо у характеристиці палеорекоконструктивної та прогнозної функцій моделей ГС для двох різновидних класів об'єктів видалення ТПВ: полігонів захоронення і несанкціонованих звалищ.

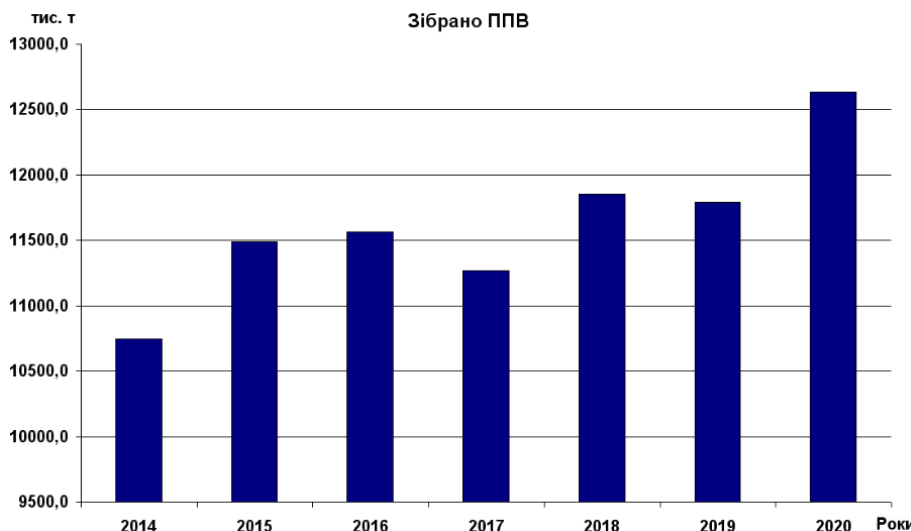


Рис. 1. Динаміка збору побутових та подібних до них відходів в Україні за період 2014–2020 рр. (складено з використанням даних з джерела (Відходи, 2021))

Логічним виглядає, щоб комплекс інформаційного забезпечення діяльності щодо поводження з ГС насамперед реалізовувати на прикладі полігонів захоронення відходів, як вже постійних об'єктів відносно великого просторового масштабу (геометричні параметри – площа, об'єм, загальна товщина шару накопичених відходів; глибина проникнення пов'язаних з ними екологічно небезпечних речовин тощо) і вже певною мірою вивчених з використанням різних методів і технологій. Адаптація комплексу має враховувати ландшафтно-геологічні умови конкретного полігону.

Характеристика об'єктів локалізації ТПВ. Методологічно і методично підходи до поводження з названими об'єктами двох класів відрізняються. Так, на **несанкціонованих звалищах** усі процеси практично відбуваються стихійно, неконтрольовано. Натомість на офіційно зареєстрованих, інженерно облаштованих **полігонах** послідовність захоронення, зберігання ТПВ та пов'язані з ними процеси зазвичай відбуваються таким чином:

1) Відходи завозять на полігон спеціальний транспорт. Усі без винятку транспортні засоби проходять зважування та перевірку на радіологічну безпеку на ваговій. Потім відходи потрапляють на робочу карту (чергу, майданчик), де їх розвантажують.

2) Відходи карти пакують на ній важкі бульдозери та ущільнюють спеціальні компактори. Шари відходів пересипаються інертним ґрунтом.

3) Під час розкладання відходів утворюються фільтрат та біогаз (Mor et al., 2006; Adeolu et al., 2011 та ін.).

4) **Фільтрат** просочується в нижню частину карти, потрапляє у дренажну систему та відкачується насосною станцією в очисні споруди. У цих спорудах до 80 %

фільтрату очищується до чистої води та зливається в доквілля. Залишкові 20 % неочищеного концентрату перекачуються у відстійник та в тіло полігону.

5) **Біогаз** із відходів відкачується з карт полігону, проходить спеціальну підготовку і подається у біогазові поршневі двигуни, які приводять у рух електрогенератори (усі процеси відбуваються на території полігону). Далі електрична енергія подається в загальну енергосистему (здебільшого за зеленим тарифом).

Полігони й звалища відходів, виконуючи роль природоохоронних споруд шляхом захоронення та біодеградації, самі є джерелами **негативного впливу на довкілля**, які тим самим становлять загрозу для здоров'я людей, особливо тих, що проживають поряд з об'єктами локалізації ТПВ (Койнова, 2015; Делеган-Кокайко та ін., 2020 та ін.). До негативних видів впливу слід віднести введення значних земельних площ із господарського використання на довгостроковий термін, забруднення ґрунтів та порушення їх структури, забруднення поверхневих, ґрунтових і підземних вод, забруднення рослинного покриву, атмосферного повітря, підвищена пожежонебезпечність тощо (Mor et al., 2006; Adeolu et al., 2011; Azimov et al., 2018, 2019, a, c, 2020, d, e; Azimov та ін., 2019, b, 2020, a-c, f; Azimov, Shevchuk, 2020, a та ін.).

На підставі аналізу впливу звалищ і полігонів захоронення ТПВ на довкілля виділяють (Щербина, 2012) такі **види забруднення**: фізичне, теплове, хімічне, мікробіологічне, а в деяких випадках – радіоактивне. Фізичне забруднення зумовлене можливістю засмічення довколишньої території відходами і пилом, теплове – зміною теплового режиму ГС у результаті підвищення температури в товщі відходів, хімічне – надходженням до довкілля хімічних

сполук. Бактерійне забруднення пов'язане з розвитком патогенних організмів.

У товщі ТПВ відбуваються процеси біохімічного розкладання органічної складової ТПВ, які можна порівняти з роботою "біологічного реактора". Унаслідок цих процесів утворюються біогаз і фільтрат, що містять токсичні компоненти. У зв'язку з тим, що компонентний склад ТПВ ускладнюється, а також із тим, що відповідно до чинних нормативних документів на полігони ТПВ допускається вивозити промислові відходи III і IV класів небезпеки, токсичність фільтрату зростає, у ньому з'являються компоненти, які раніше були відсутні. Масоперенесення шкідливих речовин, що утворюються в місцях розміщення відходів, відбувається шляхом взаємодії залежних і незалежних один від одного елементів екосистеми (Щербина, 2012).

