

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МІСЦЯ РОЗМІЩЕННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ПОЛІГОНІВ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДА ЦЕНТРА ВАГИ: ПРИКЛАД СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Коблянська І. І.^{a1}

^a Сумський національний аграрний університет, Україна

Анотація

Проблема планування оптимальної побудови інфраструктури поводження з відходами на регіональному рівні є актуальною та важливою в контексті виконання Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року та досягнення визначених нею цілей. Дослідження спрямоване на удосконалення методичної основи обґрунтування управлінських рішень щодо інфраструктури поводження з відходами та визначення оптимальних місць розміщення полігонів видалення відходів на території Сумської області. Здійснено поділ території на кластери з управління відходами з урахуванням чисельності та географічного взаєморозташування громад Сумської області: Північний, Східний, Південно-Західний. На основі даних про чисельність населення та географічні координати населених пунктів із чисельністю понад 50 осіб (998 населених пунктів) із застосуванням метода центра ваги визначено оптимальні місця розміщення регіональних полігонів видалення відходів для кожного з виділених кластерів. Встановлено, що для вирішення задачі розміщення полігону видалення відходів за методом центра ваги може бути використаний спрощений розрахунок (за двовимірною системою координат – широти та довготи) для отримання точних та надійних результатів. Результати дослідження можуть бути використані при розробці Регіонального плану управління відходами для Сумської області з метою забезпечення мінімізації тарифів на поводження з відходами для населення. Апробований підхід може становити методичну основу для планування інфраструктури поводження з відходами на території інших регіонів.

Ключові слова: регіональний план управління відходами; кластер управління відходами; розміщення полігонів; тверді побутові відходи.

FINDING THE OPTIMAL LOCATION OF REGIONAL LANDFILLS USING THE CENTER OF GRAVITY METHOD: SUMY REGION EXAMPLE

Koblianska I. I.^{a1}

^a Sumy National Agrarian University, Ukraine

Abstract

The problem of planning the optimal design of waste management infrastructure at the regional level is relevant and essential in implementing the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030 and the achievement of its goals. The study aims to improve the methodological basis for the substantiation of management decisions on waste management infrastructure design and determine the optimal location of landfills in the Sumy region. The territory was divided into three clusters for waste management, taking into account the number and geographical location of communities in Sumy region: North, East, South-West. Based on population data and geographical coordinates of settlements with more than 50 people (998 settlements) using the center of gravity method, the optimal locations of regional landfills for each selected cluster were determined. It is found that a simplified calculation (by the two-dimensional coordinate system - latitude and longitude) can be used to solve the problem of placing the landfill by the method of the center of gravity to obtain accurate and reliable results. The study results can be used in the elaboration of the Regional Waste Management Plan for Sumy region to minimize tariffs for waste management for the population. The tested approach can serve as a methodological basis for planning waste management infrastructure in other regions.

Keywords: regional waste management plan; waste management cluster; location of landfills; solid household waste.

Отримано / Received 17.08.2020
Отримано виправлений варіант / Received in revised form 23.08.2020
Прийнято до друку / Accepted 25.08.2020

¹ Corresponding author.
E-mail address: koblianska@protonmail.com

Вступ

В Україні склалась критична ситуація з поводженням з відходами, на вирішення якої спрямована Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року (2017) та заходи відповідного плану з її реалізації (2019). Важливим аспектом здійснюваної реформи є децентралізація управлінських процесів в цій сфері, тож розроблення та затвердження Регіональних планів управління відходами є стратегічно значущим елементом у цьому контексті. Проблема розроблення Регіональних планів управління відходами є багатоаспектною, адже включає питання адміністрування й фінансування цього процесу, прийняття рішень на перспективу щодо існуючої інфраструктури поводження з відходами в умовах невизначеності, а також питання відсутності належної інформаційної та методичної основи для обґрунтування управлінських рішень. Такі проблеми є релевантними для всіх регіонів України.

Мережа об'єктів поводження з відходами Сумської області – це більш ніж 250 місць видалення відходів, із них більше 80 об'єктів – це діючі полігони та сміттєзвалища для розміщення твердих побутових відходів (за даними офіційного реєстру станом на кінець 2017 р.), ресурс більшості з яких вже вичерпано. Вочевидь, існуючий стан справ не відповідає концепту, цілям та завданням Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, а тому на часі – будівництво нових, сучасних об'єктів відповідно до вимог чинного законодавства. У даному контексті актуальною та важливою є проблема визначення оптимальних місць розміщення таких об'єктів з урахуванням економічних та соціальних чинників, вимог санітарно-екологічної безпеки.

Сутність нової моделі поводження з відходами, що закріплюється Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року (Національна, 2017) полягає у зміні ставлення до відходів – як до потенційно цінних ресурсів, що можуть бути повторно використані (безпосередньо, через переробку тощо), а також видалені екологічно безпечним способом (за неможливості переробки) з найменшими витратами. При цьому фактично мова йде про вирішення задач логістичного характеру: визначення місць розташування та потужностей елементів зворотного ресурсного ланцюга, особливостей організації транспортних та складських операцій та ін. (Мішенін та Коблянська, 2014). У вирішенні задач такого роду мінімізація загальних витрат розглядається як основна цільова функція (Dekker et al., 2012; Amin & Zhang, 2013; Devika et al., 2014; Eiselt & Marianov, 2014; Atabaki et al., 2020). Урахуванню також підлягають й інші критерії, такі як невизначеність (попиту, поставок, повернень), використання екобезпеч-

них матеріалів та альтернативної енергії (Amin & Zhang, 2013), мінімізація викидів вуглецю та енергоспоживання (Dekker et al., 2012; Atabaki et al., 2020), соціальні фактори (можливості працевлаштування, безпека умов праці) (Devika et al., 2014), мінімізація спротиву населення (Eiselt & Marianov, 2014) тощо.

Вирішуючи питання розміщення місць видалення відходів, слід враховувати, що такі об'єкти розглядаються як «небажані» потужності. З одного боку, близьке розміщення об'єктів поводження з відходами є небажаним для споживача через забруднення, втрати, пов'язані зі зниженням вартості нерухомості, та ін. З іншого боку, споживачі зацікавлені у розміщенні таких об'єктів у близькості, достатній для того, щоб витрати, пов'язані з транспортуванням та поводженням з відходами, були помірними (Eiselt & Marianov, 2014). Власне, це й визначає важливість врахування мінімізації витрат як головного критерію під час прийняття рішень щодо розміщення потужностей із поводження з відходами.