Методологія поводження з об'єктами локалізації ТПВ.

Підсумовуючи викладене, можна стверджувати, що методологічна сутність об'єктів локалізації ТПВ може формулюватися як *природно-техно(антропо)генна система*. Ця система включає певну масу відходів і являє собою дієве або потенційне джерело надходження небезпечних (зокрема, токсичних) забруднювачів до довкілля (у тому числі – до ГС). Якщо в певній автономності від інших геосфер розглядати літосферу та її взаємодію з місцями розміщення ТПВ, тоді маємо *техно(антропо)генно-геологічну підсистему* в рамках природно-техно(антропо)генної системи загалом. За визначенням (Хрущов и др., 2019) техногенно-геологічна (під)система – частина ГС, що вміщує техногенні об'єкти; вона обмежується межами зон впливу геологічної діяльності.

Для *полігонів захоронення* природно-техногенна система включає три функціональні елементи: масу ТПВ, інженерні бар'єри і компоненти навколишнього природного середовища, до складу якого входить і ГС. Тобто в цьому випадку система володіє природними та інженерними бар'єрами і функціонує на основі принципу необхідного і достатнього ступеня ізоляції різними геосферами (насамперед геологічним середовищем) виходу небезпечних забруднювачів за межі об'єкта захоронення.

Натомість для *несанкціонованих звалищ*, що накопичують ТПВ, антропогенно-геологічна (під)система охоплює лише два основні функціональні елементи: масу ТПВ і ГС, що їх вміщує. Функціонування її полягає в постійному надходженні забруднювачів, що містяться у фільтраті, до ГС. Водночас здебільшого природно-техногенна система загалом існує в умовах послідовного зростання загальної маси ТПВ.

Отже, полігони захоронення і звалища ТПВ і відповідні їм техногенно-геологічні (під)системи володіють відмінними функціональними властивостями і являють собою функціональні моделі об'єктів різних класів. За цих обставин виходимо із загального визначення, що *модель геологічного (техногенно-геологічного) об'єкта* – це формальне, адекватне його відображення (аналогове, цифрове), що зберігає певну частину його властивостей, ознак, характеристик, яке створюється з метою його пізнання, дослідження і спрямування управлінських щодо нього дій. Звідси *функціональна модель* техногенно-геологічного об'єкта – це формальне адекватне його відображення, що включає його структурні й якісні (або його структурних елементів) властивості, які визначають можливість дій із поводження з ГС як його складовим функціональним елементом.

Загалом об'єкти двох класів локалізації ТПВ (звалища і полігони) належать до типу *інфогеофреймів* за *призначенням*, а в межах цього типу – до групи цільових інфогеофреймів (згідно з класифікацією за працею

(Khrushchov et al., 2020)). У випадку ізоляції ТПВ у ГС, що розглядається, *інфогеофрейм* – це геоінформаційне структурно-речовинне прогнозно-ретроспективно-статичне відображення (образ) певного класу геологічних об'єктів (або конкретного геологічного об'єкта), яке може використовуватися для цільового дослідження і (або) проведення дій з поводження з ГС.

Звалища і полігони захоронення ТПВ як класи об'єктів, що розрізняються, у свою чергу вимагають розробки і застосування різних методик (гео)інформаційного забезпечення різного роду діяльності як у їх межах, так і на прилеглих до них територіях.

Методика інформаційного забезпечення робіт на об'єктах локалізації ТПВ. Зважаючи на теоретичні розробки (Хрущов и др., 2019; Khrushchov et al., 2019; Azimov et al., 2021), методичний комплекс інформаційного забезпечення досліджень і робіт з поводження з геологічним середовищем, як субстратом локалізації ТПВ, повинен включати два блоки:

- створення прогнозно-палеореконструктивної ретроспективно-статичної моделі ГС;
- створення комплексної еколого-геологічної моделі техногенно-геологічного об'єкта.

Створюючи *прогнозно-(палео)реконструктивну модель геологічного середовища*, мають на увазі дві функції моделювання: – прогнозну і реконструктивну. *Прогнозна функція* моделювання охоплює три аспекти:

- прогнозування перспективних для локалізації ТПВ геологічних об'єктів (різної предметності, в різних масштабах);
- прогнозування функціональних властивостей ГС у межах локальних об'єктів ізоляції ТПВ;
- прогнозування розвитку геологічних процесів у часі в межах локальних об'єктів ізоляції ТПВ.

Реконструктивна функція моделювання ГС у районах, перспективних для ізоляції ТПВ, має на увазі встановлення структурних і літологічних (петрофізичних) (а відповідно і функціональних) характеристик геологічних об'єктів (різних масштабно-формаційних рангів), як головного завдання цільового статичного моделювання, і водночас – як параметрів до інструменту для встановлення геологічних процесів сучасності й реконструкції їх у минулому.

Комплексна еколого-геологічна модель техногенно-геологічного об'єкта локалізації ТПВ – це цільова модель високого порядку, яка може складатися декількома предметними моделями підпорядкованих рангів, що базуються на структурно-літолого-петрофізичній моделі ГС як матричній. Склад комплексу предметних моделей визначається предметом (системою заходів) поводження з наміченим геологічним об'єктом. За аналогією з об'єктами ізоляції радіоактивних відходів (сховищ геологічного типу) (Хрущов и др., 1993 та ін.) у складі теоретичної комплексної еколого-геологічної моделі ГС для розміщення об'єктів локалізації ТПВ беруть участь сім основних предметних моделей: структурно-тектонічна, літологічна (або петрологічна), геомеханічна і інженерно-геологічна, геохімічна, теплофізична, гідрогеологічна (гідродинамічна, гідрохімічна) і гідрогеологічна міграційна.

Отже, основним робочим інструментом інформаційного забезпечення дій з поводження з об'єктами локалізації ТПВ у ГС є надання *інформаційних моделей* конкретних інфогеофреймів. Зміст таких моделей (еколого-геологічних моделей) визначається цілями і завданнями поводження з референтним класом

об'єктів (абстрактним інфогеофреймом). Виходячи з таких передумов, цілі й завдання інформаційного моделювання для полігонів захоронення і звалищ ТПВ різняться. Так, для *полігонів захоронення ТПВ метою моделювання* є забезпечення екологічної безпеки функціонування техногенно-геологічної підсистеми, включаючи стадію функціонування об'єкта після його закриття і рекультивациі (з довгостроковою оцінкою безпеки). *Завдання* вбачаються такі: обґрунтування системи геомоніторингу техногенно-геологічного об'єкта; розробка цільової комплексної еколого-геологічної його моделі та її експлуатація як постійної (в умовах розширення, укрупнення, реконструкції, ліквідації, рекультивациі тощо).

Для *несанкціонованих звалищ* і районів накопичення ТПВ *мета* інформаційного моделювання полягає в забезпеченні безпеки комплексу заходів щодо поводження з ними, а *завдання* – в обґрунтуванні й виборі передусім технічних рішень з поводження із цими об'єктами (стабілізація на місці, ліквідація і т. ін.).

Як бачимо, для обох класів локалізації ТПВ комплексна еколого-геологічна модель має ідентичну структуру, що включає підпорядковані підмоделі: цифрову структурно-літологічну (структурно-петрологічну), що є матричною для всіх інших побудов; гідрогеологічну (гідродинамічну і гідрохімічну), міграційну (для екологічно небезпечних елементів і сполук); інженерно-геологічну та ін. Проте зміст цих моделей відрізняється відповідно до завдань проектування. Виходячи з результатів моделювання, виконується аналіз безпеки – поточної для запланованих заходів і довгострокової для об'єктів захоронення ТПВ (полігонів), що проектується.

Отже, враховуючи і узагальнюючи вищевикладене, можна визначити об'єми інфогеофреймів для моделювання конкретних об'єктів з числа двох класів локалізації ТПВ:

- для полігонів захоронення ТПВ:
 - тіло власне сховища відходів (карта, черга, майданчик полігону) з існуючими інженерними бар'єрами;
 - ближня до нього зона вмісного ГС, що зазнає безпосереднього впливу сховища за штатного режиму його функціонування;
- для несанкціонованих об'єктів локалізації відходів:
 - маса ТПВ у звалищі;
 - зона виходу фільтратів до ГС (установлюється під час створення системи геомоніторингу).

В обох випадках, як для полігонів, так і для звалищ ТПВ, одним із важливих інструментів їх моніторингу поряд з дослідженнями по регулярній мережі наземного опробування (літо-, гідро- і біогеохімічного) є застосування геоінформаційних технологій, що включають методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) (рис. 2). Позитивні результати їх впровадження в різних країнах світу відображено в ряді публікацій (Ahmed et al., 2006; Кохан, Москаленко, 2009; Iacoboaia and Petrescu, 2013; Новохацька, Трофимчук, 2014; Demesouka et al., 2014; Khan and Samadder, 2014; Новохацька, Крета, 2015; Deblina and Goel, 2017; Azimov et al., 2018, 2019, a, b, 2020, d, e; Шевякіна та ін., 2019; Jimoh et al., 2019; Mussa and Suryabhagavan, 2019; Singh, 2019; Trofymchuk et al., 2019; Азімов та ін., 2020, c, f; Asefi et al., 2020; Azimov and Shevchuk, 2020, a, b; Shevchuk et al., 2021 та ін.).

Приклад. Як приклад деяких складових рис *інфогеофрейма* техногенно-геологічного об'єкта захоронення ТПВ наведемо дані по *Київському полігону № 5* загальною площею 63,7 га. Він складається з двох карт складування ("А" та "Б") і допоміжної інфраструктури: дренажної системи, дамб, насосних станцій,

водоочисної системи, відстійника фільтрату, системи відкачування біогазу. Принципіальний схематичний розріз однієї з карт полігону представлено на рис. 3.



Рис. 2. Перспективне дистанційне зображення північно-західної частини Київського полігону захоронення ТПВ № 5, зроблене з безпілотного літального апарата 31.05.2019 р., на якому простежуються місця височування фільтрату (чорно-коричневий колір) з "тіла" сміттєзвалища (карта "А"), стікання його по схилу і накопичення у його підніжжі



Рис. 3. Принциповий схематичний розріз карти полігону захоронення ТПВ

Власне *місцеположення* полігону приурочене до краю вододільного пасма (підняття), яке за *геоморфологічним районуванням* (Національний..., 2007) належить до Київського акумулятивно-денудаційно-хвилястого, середньо- та сильнорозчленованого плато на палеогенових (Р) і неогенових (N) відкладах. ТПВ на об'єкті складуються в межах колишніх, заповнених ними двох лівих приток (ярів субмеридіонального спрямування) Ходосівської балки урочища Марусин Яр. У районі полігону фонними є темно-сірі підзолисті *грунти*, що за своїми ознаками близькі до чорноземів типових, які переважно сформувалися на лесових відкладах бузького часу (Національний..., 2007).

Загальний *об'єм накопичених ТПВ* на полігоні перевищує 35 млн м³, їх маса – близько 7 млн т. Хоча за

первинним проєктом з дотриманням умов безпеки він міг прийняти 19,1 млн м³ відходів. Перевищення потужностей полігона разом з випадками нерегулярної роботи установи з переробки фільтрату призвело до значних *техногенних змін* ґрунтових утворень, поверхневих вод і ґрунтових вод неглибокого залягання, до змін рослинних угруповань як власне на об'єкті захоронення ТПВ, так і на прилеглих до нього ділянках (Azimov et al., 2018, 2019, a, c, 2020, d, e; Азімов та ін., 2019, b, 2020, a–c, f; Azimov, Shevchuk, 2020, a та ін.).

Зазначені особливості полігона були враховані під час проведення досліджень, результати яких викладені в наведених публікаціях.

Впровадження науково-технічних результатів. Запропоновану концепцію методики геоінформаційного забезпечення досліджень і робіт на об'єктах локалізації ТПВ впроваджено в науково-педагогічний процес Навчально-наукового інституту (ННІ) екобезпеки та управління Державного закладу "Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління" Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України (Акт впровадження-приймання-передачі матеріалів науково-дослідних розробок від 02.11.2021 р.). Відповідна "Методична рекомендація стосовно запровадження комплексу геоінформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з геологічним середовищем, як субстратом локалізації твердих побутових відходів" використовуватиметься ННІ екобезпеки та управління під час виконання заходів з формування ресурсоефективних технологій на етапах розвитку стратегічного потенціалу екологічної безпеки та побудови інтегрованої системи управління екологічною безпекою за допомогою технологій географічних інформаційних систем із застосуванням космічних засобів ДЗЗ, а також як інформативний матеріал у процесі популяризації екологічної освіти під час переходу до системи інтегрованого управління природоохоронною складовою в галузі економіки. Це визначає *практичне значення* авторського доробку.