Як свідчать результати останніх досліджень закордонних вчених, задачі з визначення оптимальних місць і потужностей об'єктів поводження з відходами можуть бути успішно вирішені з використанням математичного апарату методів дослідження операцій, зокрема, через формулювання та розв'язання задач планування та розміщення (Dekker et al., 2012; Eiselt & Marianov, 2014; Ghadge et al., 2016; Atabaki et al., 2020). У даному контексті на особливу увагу заслуговує метод центра ваги (Centre of gravity), перевагою якого є простота та широке застосування (Ghadge et al., 2016), а також можливість одночасно забезпечити досягнення економічних цілей (мінімальні витрати), і певних екологічних результатів (мінімізація енергоспоживання та викидів вуглецю, за інших рівних умов) (Johnson et al., 2012; Xifeng et al., 2013; Deus et al., 2017).

Зокрема, у роботі (Deus et al., 2017) метод центра ваги використано для визначення оптимального місця розміщення заводів із компостування та рециклінгу, а також місць розміщення відходів; у дослідженні (Ghadge et al., 2016) – для знаходження оптимальної побудови замкнутого ланцюга постачань (де поєднуються як прямі так і зворотні поставки ресурсів). Цей метод також було використано для визначення оптимальної мережі об'єктів поводження з відходами пестицидів (Li & Huang, 2018); оптимальних місць розміщення установок для переробки осаду стічних вод на добрива в регіоні Силезія Республіки Польща (Jaderko-Skubis & Kruczek, 2019); моделювання розміщення об'єктів реверсивної логістичної інфраструктури (Xifeng et al., 2013); для вибору оптимального місця розміщення станції з виробництва біопалива з відходів лісового господарства (Johnson et al., 2012); для

визначення оптимальних місць розташування центрів рециклінгу для виробників композитів (Mohamed Sultan & Mativenga, 2019). Власне, вчені (Mohamed Sultan & Mativenga, 2019) наголошують на тому, що цей методичний підхід може бути адаптований для різних географічних умов, відходів та галузей.

Серед недоліків використання метода центра ваги у розв'язанні задач із визначення оптимальних місць розміщення об'єктів поводження з відходами, вчені (Li & Huang, 2018) називають те, що він є доцільним лише для пошуку місця розташування одного об'єкта, а також не дозволяє враховувати інші критерії крім мінімізації витрат (відстані). Водночас, використовуючи даний метод у поєднанні з іншими (зокрема, цілочисельним лінійним програмуванням для врахування інших критеріїв) автори (Ghadge et al., 2016; Li & Huang, 2018; Jaderko-Skubis & Kruczek, 2019) вказують на доцільність використання метода центра ваги як висхідного, початкового етапу для подальшого моделювання.

Необхідно також наголосити на тому, що у більшості з вищевказаних досліджень, здійснених з використанням метода центра ваги, науковці використовують двовимірну систему географічних координат (широту та довготу) при визначенні оптимального місця розташування шуканих об'єктів, тоді як вчені (Mohamed Sultan & Mativenga, 2019) використовують тривимірну Картезианську систему координат, відзначаючи більшу надійність та точність такого підходу.

Вітчизняні науковці наголошують на необхідності запровадження стратегічного підходу в галузі управління відходами на локальному та регіональному рівні, пріоритезації проблеми пошуку оптимальних місць розміщення об'єктів інфраструктури поводження з відходами на регіональному рівні (Okorskyi, 2019), необхідності досягнення мети мінімізації витрат при створенні інфраструктури реверсивної логістики (Луценко, 2018). Водночас, відповідні дослідження є нечисленними. Знайдені наукові публікації як результат пошуку за ключовими словами «розміщення полігон ТПВ», «розміщення ТПВ», «реверсивна логістика», «closed-loop supply» на сайті Бібліотеки ім. Вернадського (станом на 15 червня 2020 року, <http://www.nbuv.gov.ua>) зосереджені на питаннях організаційної неформованості існуючої інфраструктури повторного використання промислових відходів (Кочешкова та Трушкіна, 2018), закордонного досвіду у сфері організації систем реверсивної логістики на регіональному рівні та необхідності розбудови відповідної системи в Україні (Луценко, 2018). Окремі дослідження концентруються на питаннях врахування геоecологічних умов при моделюванні розміщення об'єктів інфраструктури поводження з відходами на регіональному рівні – в Одеській області (Сафранов та ін.,

2018), відповідності існуючих об'єктів (інфраструктури та мережі) поводження з відходами санітарно-екологічним нормам на рівні окремого населеного пункту – м. Чернігів (Корнієнко та Кошма, 2015). Ці дослідження здійснені з використанням геоінформаційних систем (Quantum GIS, ArcGIS) та метода експертних оцінок.

Окремо слід прокоментувати наявні методичні рекомендації щодо розробки регіональних планів управління відходами (Про затвердження, 2019). В них наведено як загальні вимоги до структури та змісту регіонального плану, так і надано рекомендації щодо визначення меж кластерів та місць розміщення регіональних об'єктів оброблення відходів (РООВ) (Додатки 15 і 16). Відповідно до вказаного документа, РООВ рекомендовано «розташовувати максимально близько до населеного пункту з найбільшими обсягами утворення побутових відходів» за забезпечення мінімальної потужності (охоплення 150 тис. споживачів), а планування розміщення сміттеперевантажувальних станцій рекомендовано здійснювати на «економічній основі, тобто комбінації відстані перевезення та кількості відходів». Втім, чітких рекомендацій щодо можливих методів не надано. Наявні нині матеріали з питань інтегрованого управління відходами, розроблені за сприяння міжнародних організацій (Артов та Сороковський, 2016; Врублевський та Сороковський, 2018), присвячені більшою мірою аспектам міжмуніципального співробітництва (ММС) у цій сфері, що є стадією, яка слідує за просторовим плануванням інфраструктури поводження з відходами на національному та регіональному рівні.

Коментуючи вже наявні розробки – Проект Регіонального плану управління відходами Вінницької області, розроблений за сприяння експертів проекту DESPRO (Лазненко, 2019a), слід підкреслити, що автори ставили за мету «мінімізацію витрат на транспортування та захоронення відходів» під час визначення територіальних меж кластерів управління відходами. Разом із тим, методичний підхід, що був покладений в основу розроблення проекту, не зазначено, а створення 8 полігонів в області з чисельністю населення 1541379 осіб (станом на 1 січня 2020 року) (Лазненко, 2019a), тобто з охопленням менше 200 тис. осіб на один об'єкт є дещо дискусійним з точки зору мінімізації витрат.