Висновки

Отже, запропонований у роботі методичний комплекс інформаційного забезпечення досліджень і робіт з поводження з ГС, як субстратом локалізації ТПВ, є актуальним. Це аргументується тим, що переважна частина відходів цього типу в Україні не переробляється, а ізолюється саме на несанкціонованих звалищах та полігонах. Комплекс включає два блоки: створення прогнозно-палеорекоконструктивної ретроспективно-статичної моделі ГС і створення комплексної еколого-геологічної моделі техногенно-геологічного об'єкта. Основним робочим інструментом комплексу є надання інформаційно-функціональних моделей конкретних об'єктів локалізації ТПВ (або інфогеофреймів).

Представлено демонстрацію наповнення деякими даними для ефективного геоінформаційного моделювання одного з найвивченіших полігонів захоронення ТПВ, розташованого в межах міської агломерації м. Києва. Надалі отримана модель становитиме базу для досліджень і робіт, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки об'єкта.

Комплекс геоінформаційного забезпечення, підібний до охарактеризованого, *рекомендується* впроваджувати у процес досліджень і робіт з поводження з ГС, насамперед, на територіях найбільших в Україні полігонів захоронення твердих муніципальних відходів. Водночас під час розробки і застосування комплексу необхідно враховувати конкретні ландшафтно-геологічні умови кожного з полігонів. Для з'ясування механізму міграції

забруднювачів у компонентах довкілля (ґрунти–природні води–рослинність) полігонів та прилеглих до них ділянок разом з моніторинговими наземними геолого-екологічними дослідженнями обов'язково потрібно проводити аналогічні дослідження за даними ДЗЗ. Для аналізу просторово розподіленої різномірної інформації необхідно використовувати сучасні технології географічних інформаційних систем.

Для більш повного охоплення за площею територій полігонів і прилеглих районів потрібно підбирати й отримувати зроблені субсинхронно з наземними дослідженнями інформативні (просторове, спектральне, радіометричне розрізнення) матеріали багатозональних космічних знімків, виконувати гіперспектральні зйомки з бортів безпілотних літальних апаратів по достатній кількості профілів і точок спостережень. Отримані таким чином гетерогенні дані у перспективі є сенс інтегрально обробити, застосовуючи відповідне програмне забезпечення.

Отже, своєчасне впровадження комплексу геоінформаційного забезпечення різноманітних робіт з поводження з ГС, як субстратом ізоляції ТПВ, підвищить загальну результативність досліджень з вибору районів, ділянок і локальних площ, потенційно сприятливих для розміщення в їхніх межах об'єктів захоронення відходів на початковому етапі їх проєктування. Також залучення комплексу на наступних стадіях "життя" полігонів підвищить ефективність їх подальшої експлуатації та рекультивації, допоможе мінімізувати ризики виникнення надзвичайних ситуацій, що можуть бути з ними пов'язані, та відповідні фінансово-матеріальні збитки.

Подальший розвиток напряму інформаційного моделювання розглянутої сфери вбачається у двох аспектах: інтенсивному – удосконалення методології і методів на основі інфогеологічних підходів, та екстенсивному – поширення пропонованої розробки на інші об'єкти локалізації ТПВ.

У стратегічному плані слід мати на увазі, що видалення ТПВ до сховищ приповерхневого типу (landfill) є лише альтернативою порівняно із стратегіями розвинених країн світової спільноти, орієнтованих на утилізацію і ліквідацію відходів. Проте реалістичний аналіз сучасної енергетичної забезпеченості України підтверджує правомірність цієї альтернативи на найближчі десятиліття.

Список використаних джерел

- Азімов, О.Т., Кураєва, І.В., Бахмутов, В.Г., Войтюк, Ю.Ю., Кармазиненко, С.П. (2019b). Оцінка розподілу важких металів у ґрунтах районів захоронення твердих побутових відходів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(87), 76–80. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.11>
- Азімов, О., Кураєва, І., Трофимчук, О., Злобіна, К., Кармазиненко, С. (2020b). Моніторингова оцінка якості поверхневих вод у районах захоронення твердих побутових відходів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(91), 56–60. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.08>
- Азімов, О.Т., Кураєва, І.В., Трофимчук, О.М., Кармазиненко, С.П., Злобіна, К.С. (2020a). Забруднення ґрунтів та інших об'єктів довкілля важкими металами в районах полігонів захоронення твердих побутових відходів. *Геоінформатика*, 1 (73), 82–98. http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2020_1_9
- Азімов, О.Т., Трофимчук, О.М., Злобіна, К.С., Кураєва, І.В., Кармазиненко, С.П. (2020f). Геохімія важких металів у ґрунтах сміттєзвалищ за результатами екологічних досліджень з використанням даних дистанційних знімків. *Геоінформатика*, 3 (75), 63–82. http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2020_3_5
- Азімов, О.Т., Шевчук, О.В., Азімова, К.О. (2020c). Геоінформаційні системи в дослідженнях чинників забруднення довкілля територій сміттєзвалищ: стан та перспективи. *Геоінформатика*, 2(74), 69–88. <http://www.geology.com.ua/UK/8114-2/>
- Антошкіна, Л.І., Коренюк, Є.Д., Хрущ, В.К., Беляев, М.М. (2003). Стан довкілля: моделі та прогноз. Наука і освіта.
- Бондар, О.І., Клімчук, Б.П., Колединський, М.І., Мольчак, Я.О. (2013). Довкілля в умовах впливу сміттєзвалищ. РВВ ЛНТУ.

- Відходи. (2021). Статистична інформація. Економічна статистика / Навколишнє природне середовище. Київ: Державна служба статистики України. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
- Делеган-Кожайко, С.В., Слабкий, Г.О., Лук'янова, В.В., Анпілова, Є.С. (2020). Вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього вкороб. *Екологічна безпека та природокористування*, 2(34), 43–52. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52>
- Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища". (1991). Закон від 25.06.1991 р. № 1264-XII. *Відомості Верховної Ради України*, 41, 546.
- Койнова, І.Б. (2015). Геоекологічні наслідки роботи комунального господарства в басейні річки Західний Буг. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 3–4 (24), 96–102. <https://periodicals.karazin.ua/humanenvironment/article/view/5562/5117>
- Кохан, С.С., Москаленко, А.А. (2009). Оцінка можливості ідентифікації звалищ за багатоспектральними космічними знімками. *Вісник геодезії та картографії*, 6(63), 29–34.
- Національний атлас України. (2007). Гол. ред. Руденко, Л.Г. ДНВП "Картографія".
- Новохацька, Н.А., Крета, Д.П. (2015). Моделювання та прогнозування впливу сміттєзвалищ на підземні води. *Екологічні науки: наук.-практ. журн.*, 1(7), 71–79. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2015/7/8.pdf>
- Новохацька, Н.А., Трофимчук, О.М. (2014). Технологія інвентаризації місць видалення відходів методами дистанційного зондування Землі. *Екологічна безпека та природокористування*, 14, 31–40.
- Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік. (2021). Київ: Мінрегіон України. <https://www.minregion.gov.ua/npryamki-diyalnost/zkhk/teritoryi/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik-2/>
- Хрущов, Д.П., Лялько, В.И., Харитонов, О.М. і др. (1993). Изоляция радиоактивных отходов в геологических формациях (геолого-теплогидрофизическая часть). Препр. 93-3. Ин-т геол. наук АН Украины.
- Хрущов, Д.П., Ремезова, Е.А., Белевцев, Р.Я., Яковлев, Е.А., Азимов, А.Т., Иванова, А.В., Лобасов, А.П., Босевская, Л.П., Греку, Р.Х., Охолина, Т.В. (2019). Формационные алгоритмы теории информационного обеспечения исследований и работ по обращению с геологической средой. *Геоинформатика*, 1(69), 70–90. <http://www.geology.com.ua/ru/7673-2/>
- Шевченко, М., Медведєва, О.В. (2010). Екологічна оцінка впливу полігонів твердих побутових відходів Кіровоградської області на стан навколишнього середовища. *Наукові записки КДПУ ім. В. Винниченка*, 10(II), 313–315. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/5425/1/68.pdf>
- Шевцякіна, Н.А., Трофимчук, О.М., Красовський, Г.Я., Клименко, В.І. (2019). Методи і моделі космічного моніторингу зон впливу полігонів твердих побутових відходів на довкілля. *Космічна наука і технологія*, 25, 1(116), 62–72. <https://doi.org/10.15407/knit2019.01.062>
- Щербина, Е.В. (2012). Методология анализа жизненного цикла при проектировании полигонов твердых бытовых отходов. *Урбанистика, строительство, экология: Консультации, рецензии, проекты, оценка специализированных работ*. <http://lerschtul.ru/ocologiy/metodologiya-analiza-zhiznennogo-tsikla-pri-proektirovani-polygonov-tverdyx-bytovyx-otxodov.html>
- Adeolu, O.A., Ada, V.O., Gbenga, A.A., Adebayo, A.O. (2011). Assessment of groundwater contamination by leachate near a municipal solid waste landfill. *African Journal Environmental Science and Technology*, 5 (11), 933–940. doi: 10.5897/AJEST11.27
- Ahmed, Sh.M., Muhammad, H., Sivertun, A. (2006). Solid waste management planning using GIS and remote sensing technologies case study Aurangabad City, India. *Pap. 2006 International Conference on Advances in Space Technologies*, 2–3 September 2006, Islamabad, Pakistan, 196–200. doi: 10.1109/ICAST.2006.313826. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4106436>
- Asefi, H., Zhang, Ya., Lim, S., Maghrebi, M. (2020). An integrated approach to suitability assessment of municipal solid waste landfills in New South Wales, Australia. *Australasian Journal of Environmental Management*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/14486563.2020.1719438>.
- Azimov, O.T., Bakhmutov, V.G., Voytyuk, Yu.Yu., Dorofey, Ye.M., Karmazynenko, S.P., Kuraeva, I.V. (2018). Reconnaissance integrated geoeological study of the disposal region for municipal solid waste with the aim of environmental assessment. *Extended Abstr. 12th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 13–16 November 2018, Kyiv, Ukraine, 1–5. doi: 10.3997/2214-4609.201803142
- Azimov, O.T., Dorofey, Ye.M., Trofymchuk, O.M., Kuraeva, I.V., Zlobina, K.S., Karmazynenko, S.P. (2019a). Monitoring and assessment of impact of municipal solid waste landfills on the surface water quality in the adjacent ponds. *Proc. 13th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 12–15 November 2019, Kyiv, Ukraine, 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903228>
- Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Trofymchuk, O.M., Karmazynenko, S.P., Dorofey, Ye.M., Voytyuk, Yu.Yu. (2019c). Estimation of the heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the solid domestic waste landfills. *Proc. 18th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine, 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902129>
- Azimov, O.T., Rogozhin, O.G., Trofymchuk, O.M., Khrushchov, D.P. (2021). Geoinformation support for the management of the localization objects of municipal solid waste. *Proc. 20th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine, 1–8. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2021552169>
- Azimov, O.T., Shevchuk, O.V. (2020a). Geoinformation systems in monitoring studies of environmental pollution factors in the areas of municipal solid waste landfills. *Proc. 19th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine, 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo111>
- Azimov, O., Shevchuk, O. (2020b). Modeling and forecasting the impact of solid waste landfill on groundwater (the landfill in Zdolbuniv district of Rivne region, Ukraine, as an example). *Proc. 14th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine, 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056078>
- Azimov, O.T., Shevchuk, O.V., Azimova, K.O., Dorofey, Ye.M., Tomchenko, O.V. (2020d). Integration of GIS and RSE aiming to the effective monitoring of the surroundings of landfills. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 27, 4–12. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2020.27.183>
- Azimov, O.T., Trofymchuk, O.M., Kuraeva, I.V., Zlobina, K.S., Karmazynenko, S.P., Dorofey, Ye.M. (2020e). Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills. *Proc. 19th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine, 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo133>
- Chen, D.M.C., Bodirsky, B.L., Krueger, T., Mishra, A., Popp, A. (2020). The world's growing municipal solid waste: trends and impacts. *Environmental Research Letters (ERL)*, 15 074021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab8659/pdf>
- Deblina, D., Sudha, G. (2017). Applications of remote sensing and GIS in solid waste management – A review. In: Goel, S. (Ed.) *Advances in Solid and Hazardous Waste Management*. Cham: Springer, 133–151. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57076-1_7
- Demesouka, O.E., Vavatsikos, A.P., Anagnostopoulos, K.P. (2014). GIS-based multicriteria municipal solid waste landfill suitability analysis: A review of the methodologies performed and criteria implemented. *Waste Management and Research*, 32 (4), 270–296. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X14526632>
- Iacoboaia, C., Petrescu, F. (2013). Landfill monitoring using remote sensing: a case study of Glina, Romania. *Waste Management and Research*, 31 (10), 1075–1080. <https://doi.org/10.1177/0734242X13487585>
- Jimoh, R., Moradeyo, A., Chuma, V., Olubukola, O., Yusuf, A. (2019). GIS based appraisal of waste disposal for environmental assessment and management in Mainland area of Lagos state, NG. *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO)*, 6 (1), 76–82. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.476449>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. Washington, DC: World Bank, Urban development Series. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Khan, D., Samadder, S.R. (2014). Municipal solid waste management using Geographical Information System aided methods: A mini review. *Waste Management and Research*, 32(11), 1049–1062. <https://doi.org/10.1177/0734242X14554644>
- Khrushchov, D.P., Remezova, E.A., Azimov, O.T., Belevtsev, R.Ya., Yakovlev, E.A., Yaremenko, O.V. (2019). Formational basis of the theory for information support of geological activity. *Proc. 18th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902087>
- Khrushchov, D.P., Dolin, V.V., Goshovski, S.V., Remezova, O.O., Goncharov, V.Ye., Azimov, O.T., Shevchenko, O.L., Bosesvka, L.P., Lobasov, O.P., Yaremenko, O.V. (2020). The theory of information providing for researches and works on geological environment management. *Proc. 19th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo012>
- Mor, S., Ravindra K., Dahiya, R.P., Chandra, A. (2006). Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environmental Monitoring and Assessment*, 118, 435–456. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-1505-7>
- Mussa, A., Suryabhagavan, K.V. (2019). Solid waste dumping site selection using GIS-based multi-criteria spatial modeling: a case study in Logia town, Afar region, Ethiopia. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1703311>
- Oygard, J.K., Gjengedal, E. (2009). Uranium in municipal solid waste landfill leachate. *International Journal Environmental Research (IJER)*, 3 (1), 61–68. Retrieved December 17, 2021, from https://ijer.ut.ac.ir/article_33.html
- Shevchuk, O.V., Azimov, O.T., Tomchenko, O.V. (2021). Remote sensing monitoring of the landfill sites as a factor of adverse environmental impact. *Proc. 20th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine, 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521054>
- Singh, A. (2019). Remote sensing and GIS applications for municipal waste management. *Journal of Environmental Management*, 243, 22–29. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31077867/>. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.017.
- Stomczyńska, B., Stomczyński, T. (2004). Physico-chemical and toxicological characteristics of leachates from MSW landfills. *Polish Journal Environmental Studies*, 13 (6), 627–637. <https://pdfs.semanticscholar.org/f6cc/20d54e7074ad55439d5b468305c227fde101.pdf>