Коротко підсумовуючи вищенаведене, слід підкреслити, що метод центра ваги доцільно використовувати для обґрунтування управлінських рішень щодо розміщення об'єктів поводження з відходами – це доводять результати досліджень закордонних вчених. Цей метод доцільно використовувати на першому етапі багатостадійного процесу моделювання, що має здійснюватись з урахуванням багатьох різних критеріїв, серед яких одним із визначальних

(початкових) має бути мінімізація відстаней (транспортних перевезень) і відповідних витрат. Разом із тим, цей підхід раніше не застосовувався для визначення місць розміщення полігонів видалення відходів, зокрема, і в умовах України.

Метою даного дослідження є удосконалення методичного апарату підтримки управлінських рішень в сфері управління відходами на регіональному рівні та визначення оптимальних місць розміщення регіональних полігонів для видалення відходів на території Сумської області, виходячи з мети мінімізації витрат та забезпечення відповідності критеріям щодо потужностей відповідних об'єктів, визначених Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року (за розміром зони обслуговування). Досягнення поставленої мети також потребує ідентифікації меж кластерів управління відходами на території області та визначення їх складу (громад, що формують зону обслуговування кластера).

Методи та матеріали

Поділ Сумської області на кластери з управління відходами здійснено з урахуванням чисельності населення Сумської області станом 1 травня 2020 року відповідно до даних Головного управління статистики Сумської області у розрізі районів області та міст обласного значення (Головне, 2020). При цьому також використані дані щодо чисельності населення у розрізі окремих громад (зокрема, Миколаївської селищної об'єднаної територіальної громади, що входить до складу Сумського району області, але на відміну від інших громад району, віднесена до іншого кластера через географічну близькість). Під час визначення складу громад кластерів використано інформацію з рішення уряду щодо утворення громад на території області (Про визначення, 2020).

Для визначення оптимального місця розміщення полігонів видалення відходів на території Сумської області використовується метод центра ваги, який базується на врахуванні розташування місця-споживача послуг із вивезення та захоронення відходів (окремого населеного пункту об'єднаної громади) та обсягу споживання послуг – за обсягом утворення відходів. Використання даного методу дозволяє знайти точку з координатами (X_0 , Y_0) за формулами (1–2), в якій мінімізуються обсяги перевезення ресурсу (у даному випадку відходів), виходячи з географічної розпорошеності споживачів послуг.

$$X_0 = \frac{\sum_{i=0}^n x_i w_i}{\sum_{i=0}^n w_i}, \quad (1)$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=0}^n y_i w_i}{\sum_{i=0}^n w_i}, \quad (2)$$

де i – населені пункти, що входять до зони обслуговування кластера ($i = 1, \dots, n$); x_i – географічна координата населеного пункту i (широта, градуси); y_i – географічна координата населеного пункту i (довгота, градуси); w_i – обсяг утворення відходів у населеному пункті, визначений як добуток чисельності населення та норми утворення відходів на одну людину за рік, кг.

За використання підходу, розглянутого у роботі (Mohamed Sultan & Mativenga, 2019), географічні координати (у градусах) спочатку виражаються у радіанах з допомогою формул (3–4):

$$\text{lon}_{ri} = \frac{\text{lon}_i \pi}{180}, \quad (3)$$

$$\text{lat}_{ri} = \frac{\text{lat}_i \pi}{180}, \quad (4)$$

де lon_i – географічна координата населеного пункту i (довгота, градуси); lat_i – географічна координата населеного пункту i (широта, градуси).

Далі координати (3–4) трансформуються у Картезіанські за такою системою рівнянь (5):

$$\begin{cases} x_i = R \sin(\text{lat}_{ri}) \cos(\text{lon}_{ri}), \\ y_i = R \sin(\text{lat}_{ri}) \sin(\text{lon}_{ri}), \\ z_i = R \cos(\text{lon}_{ri}). \end{cases} \quad (5)$$

де R – радіус земної кулі ($R=6371,0$ км).

Координати місця розміщення шуканої точки (X_0 , Y_0 , Z_0) знаходяться за формулами (1–2)

$$(\text{відповідно, } Z_0 = \frac{\sum_{i=0}^n z_i w_i}{\sum_{i=0}^n w_i}),$$

а далі трансформуються у відповідні географічні координати широти (lat_r) та довготи (lon_r) у радіанах (6) та градусах (7–8):

$$\begin{cases} \text{lon}_r = \arctg\left(\frac{y_0}{x_0}\right), \\ \text{lat}_r = \arctg\left(\frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}{z_0}\right). \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{lon}_0 = \text{lon}_r * 180/\pi, \quad (7)$$

$$\text{lat}_0 = \text{lat}_r * 180/\pi, \quad (8)$$

де lon_0 – географічна координата оптимального місця розміщення полігону ТПВ (довгота, градуси); lat_0 – географічна координата оптимального місця розміщення полігону ТПВ (широта, градуси).

Для визначення географічних координат населених пунктів у межах виділених кластерів і розрахункових значень географічних координат

оптимальних місць розміщення РООВ використано сервіс Google Maps Service. Такий підхід апробовано у роботі (Li & Huang, 2018).

Під час визначення місць розташування РООВ за кластерами було враховано дані щодо 998 населених пунктів із 1406 наявних на території Сумської області (географічні координати та чисельність населення), з яких – 32 міські населені пункти (міста – 14, селища міського типу – 18), де обсяг утворення відходів є більшим, порівняно з сільськими населеними пунктами. Дані щодо чисельності населення в розрізі населених пунктів Сумської області взято з даних Інформаційного порталу місцевого самоврядування України (<https://rada.info>), сайтів окремих об'єднаних територіальних громад (розділ картка громади). Під час розрахунку обсягу утворення відходів на території населеного пункту як добутку чисельності населення та норми утворення відходів, через відсутність довідкових даних щодо усереднених норм утворення відходів у міських та сільських населених пунктах, використано дані, наведені у (Лазненко, 2019б) щодо обсягу утворення відходів у Полтавському регіоні (дані за 2016 р.), де наведено абсолют-

ні значення обсягу утворення відходів для м. Полтава та субрегіону: 339 та 191 кг/людину в рік, відповідно.