Trofymchuk, O., Rogozhin, O., Klymenko, V., Sheviakina, N., Kreta, D. (2019). Development of the information-analytical system for assessing the impact of landfills on the environment and electronic management. *SGEM 2019 – Proc. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 9–12 December, 2019, Vienna, Austria, 4.2, 65–72*. <https://sgem.org/index.php/elibrary?view=publication&task=show&id=6642>. doi: 10.5593/sgem2019V4.2/S05.009.

References

Adeolu, O.A., Ada, V.O., Gbenga, A.A., Adebayo, A.O. (2011). Assessment of groundwater contamination by leachate near a municipal solid waste landfill. *African Journal Environmental Science & Technology, 5*(11), 933–940. doi: 10.5897/AJEST11.27

Ahmed, Sh.M., Muhammad, H., Sivertun, A. (2006). Solid waste management planning using GIS and remote sensing technologies case study Aurangabad City, India. *Pap. 2006 International Conference on Advances in Space Technologies, 2–3 September 2006, Islamabad, Pakistan, 196–200*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4106436>. doi: 10.1109/ICAST.2006.313826.

Antoshkina, L.I., Korenyuk, Ye.D., Khrushch, V.K., Belyaev, M.M. (2003). State of environment: models and prognosis. Donetsk: Nauka i osvita.

Asefi, H., Zhang, Ya., Lim, S., Maghrebi, M. (2020). An integrated approach to suitability assessment of municipal solid waste landfills in New South Wales, Australia. *Australasian Journal of Environmental Management, 1–21*. <https://doi.org/10.1080/14486563.2020.1719438>.

Azimov, O.T., Bakmutov, V.G., Voytyuk, Yu.Yu., Dorofey, Ye.M., Karmazynenko, S.P., Kuraeva, I.V. (2018). Reconnaissance integrated geocological study of the disposal region for municipal solid waste with the aim of environmental assessment. *Extended Abstr. 12th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 13–16 November 2018, Kyiv, Ukraine, 1–5*. doi: 10.3997/2214-4609.201803142

Azimov, O.T., Dorofey, Ye.M., Trofymchuk, O.M., Kuraeva, I.V., Zlobina, K.S., Karmazynenko, S.P. (2019a). Monitoring and assessment of impact of municipal solid waste landfills on the surface water quality in the adjacent ponds. *Proc. 13th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 12–15 November 2019, Kyiv, Ukraine, 1–6*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903228>

Azimov, O., Kuraeva, I., Bakmutov, V., Voytyuk, Yu., Karmazynenko, S. (2019b). Assessment of the heavy metal distribution in soils within the areas for the municipal solid waste disposal. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 4*(87), 76–80. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.11> [in Ukrainian].

Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Trofymchuk, O.M., Karmazynenko, S.P., Zlobina, K.S. (2020a). The heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the areas of municipal solid waste landfills. *Geoinformatics, 1*(73), 82–98. http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2020_1_9 [in Ukrainian].

Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Trofymchuk, O.M., Karmazynenko, S.P., Dorofey, Ye.M., Voytyuk, Yu.Yu. (2019c). Estimation of the heavy metal pollution for the soils and different environmental objects within the solid domestic waste landfills. *Proc. 18th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine, 1–7*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902129>

Azimov, O., Kuraeva, I., Trofymchuk, O., Zlobina, K., Karmazynenko, S. (2020b). Monitoring assessment of the surface water quality within the areas for the municipal solid waste disposal. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 4* (91), 56–60. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.08> [in Ukrainian].

Azimov, O.T., Rogozhin, O.G., Trofymchuk, O.M., Khrushchov, D.P. (2021). Geoinformation support for the management of the localization objects of municipal solid waste. *Proc. 20th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine, 1–8*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521169>

Azimov, O.T., Shevchuk, O.V. (2020a). Geoinformation systems in monitoring studies of environmental pollution factors in the areas of municipal solid waste landfills. *Proc. 19th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine, 1–7*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo111>

Azimov, O., Shevchuk, O. (2020b). Modeling and forecasting the impact of solid waste landfill on groundwater (the landfill in Zdolbuniv district of Rivne region, Ukraine, as an example). *Proc. 14th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine, 1–6*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056078>

Azimov, O.T., Shevchuk, O.V., Azimova, K.O. (2020c). Geoinformation systems in the investigations of the environment pollution drivers within the catchment areas of landfills: current state and trends. *Geoinformatics, 2*(74), 69–88. <http://www.geology.com.ua/en/8114-2> [in Ukrainian].

Azimov, O.T., Shevchuk, O.V., Azimova, K.O., Dorofey, Ye.M., Tomchenko, O.V. (2020d). Integration of GIS and RSE aiming to the effective monitoring of the surroundings of landfills. *Ukrainian Journal of Remote Sensing, 27, 4–12*. <https://doi.org/10.36023/ujsr.2020.27.183>

Azimov, O.T., Trofymchuk, O.M., Kuraeva, I.V., Zlobina, K.S., Karmazynenko, S.P., Dorofey, Ye.M. (2020e). Ecological and geochemical study of the state of soil deposits in the impact areas of municipal solid waste landfills. *Proc. 19th EAGE International Conference on Geoinformatics –*

Theoretical and Applied Aspects, 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine, 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo133>

Azimov, O.T., Trofymchuk, O.M., Zlobina, K.S., Kuraeva, I.V., Karmazynenko, S.P. (2020f). Heavy metals geochemistry in soil for the landfill sites on the results of environmental studies using remote sensing data. *Geoinformatics, 3* (75), 63–82. http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2020_3_5 [in Ukrainian].

Bondar, O.I., Klimchuk, B.P., Kolyadinsky, M.I., Molchak, Ya.O. (2013). Environment in the conditions of influence of garbage dumps. *RVV LNTU* [in Ukrainian].

Chen, D.M.C., Bodirsky, B.L., Krueger, T., Mishra, A., Popp, A. (2020). The world's growing municipal solid waste: trends and impacts. *Environmental Research Letters (ERL), 15* 074021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab8659/pdf>

Deblina, D., Sudha, G. (2017). Applications of remote sensing and GIS in solid waste management – A review. In: Goel, S. (Ed.) *Advances in Solid and Hazardous Waste Management*. Cham: Springer, 133–151. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57076-1_7

Delehan-Kokaiko, S., Slabkiy, G., Lukianova, V., Anpilova, Y. (2020). Effect of landfill sites on disease and disease distribution among rural population. *Environmental Safety & Natural Resources, 2*(34), 43–52. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52> [in Ukrainian].

Demesouka, O.E., Vavatsikos, A.P., Anagnostopoulos, K.P. (2014). GIS-based multicriteria municipal solid waste landfill suitability analysis: A review of the methodologies performed and criteria implemented. *Waste Management & Research, 32*(4), 270–296. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X14526632>. doi: 10.1177/0734242X14526632.

Iacoboaia, C., Petrescu, F. (2013). Landfill monitoring using remote sensing: a case study of Glina, Romania. *Waste Management & Research, 31*(10), 1075–1080. <https://doi.org/10.1177/0734242X13487585>

Jimoh, R., Moradeyo, A., Chuma, V., Olubukola, O., Yusuf, A. (2019). GIS based appraisal of waste disposal for environmental assessment and management in Mainland area of Lagos state, NG. *International Journal of Environment & Geoinformatics (IJECEO), 6*(1), 76–82. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.476449>

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington, DC: World Bank, Urban development Series. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>

Khan, D., Samadder, S.R. (2014). Municipal solid waste management using Geographical Information System aided methods: A mini review. *Waste Management & Research, 32*(11), 1049–1062. <https://doi.org/10.1177/0734242X14554644>

Khrushchov, D.P., Remezova, E.A., Azimov, O.T., Belevtsev, R.Ya., Yakovlev, E.A., Yaremenko, O.V. (2019). Formational basis of the theory for information support of geological activity. *Proc. 18th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine, 1–5*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902087>

Khrushchov, D.P., Dolin, V.V., Goshovski, S.V., Remezova, O.O., Goncharov, V.Ye., Azimov, O.T., Shevchenko, O.L., Bosevska, L.P., Lobasov, O.P., Yaremenko, O.V. (2020). The theory of information providing for researches and works on geological environment management. *Proc. 19th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine, 1–5*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo012>

Khrushchov, D.P., Lialko, V.I., Kharitonov, O.M. et al. (1993). Isolation of radioactive wastes in the geological formations (geological-thermophysical part). Preprint 93-3. Kiev: Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Geological Sciences [in Russian].

Khrushchov, D.P., Remezova, E.A., Belevtsev, R.Ya., Yakovlev, E.A., Azimov, A.T., Ivanova, A.V., Lobasov, A.P., Bosevska, L.P., Greku, R.Kh., Okholina, T.V. (2019). Formation algorithms of information support for r&d on geological medium management. *Geoinformatics, 1*(69), 70–90. <http://www.geology.com.ua/ru/7673-2> [in Russian].

Koinova, I.B. (2015). Geocological consequences of the communal enterprises work within Western Bug river basin. *Man & Environment. Issues of Neocology, 3–4*(24), 96–102. <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5562/5117> [in Ukrainian].

Kokhan, S.S., Moskalenko, A.A. (2009). Assessment of capability for the identification of landfills using multispectral satellite images. *Bulletin of Geodesy & Cartography, 6*(63), 29–34 [in Ukrainian].

Mor, S., Ravindra K., Dahiya, R.P., Chandra, A. (2006). Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environmental Monitoring & Assessment, 118*, 435–456. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-1505-7>

Mussa, A., Suryabhagavan, K.V. (2019). Solid waste dumping site selection using GIS-based multi-criteria spatial modeling: a case study in Logia town, Afar region, Ethiopia. *Geology, Ecology, & Landscapes, 1–13*. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1703311>

National atlas of Ukraine. (2007). Rudenko, L.G. (Ed.). Kyiv: SSPE "Kartographia" [in Ukrainian].

Novokhatska, N.A., Kreta, D.L. (2015). Modelling and forecasting the impact of landfills on groundwater. *Ecological Sciences: Scientific & Practical Journal, 1*(7), 71–79. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2015/7/8.pdf> [in Ukrainian].

Novokhatska, N.A., Trofymchuk, O.M. (2014). Technology inventory waste deposits methods of remote sensing. *Environmental Safety & Natural Resources, 14*, 31–40 [in Ukrainian].

Oygar, J.K., Gjengedal, E. (2009). Uranium in municipal solid waste landfill leachate. *International Journal Environmental Research (IJER)*, 3(1), 61–68. https://ijer.ut.ac.ir/article_33.html

Shcherbina, E.V. (2012). Methodology of life cycle analysis in the design of municipal solid waste landfills. *Urban Science, Construction & Ecology: Consultation, Reviews, Projects & Expert Assessment*. <http://lerschtul.ru/ocolog/metodologiya-analiza-zhiznennogo-cikla-pri-proektirovanii-poligonov-terdyx-bytovykh-otxodov.html> [in Russian].

Shevchenko, M., Medvedieva, O.V. (2010). Ecological evaluation of the impact of solid waste landfills on the state of environment. *Academic Notes of Kirovohrad Volodymyr Vynnychenko State Pedagogical University*, 10(II), 313–315. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/5425/1/68.pdf> [in Ukrainian].

Shevchuk, O.V., Azimov, O.T., Tomchenko, O.V. (2021). Remote sensing monitoring of the landfill sites as a factor of adverse environmental impact. *Proc. 20th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine*, 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521054>

Sheviakina, N.A., Trofymchuk, O.M., Krasovsky, G.Y., Klimenko, V.I. (2019). Methods and models of space monitoring of zones of effect of solid domestic waste landfill on the environment. *Space Science & Technology*, 25(1, 116), 62–72. <https://doi.org/10.15407/knit2019.01.062> [in Ukrainian].

Singh, A. (2019). Remote sensing and GIS applications for municipal waste management. *Journal of Environmental Management*, 243, 22–29. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31077867/>. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.017.

Ślomiczyńska, B., Ślomiczyński, T. (2004). Physico-chemical and toxicological characteristics of leachates from MSW landfills. *Polish Journal Environmental Studies*, 13(6), 627–637. <https://pdfs.semanticscholar.org/f6cc/20d54e7074ad55439d5b468305c227fde101.pdf>

State of the municipal waste treatment sphere in Ukraine for 2020. (2021). Kyiv: *Ministry for Communities & Territories Development of Ukraine*. <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vi/> [in Ukrainian].

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

Trofymchuk, O., Rogozhin, Trofymchuk, O., Rogozhin, O., Klymenko, V., Sheviakina, N., Kreta, D. (2019). Development the information-analytical system for assessing the impact of landfills on the environment and electronic management. *SGEM 2019 – Proc. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 9–12 December, 2019, Vienna, Austria*, 4.2, 65–72. <https://sgem.org/index.php/elibrary?view=publication&task=show&id=6642>. doi: 10.5593/sgem2019V/4.2/S05.009.

Waste. (2021). Statistical information. Economic statistics / Environment. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine. <http://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 14.09.22

Прорецензовано / Revised: 15.05.23

Схвалено до друку / Accepted: 31.08.23

Oleksandr AZIMOV, DSc (Geol.), Senior Researcher

e-mail: azimov@casre.kiev.ua

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Oleksij ROGOZHIN, DSc (Econ.), Senior Researcher

e-mail: olexarog@gmail.com

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

Oleksandr TROFYMCHUK, DSc (Tech.), Prof., Corresponding Member of NAS of Ukraine

e-mail: Trofymchuk@nas.gov.ua

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

A CONCEPTUAL APPROACH TO THE CREATION OF AN INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR THE WORKS RELATED TO THE MANAGEMENT OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT IN THE CONTEXT OF THE LOCALIZATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE

The article considers the recent world approaches to municipal solid waste (MSW) management, describes two classes of the objects for their localization such as the unauthorized dumps and disposal landfills which play different functional roles in waste management. Together with the host and surrounding components of the environment the landfills and the dumps are represented as a special environmental-techno(anthro)genic system. Since the waste itself is deposited into the geological environment (GE), within the framework of this system in a whole, the technogenic-geological subsystem is considered, which can be represented by certain functional model or an infoframe for a specified application (i.e. target-oriented).

Conceptually, a methodical complex of information support is proposed for the researches and works on the management of GE, where MSW is located. This complex should include two blocks: a prognostic-retrospective-static model for the GE and an integrated ecological-geological model for the technogenic-geological object. Therefore, the main service tool of the information support for the MSW management of the objects of localization in the GE is a provision of the information-functional models for the certain infoframes. Completeness of these ecological-geological models is specified by the goals and problems of the management of reference class of the objects (an abstract infoframe). An illustration of the filling the information model by some data and its implementation into the Kyiv's Landfill area No 5 is present.

The main directions of further research are outlined.

Key words: municipal solid waste, dumps, landfills, technogenic-geological subsystem, information support for the management.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.