Результати та обговорення

Враховуючи географічне взаєморозташування районів та громад, порогові значення щодо розмірів зон обслуговування полігонів видалення відходів, визначених Національною стратегією поводження з відходами до 2030 року (150-400 тис.населення), виділено три кластери: Північний, Східний та Південно-Західний. Виділені кластери та їхній склад (за районами, громадами) наведено у табл. 1. При цьому вихідним припущенням, що покладено в основу такого поділу є те, що зі збільшенням кількості споживачів відповідних послуг (до 400 тис. осіб в зоні обслуговування полігону) вдасться забезпечити менші тарифи на послуги із захоронення відходів та швидшу окупність капітальних вкладень.

У межах виділених кластерів з використанням метода центра ваги визначено оптимальні місця розміщення полігонів видалення відходів. При цьому розрахунки базуються на таких припущеннях:

Таблиця 1

Виділені кластери з управління відходами на території Сумської області

Кластер	Райони зони обслуговування (райони відповідно до (Про утворення, 2020)	Об'єднані територіальні громади (ОТГ) зони обслуговування	Адміністративні центри ОТГ	Чисельність населення (станом на 1 травня 2020 року)
Північний	Середино-Будський (Шосткинський)	Зноб-Новгородська селищна	смт Зноб-Новгородське	15 452
		Середино-Будська міська	м. Середина-Буда	
	Ямпільський (Шосткинський)	Дружбівська міська	м. Дружба	22 303
		Свеська селищна	смт Свеса	
		Ямпільська селищна	смт Ямпіль	
	Шосткинський, м. Шостка (Шосткинський)	Шосткинська міська	м. Шостка	93 205
	Глухівський (Шосткинський)	Березівська сільська	с. Береза	21 068
		Есманська селищна	смт Есмань	
		Шалигинська селищна	смт Шалигине	
	м. Глухів (Шосткинський)	Глухівська міська	м. Глухів	32 744
	Кролевецький (Конотопський)	Кролевецька міська	м. Кролевець	36 183
	Путивльський (Конотопський)	Новослобідська сільська	с. Нова Слобода	26 042
		Путивльська міська	м. Путивль	
	Конотопський (Конотопський)	Бочечківська сільська	с. Бочечки	26 689
		Дубов'язівська селищна	смт Дубов'язівка	
		Попівська сільська	с. Попівка	
	м. Конотоп (Конотопський)	Конотопська міська	м. Конотоп	89 329
	Буринський (Конотопський)	Буринська міська	м. Буринь	22 816
РАЗОМ				385 831

Продовження Табл. 1

Кластер	Райони зони обслуговування (райони відповідно до (Про утворення, 2020)	Об'єднані територіальні громади (ОТГ) зони обслуговування	Адміністративні центри ОТГ	Чисельність населення (станом на 1 травня 2020 року)
Східний	Білопільський (Сумський)	Білопільська міська	м. Білопілья	37 956
		Ворожбянська міська	м. Ворожба	
		Річківська сільська	с. Річки	
	Сумський (Сумський)	Бездрицька сільська	с. Бездрик	61 571
		Верхньосироватська сільська	с. Верхня Сироватка	
		Миколаївська сільська	с. Миколаївка	
		Нижньосироватська сільська	с. Нижня Сироватка	
		Садівська сільська	с. Сад	
		Степанівська селищна	смт Степанівка	
		Хотінська селищна	смт Хотінь	
		Юнаківська сільська	с. Юнаківка	
	м. Суми	Сумська міська	м. Суми	264 216
Краснопільський (Сумський)	Краснопільська селищна	смт Краснопілья	26 857	
	Миропільська сільська	с. Миропілья		
РАЗОМ				390 600
Південно-західний	Роменський (Роменський)	Хмелівська сільська	с. Хмелів	30 733
		Андріяшівська сільська	с. Андріяшівка	
	м. Ромни	Роменська міська	м. Ромни	39 179
	Недригайлівський (Роменський)	Вільшанська сільська	с. Вільшана	22 836
		Коровинська сільська	с. Коровинці	
		Недригайлівська селищна	смт Недригайлів	
	Липоводолинський (Роменський)	Липоводолинська селищна	смт Липова Долина	17 660
		Синівська сільська	с. Синівка	
	Білопільський (Сумський)	Миколаївська селищна	смт Миколаївка	10 079
	Лебединський (Сумський)	Лебединська міська	м. Лебедин	18 411
				25 082
	Тростянецький (Охтирський)	Тростянецька міська	м. Тростянець	33 296
		Боромлянська сільська	с. Боромля	
	Охтирський (Охтирський)	Грунська сільська	с. Грунь	25 095
		Комишанська сільська	с. Комиші	
		Чернечинська сільська	с. Чернеччина	
		Чупахівська селищна	смт Чупахівка	
	м. Охтирка	Охтирська міська	м. Охтирка	47 701
	Великописарівський (Охтирський)	Великописарівська селищна	смт Велика Писарівка	17 353
		Кириківська селищна	смт Кириківка	
РАЗОМ				287 425
Усього в Сумській області				1 063 856

1) за відсутності доступних актуальних даних щодо чисельності населення (зокрема, станом на кінець 2019 року) в розрізі населених пунктів Сумської області, розробка прогнозних значень щодо кількості населення у майбутньому є неможливою, тож розрахунок базується на наявних даних щодо кількості населення із припущенням, що подальші зміни чисельності будуть пропорційними на всій території регіону (зменшення кількості населення в Україні за останні десять років відбувається у середньому

на 0,47% на рік і прогнозується і надалі (Артов та Сороковський, 2016). Через очікування зменшення кількості населення у майбутньому, із розрахунку вилучено населені пункти із кількістю мешканців менше 50 осіб;

2) абсолютне значення норми утворення відходів на одну особу не є настільки важливим, як співвідношення кількості утворюваних відходів у міських та сільських населених пунктах у розрахунку на одну особу. Розрахунок базується на припущенні, що наявне співвідношення для

Таблиця 2

Результати розрахунків щодо визначення оптимального місця розміщення РООВ на території Сумської області

Кластер	Розрахунок за двовимірною системою координат		Фізична адреса (населений пункт)	Розрахунок за тривимірною системою координат		Фізична адреса (населений пункт)
	Широта	Довгота		Широта	Довгота	
Північний	51°33'09.3"	33°33'12.7"	поблизу с. Прогрес Кролевецького району Сумської області	51°33'04.9"	33°33'14.3"	поблизу с. Прогрес Кролевецького району Сумської області
Східний	50°56'11.8"	34°46'11.4"	територія Ковпаківського району м. Суми	50°56'10.9"	34°46'10.3"	територія Ковпаківського району м. Суми
Південно-західний	50°34'23.1"	34°20'15.1"	територія с. Гірки Лебединського району Сумської області	50°34'16.9"	34°20'10.1"	територія с. Гірки Лебединського району Сумської області

Полтавської області (Лазненко, 2019б) є релевантним і для Сумської області, а зміна кількості утворених відходів у майбутньому, у розрахунку на одну людину в сільських та міських населених пунктах, відбуватиметься пропорційно (можна очікувати зростання обсягу відходів, відповідно до (Артов та Сороковський, 2016);

3) під час розрахунку не враховано різний морфологічний склад відходів у сільських та міських населених пунктах, що загалом могло би вплинути на обсяги вивезення відходів. Це зумовлено відсутністю досі чітких настанов щодо того, які відходи не будуть в жодному разі розміщуватись на полігоні, а також відсутністю наразі інфраструктури оброблення та перероблення відходів. З цих позицій, розрахунок базується на припущенні, що всі утворені відходи розміщуються на полігоні (це є виправданим, принаймні, у короткостроковому періоді).

За результатами розрахунків з використанням Microsoft Office Excel, було отримано дані щодо географічних координат місць розміщення полігонів видалення відходів (табл. 2).

Відстань між знайденими за різними методами місцями для розміщення полігонів становить: для Північного кластера – 110 м, для Східного – 48 м, для Південно-Західного – 650 м. Це свідчить про те, що навіть використання спрощеного методу (за двовимірною системою координат) є виправданим для цілі знаходження оптимального місця розташування полігону видалення відходів з використанням метода центра ваги. Відповідні дані щодо місць розміщення полігонів графічно зображено на карті (рис. 1).

Виходячи з розрахункових значень географічних координат оптимальних місць розміщення РООВ можна визначити віддаленість населених пунктів у межах кластерів від РООВ (принаймні, адміністративних центрів громад у складі кластера). Відповідні дані представлено у табл. 3.

Коментуючи інформацію, наведену у табл. 3 слід відзначити, що найбільш вдалим є місце розміщення полігону у Східному кластері, де відстань до адміністративних центрів громад зони обслуговування не перевищує 53,0 км (найбіль-

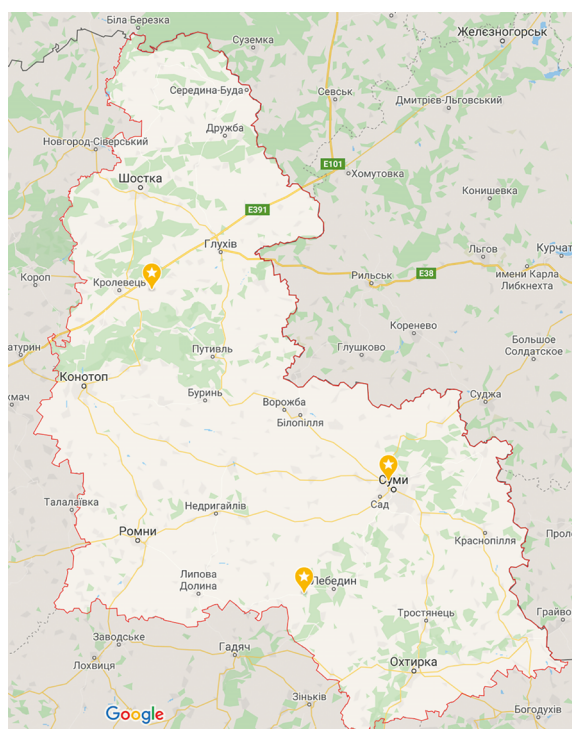


Рисунок 1. Розташування оптимальних місць розміщення полігонів видалення відходів на території Сумської області (побудовано із використанням сервісу Google Maps)

Таблиця 3

Оцінка віддаленості адміністративних центрів громад в зонах обслуговування від місць розміщення РООВ за кластерами (визначено з використанням сервісу Google Maps)

Кластер	Громади (ОТГ) зони обслуговування	Адміністративні центри ОТГ*	Відстань до РООВ кластера, км
Північний	Зноб-Новгородська селищна	смт Зноб-Новгородське	105,0–124,0
	Середино-Будська міська	м. Середина-Буда	100,0–113,0
	Дружбівська міська	м. Дружба	82,1–95,1
	Свеська селищна	смт Свеса	78,3–91,3
	Ямпільська селищна	смт Ямпіль	64,9–77,9
	Шосткинська міська	м. Шостка	51,4–72,3
	Березівська сільська	с. Береза	39,2
	Есманська селищна	смт Есмань	51,5
	Шалигинська селищна	смт Шалигине	51,2–61,7
	Глухівська міська	м. Глухів	43,7
	Кролевецька міська	м. Кролевець	18,4–25,0
	Новослобідська сільська	с. Нова Слобода	75,1–104,0
	Путивльська міська	м. Путивль	45,9–85,0
	Бочечківська сільська	с. Бочечки	45,3
	Дубов'язівська селищна	смт Дубов'язівка	79,1–105,0
	Попівська сільська	с. Попівка	63,8–81,2
	Конотопська міська	м. Конотоп	59,5–85,3
	Буринська міська	м. Буринь	76,9–107,0
Східний	Білопільська міська	м. Білопілья	43,1
	Ворожбянська міська	м. Ворожба	34,7
	Річківська сільська	с. Річки	35,1
	Бездрицька сільська	с. Бездрик	17,6–19,0
	Верхньосироватська сільська	с. Верхня Сироватка	20,7–22,0
	Миколаївська сільська	с. Миколаївка	26,3
	Нижньосироватська сільська	с. Нижня Сироватка	27,2–30,5
	Садівська сільська	с. Сад	10,4–13,7
	Степанівська селищна	смт Степанівка	11,7
	Хотінська селищна	смт Хотінь	20,6–22,6
	Юнаківська сільська	с. Юнаківка	38,4
	Сумська міська	м. Суми	0,0
	Краснопільська селищна	смт Краснопілья	45,7–52,4
	Миропільська сільська	с. Миропілья	41,3
Південно-західний	Хмелівська сільська	с. Хмелів	95,0–118,0
	Андріяшівська сільська	с. Андріяшівка	85,3–128,0
	Роменська міська	м. Ромни	75,0–108,0
	Вільшанська сільська	с. Вільшана	64,9–84,7
	Коровинська сільська	с. Коровинці	83,4–92,3
	Недригайлівська селищна	смт Недригайлів	72,5–83,6
	Липоводолинська селищна	смт Липова Долина	42,9
	Синівська сільська	с. Синівка	19,2
	Миколаївська селищна	смт Миколаївка	64,1–94,5
	Лебединська міська	м. Лебедин	13,0–15,9
	Тростянецька міська	м. Тростянець	54,7–107,0
	Боромлянська сільська	с. Боромля	59,6–92,9
	Грунська сільська	с. Грунь	71,2–72,3
	Комишанська сільська	с. Комиші	56,8–75,7
	Чернечинська сільська	с. Чернечина	62,6–63,7
	Чупахівська селищна	смт Чупахівка	43,2–57,1
	Охтирська міська	м. Охтирка	68,0–75,3
	Великописарівська селищна	смт Велика Писарівка	114,0–146,0
	Кириківська селищна	смт Кириківка	85,8–90,3

* - курсивом позначені населені пункти із найбільшою чисельністю населення в рамках кластера

ша відстань). Тут слід підкреслити, що, звичайно ж, розміщення полігону для видалення відходів на території населеного пункту є неможливим і неприпустимим. Втім, знайдена точка може слугувати орієнтиром для пошуку відповідного (за санітарними, екологічними, геологічними показниками) місця поблизу. Це ж справедливо й для полігону Південно-Західного кластера.

Розміщення полігону Північного кластера також є досить вдалим, адже відстань до основних споживачів послуг (міст з найбільшою чисельністю населення – м. Шостка і м. Конотоп) коливається у межах 60 км, тоді як у Південно-Західному кластері відстань до основних споживачів (м. Ромни, м. Охтирка) – у межах 75 км. Ці відстані можна використовувати як порогові при визначенні місць розміщення перевантажувальних станцій, створення яких доцільне у віддалених територіях Південно-Західного та Північного кластерів. Також можна додати, що для збільшення потужності полігону Південно-Західного кластера доцільним є включення в зону обслуговування населення північної частини території Харківської області. Втім, такі рішення мають бути результатом міжрегіонального діалогу.

Коментуючи отримані результати, слід відзначити, що отримані дані щодо оптимальних місць розташування полігонів не є остаточними. Погоджуючись із твердженням авторів статті (Jaderko-Skubis & Kruczek, 2019, p. 1251), визначені координати місць розміщення об'єктів поводження з відходами, а також можливі альтернативи (визначені через зміну складу громад кластерів) мають бути оцінені з точки зору наявності відповідної інфраструктури (дорожнє сполучення), з урахуванням також екологічних факторів (цінні природні території, геологічні, сейсмічні умови), економічних та юридичних (можливості відведення земельних ділянок, права власності на землі та ін.), логістичних та технологічних (потужність транспортних шляхів, наявні об'єкти поводження з відходами та ін.), соціальних чинників (спротив населення, культурна спадщина та пам'ятки). З урахуванням цих критеріїв має прийматися остаточне рішення щодо оптимальних місць розміщення полігонів видалення відходів, яке повинно стати основою для планування мережі сміттєперевантажувальних станцій, як це передбачено Національною стратегією поводження з відходами на період до 2030 року (Національна, 2017).

Висновки

У статті набули подальшого розвитку методичні підходи, що традиційно використовуються для вирішення задач із розміщення – метод центра ваги – для знаходження оптимального місця розміщення полігонів для видалення відходів на території Сумської області в рамках трьох кластерів. Результати дослідження свід-

чать про те, що для вирішення подібних задач застосування метода центра ваги та двовимірної системи географічних координат є виправданим та не позначається на точності розрахунків та отриманих результатів, але є менш трудомістким. Розміщення полігонів у знайдених точках географічних координат забезпечуватиме мінімізацію перевезень відходів, а тим самим, мінімізацію витрат споживачів на транспортування і мінімізацію екологічно негативних наслідків, що супроводжують процеси транспортування (викиди в атмосферне повітря від пересувних джерел, використання палива). Створення в області лише трьох полігонів відповідає цілям (та індикаторам) Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, а також забезпечуватиме мінімізацію витрат на операції із захоронення відходів через збільшення зони обслуговування полігонів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що вони можуть виступати інформаційною основою під час подальшого моделювання та прийняття управлінських рішень щодо розміщення об'єктів поводження з відходами, зокрема, сміттєперевантажувальних та сортувальних станцій, об'єктів поводження з іншими видами відходів (небезпечними, великогабаритними, промисловими та ін.) задля забезпечення мінімальних економічних витрат та мінімізації негативних наслідків операцій поводження з відходами для довкілля. Отримані результати можуть слугувати основою для прийняття рішень органами місцевого самоврядування щодо налагодження міжмуніципального співробітництва у сфері поводження з відходами.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на уточнення отриманих результатів, визначення та тестування інших методичних підходів, що забезпечуватимуть автоматизацію процесу розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації мережі об'єктів поводження з відходами на регіональному та національному рівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артов А.М., Сороковський В.Є. Планування міжмуніципальної системи інтегрованого поводження з твердими побутовими відходами: методичний посібник/ за заг. ред. В. Є. Сороковського. Швейцарсько-український проект «Підтримка децентралізації в Україні» DESPRO. К., 2016. 103 с. ISBN 978-617-7373-67-3. URL: https://despro.org.ua/despro/DsprZ_elektr_small.pdf
2. Войціховська А., Кравченко О., Мельнь-Забрамна О., Панькевич М. Кращі європейські практики управління відходами (посібник) / за заг. ред. О. Кравченко. Львів: Видавництво «Компанія "Манускрипт"», 2019. 64 с. URL: <http://epl.org.ua/human-posts/krashhi-yevropejski-praktyky-upravlinnya-vidhodamy-posibnyk/>
3. Врублевський О., Сороковський В. Договори міжмуніципального співробітництва у сфері управління побутовими відходами. Київ: ФОП Кандиба Т.

П., 2018. 96 с. ISBN 978-617-7523-34-4. URL: <https://despro.org.ua/news/detail.php?ID=2175>

4. Головне управління статистики у Сумській області. Чисельність населення (за оцінкою) по містах обласного значення та районах Сумської області на 1 травня 2020 року та середня чисельність у січні–квітні 2020 року. URL: <http://sumy.ukrstat.gov.ua>

5. Корнієнко І.В., Кошма А.І. Моделювання обмежень розташування контейнерних майданчиків роздільного збору твердих побутових відходів. Технічні науки та технології. 2015. № 2 (2). С. 135–140. URL: http://journals.stu.cn.ua/technical_sciences_and_technology/article/view/70369

6. Кочешкова І.М., Трушкіна Н.В. Реверсивна логістика промислових відходів. Вісник економічної науки України. 2018. № 2. С. 105–108. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/150563>

7. Лазненко Д. Регіональний план управління відходами Вінницької області (окремі аспекти). Швейцарсько-український проект «Підтримка децентралізації в Україні» DESPRO. 2019a. URL: <http://mail.vin.gov.ua/images/doc/vin/departament-apk/2019/November/Prezent-21-11-19.pdf>

8. Лазненко Д.О. Визначення параметрів утворення побутових відходів у населених пунктах України для цілей регіонального планування. Швейцарсько-український проект «Підтримка децентралізації в Україні» DESPRO. Київ, 2019б, 9 с. URL: <https://despro.org.ua/library/publication/Параметри%20утворення%20побутових%20відходів.pdf>

9. Луценко І.С. Реверсивна логістика як складова соціально-економічної безпеки регіональних та глобальних структур. Вісник Маріупольського державного університету. Серія Економіка. 2018. Вип. 16. С. 111–117. URL: <http://visnyk-ekonomics.mdu.in.ua/uk/visnyk-16.pdf>

10. Мішенін Є.В., Коблянська І.І. Логістичні основи сталого соціально-економічного розвитку регіону. Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. «Економіка і менеджмент». 2014. № 5(60). С. 3–8. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>

11. Ненько Х.С., Михайленко В.П., Олексієвцев І.Л. Геоекологічні передумови вибору місця розміщення полігонів ТПВ. Географія та туризм. 2012. Вип. 23. С. 307–316. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>

12. Про визначення адміністративних центрів та затвердження територій територіальних громад Сумської області: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12.06.2020р. № 723-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/723-2020-p#Text>

13. Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення регіональних планів управління відходами: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 12.04.2019р. № 142. URL: https://menr.gov.ua/files/docs/nakazy/2019/nakaz_142.pdf?fbclid=IwAR2jcXtOVpshKi_pn7YSzyWk3fATxHL1IWtATHMdheILLw3aGBJKQk-N4Y

14. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року: схв. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8.11.2017р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>

15. Про утворення та ліквідацію районів: Постанова Верховної Ради України від 17.07.2020р. № 807-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/807-20#Text>

16. Сафранов Т. А., Черкез Є. А., Шаталін, С. М. Оцінка сприятливості території одеської області для розміщення полігонів твердих побутових відходів. Український гідрометеорологічний журнал. 2018.

№ 21. 98–109. URL: <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/otsinka-spriyatlivosti-teritoriyi-odeskoyi-oblasti-dlya-rozmishhennya-poligoniv-tverdih-pobutovih-vidhodiv/>

17. Amin, S. H., & Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4165–4176. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.039>

18. Atabaki, M. S., Mohammadi, M., & Naderi, B. (2020). New robust optimization models for closed-loop supply chain of durable products: Towards a circular economy. *Computers & Industrial Engineering*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106520>

19. Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2012). Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.010>

20. Deus, R. M., Battistelle, R. A. G., & Silva, G. H. R. (2017). Scenario evaluation for the management of household solid waste in small Brazilian municipalities. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(1), 205–214. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1205-0>

21. Devika, K., Jafarian, A., & Nourbakhsh, V. (2014). Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 594–615. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.032>

22. Eiselt, H. A., & Marianov, V. (2014). A bi-objective model for the location of landfills for municipal solid waste. *European Journal of Operational Research*, 235(1), 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.005>

23. Ghadge, A., Yang, Q., Caldwell, N., König, C., & Tiwari, M. K. (2016). Facility location for a closed-loop distribution network: A hybrid approach. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 44(9), 884–902. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-07-2015-0094>

24. Jaderko-Skubis, K., & Kruczek, M. (2019). Determination of the Optimal Location of Sewage Sludge Installation for the Needs of Production of Fertilizer Products. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 21, 1238–1252.

25. Johnson, D. M., Jenkins, T. L., & Zhang, F. (2012). Methods for optimally locating a forest biomass-to-biofuel facility. *Biofuels*, 3(4), 489–503. <https://doi.org/10.4155/bfs.12.34>

26. Li, Z., & Huang, J. (2018). How to Effectively Improve Pesticide Waste Governance: A Perspective of Reverse Logistics. *Sustainability*, 10(10), 3622. <https://doi.org/10.3390/su10103622>

27. Mohamed Sultan, A. A., & Mativenga, P. T. (2019). Sustainable Location Identification Decision Protocol (SuLIDeP) for determining the location of recycling centres in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 223, 508–521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.104>

28. Okorskyi, V. (2019). Social and environmental problems with the formation and accumulation of household waste and the role of local self-government in their resolution. *Economy and Society*, 20. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2019-20-66>

29. Xifeng, T., Ji, Z., & Peng, X. (2013). A multi-objective optimization model for sustainable logistics facility location. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 22, 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.03.003>

REFERENCES

1. Artov A.M., Sorokovskiy V.Ie. Planuvannya mizhmunitsypalnoi systemy intehrovanooho povodzhennia z tverdymi pobutovymi vidkhodamy: metodychnyi posibnyk/ za zah. red. V. Ye. Sorokovskoho. Shveitsarsko-ukrainskyi proekt «Pidtrymka detsentralizatsii v Ukraini» DESPRO. K., 2016. 103 s. ISBN 978-617-7373-67-3. URL: https://despro.org.ua/despro/DsprZ_elektr_small.pdf
2. Voitsikhovska A., Kravchenko O., Melen-Zabramna O., Pankevych M. Krashchi yevropejski praktyky upravlinnia vidkhodamy (posibnyk) /za zah. red. O. Kravchenko. Lviv: Vydavnytstvo «Kompaniia "Manuskrypt"», 2019. 64 s. URL: <http://epl.org.ua/human-posts/krashhi-yevropejski-praktyky-upravlinnya-vidhodamy-posibnyk/>
3. Vrublevskiy O., Sorokovskiy V. Dohovory mizhmunitsypalnoho spivrobitnytstva u sferi upravlinnia pobutovymi vidkhodamy. Kyiv: FOP Kandyba T. P., 2018. 96 s. ISBN 978-617-7523-34-4. URL: <https://despro.org.ua/news/detail.php?ID=2175>
4. Holovne upravlinnia statystyky u Sumskii oblasti. Chyselnist naselennia (za otsinkoiu) po mistakh oblasnoho znachennia ta raionakh Sumskoi oblasti na 1 travnia 2020 roku ta serednia chyselnist u sichni–kvitni 2020 roku. URL: <http://sumy.ukrstat.gov.ua>
5. Kornienko I.V., Koshma A.I. Modeliuvannya obmezen roztashuvannya konteinerlykh maidanchykyv rozdilnoho zboru tverdych pobutovykh vidkhodiv. Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. 2015. № 2 (2). S. 135–140. URL: http://journals.stu.cn.ua/technical_sciences_and_technology/article/view/70369
6. Kocheshkova I.M., Trushkina N.V. Reversyvna lohistyka promyslovykh vidkhodiv. Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy. 2018. № 2. S. 105–108. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/150563>
7. Laznenko D. Rehionalnyi plan upravlinnia vidkhodamy Vinnytskoi oblasti (okremi aspekty). Shveitsarsko-ukrainskyi proekt «Pidtrymka detsentralizatsii v Ukraini» DESPRO. 2019a. URL: <http://mail.vin.gov.ua/images/doc/vin/departament-apk/2019/November/Prezent-21-11-19.pdf>
8. Laznenko D.O. Vyznachennia parametriv utvorennia pobutovykh vidkhodiv u naselenykh punktakh Ukrainy dlia tsilei rehionalnoho planuvannya. Shveitsarsko-ukrainskyi proekt «Pidtrymka detsentralizatsii v Ukraini» DESPRO. Kyiv, 2019b, 9 s. URL: <https://despro.org.ua/library/publication/Parametry%20utvorennia%20pobutovykh%20vidkhodiv.pdf>
9. Lutsenko I.S. Reversyvna lohistyka yak skladova sotsialno-ekonomichnoi bezpeky rehionalnykh ta hlobalnykh struktur. Visnyk Mariupolskoho derzhavnogo universytetu. Seriya Ekonomika. 2018. Vyp.16. S. 111–117. URL: <http://visnyk-ekonomics.mdu.in.ua/uk/visnik-16.pdf>
10. Mishenin Ye.V., Koblianska I.I. Lohistychni osnovy staloho sotsialno-ekonomichnoho rozvytku rehionu. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ser. «Ekonomika i menedzhment». 2014. № 5(60). S. 3–8. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>
11. Nenko Kh.S., Mykhailenko V.P., Oleksiievets I.L. Heoekolohichni peredumovy vyboru mistisia rozmishchennia polihonu TPV. Heohrafiia ta turyzm. 2012. Vyp. 23. S. 307–316. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>
12. Pro vyznachennia administratyvnykh tsentriv ta zatverdzhennia terytorii terytorialnykh hromad Sumskoi oblasti: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 12.06.2020r. № 723-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/723-2020-r#Text>
13. Pro zatverdzhennia Metodichnykh rekomendatsii z rozroblennia rehionalnykh planiv upravlinnia vidkhodamy: Nakaz Ministerstva ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 12.04.2019r. № 142. URL: https://menr.gov.ua/files/docs/nakazy/2019/nakaz_142.pdf?fbclid=IwAR2jcXtOVpshKi_pn7YSzyWkJ3fATxHL1IWTaTHMdheILLw3aGBJKQk-N4Y
14. Natsionalna stratehiia upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku: skhv. Rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 8.11.2017r. № 820-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-r#Text>
15. Pro utvorennia ta likvidatsiiu raioniv: Postanova Verkhovnoi Rady Ukrainy vid 17.07.2020r. № 807-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/807-20#Text>
16. Safranov T. A., Cherkez Ye. A., Shatalin, S. M. Otsinka spriyatlivosti terytorii odeskoi oblasti dlia rozmishchennia polihoniv tverdych pobutovykh vidkhodiv. Ukrainskyi hidrometeorolohichniy zhurnal. 2018. № 21. 98–109. URL: <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/otsinka-spriyatlivosti-teritorii-odeskoyi-oblasti-dlya-rozmishchennia-poligoniv-tverdyh-pobutovykh-vidhodiv/>
17. Amin, S. H., & Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4165–4176. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.039>
18. Atabaki, M. S., Mohammadi, M., & Naderi, B. (2020). New robust optimization models for closed-loop supply chain of durable products: Towards a circular economy. *Computers & Industrial Engineering*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106520>
19. Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2012). Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.010>
20. Deus, R. M., Battistelle, R. A. G., & Silva, G. H. R. (2017). Scenario evaluation for the management of household solid waste in small Brazilian municipalities. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(1), 205–214. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1205-0>
21. Devika, K., Jafarian, A., & Nourbakhsh, V. (2014). Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 594–615. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.032>
22. Eiselt, H. A., & Marianov, V. (2014). A bi-objective model for the location of landfills for municipal solid waste. *European Journal of Operational Research*, 235(1), 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.005>
23. Ghadge, A., Yang, Q., Caldwell, N., König, C., & Tiwari, M. K. (2016). Facility location for a closed-loop distribution network: A hybrid approach. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 44(9), 884–902. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-07-2015-0094>
24. Jaderko-Skubis, K., & Kruczek, M. (2019). Determination of the Optimal Location of Sewage Sludge Installation for the Needs of Production of Fertilizer Products. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 21, 1238–1252.
25. Johnson, D. M., Jenkins, T. L., & Zhang, F. (2012). Methods for optimally locating a forest biomass-to-biofuel facility. *Biofuels*, 3(4), 489–503. <https://doi.org/10.4155/bfs.12.34>

26. Li, Z., & Huang, J. (2018). How to Effectively Improve Pesticide Waste Governance: A Perspective of Reverse Logistics. *Sustainability*, 10(10), 3622. <https://doi.org/10.3390/su10103622>
27. Mohamed Sultan, A. A., & Mativenga, P. T. (2019). Sustainable Location Identification Decision Protocol (SuLIDeP) for determining the location of recycling centres in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 223, 508–521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.104>
28. Okorskyi, V. (2019). Social and environmental problems with the formation and accumulation of household waste and the role of local self-government in their resolution. *Economy and Society*, 20. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2019-20-66>
29. Xifeng, T., Ji, Z., & Peng, X. (2013). A multi-objective optimization model for sustainable logistics facility location. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 22, 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.03.003>
-