



Оптимальная организация участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами: градоморфологический и пространственный анализ, многофакторная оценка

Е.В. Балабенко

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка, Донецкая Народная Республика, Россия

Аннотация. Предлагается обобщенный подход к организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами. Выбор участка для формирования объекта обращения с твердыми коммунальными отходами подразумевает междисциплинарное исследование и проектирование планируемой к развитию территории. Основные методы исследования, используемые в работе: градоморфологический анализ для подбора возможных решений застройки, пространственный анализ для комбинаторности подходов и приемов в географическом контексте, метод моделирования для имитации связи функциональных подсистем, факторно-результативный метод при оценке системного подхода определения оптимальности организации территории обращения с твердыми коммунальными отходами, метод анализа иерархий для построения иерархической структуры критериев и факторов, влияющих на принятия решений. В работе выделены потребные отраслевые регламенты в области требований охраны окружающей среды, градостроительства, строительства в части определения законного статуса территорий для расположения объекта обращения с твердыми коммунальными отходами. При изучении регламентов установлены четыре группы факторов (транспортная доступность, экологическое качество, инфраструктурное обеспечение, градостроительная привлекательность), влияющих на проектирование и строительство объекта обращения с твердыми коммунальными отходами. Представлены принципы оценки каждой из групп факторов. Выведен расчет комплексного индекса ценности территории. На базе метода анализа иерархий приведена модель многофакторного анализа организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, полигон, градоморфологический анализ, пространственное зондирование, многофакторная оценка, схема, организация участка

Для цитирования: Балабенко Е.В. Оптимальная организация участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами: градоморфологический и пространственный анализ, многофакторная оценка // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 347–358. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-347-358>. EDN: CGXVOI.

Благодарности: Статья подготовлена в рамках выполнения научных исследований по государственному заданию на тему «Комплексное обоснование размещения полигонов для хранения и развитие системы переработки твердых коммунальных отходов в Донецкой Народной Республике» (финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказания государственных услуг (выполнение работ) № 075-03-2023-704/1 от 24.05.2023 г.).

Original article

Optimal organization of sites for solid municipal waste management: urban morphology and spatial analysis, multi-factor evaluation

Elena V. Balabenko

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, Donetsk People's Republic, Russia

© Балабенко Е.В., 2025

Том 15 № 2 2025
с. 347–358
Vol. 15 No. 2 2025
pp. 347–358

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость
Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate

ISSN 2227-2917
(print)
ISSN 2500-154X
(online)

347

Abstract. A generalized approach to organization of sites for solid municipal waste management is proposed. The choice of such a site requires an interdisciplinary research approach to the design of the area to be developed. Our main research methods included: an analysis of urban morphology for finding solutions for real estate development; a spatial analysis for combinability of approaches and techniques in terms of geography; a simulation method for simulating connections between functional subsystems; a factor productivity analysis when evaluating a systematic approach to defining an optimal organization of an area for solid municipal waste management; a hierarchy analysis for constructing a hierarchical structure of criteria and factors influencing decision-making. This work highlighted required branch regulations on requirements for environment preservation, urban development, and determination of the legal status of areas for constructing solid municipal waste management facilities. When studying these regulations, four groups of factors influencing the design and construction of solid municipal waste management facility were determined, i.e., transport accessibility, ecological quality, infrastructure provision, and urban attractiveness. Principles of evaluating each of this group were presented. The integrated index of the area value was calculated. Based on the hierarchy analysis, a model of multi-factor analysis of organization of sites for solid municipal waste management is presented.

Keywords: municipal solid waste, landfill, gradomorphological analysis, spatial sensing, multifactorial assessment, scheme, site organization

For citation: Balabenko E.V. Optimal organization of sites for solid municipal waste management: urban morphology and spatial analysis, multi-factor evaluation. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):347-358. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-347-358>. EDN: CGXVOI.

Acknowledgements: The article was prepared as part of scientific research on the state assignment on the topic "Comprehensive justification for the placement of landfills for storage and development of the municipal solid waste processing system in the Donetsk People's Republic" (financial support for the fulfillment of the state assignment for the provision of public services (completion of works) № 075-03-2023-704/1 dated 24.05.2023).

ВВЕДЕНИЕ

Управление твердыми коммунальными отходами (ТКО) можно назвать одной из наиболее часто упоминаемых областей оптимизации.

Это связано с тем, что оптимизация управления ТКО является наиболее общей в современных исследовательских приложениях, поскольку направление становится все более сложным и востребованным из-за быстрого роста городского населения, особенно в развивающихся странах. В результате жизнедеятельности населения, ведения хозяйственной деятельности учреждений, организаций и предприятий образуются многотоннажные отходы различного класса опасности, оказывающие негативное влияние на окружающую среду. Учитывая рост промышленности, отсутствие достаточного количества территорий для захоронения, увеличение транспортных расходов и затрат на рабочую силу, диверсификацию загрязнения окружающей среды и т. д., применение механизма оптимизации управления ТКО стало актуальным среди ученых и политических деятелей [1–4].

Уделяется внимание предотвращению и рециркуляции, возникающим проблемам при строительстве объектов обращения с ТКО, их воздействию на окружающую среду [5–9].

В части организации участка учеными в большей мере рассматриваются текущие места размещения или порядок эксплуатации действующих объектов отходов [10–12].

В меньшей степени – проблемные вопросы выбора места размещения объектов обращения с отходами, но при этом учеными отмечается потребность в обосновании решений организации участков объектов обращения с ТКО [13–16].

Действующая на территории России правовая база касательно планирования инфраструктуры обращения с отходами не определяет четкий состав анализируемых факторов, методик расчетов и принятия многокритериальных решений с учетом различных видов воздействий и последствий [17].

В этой связи цель исследования заключалась в изучении и систематизации норм и правил градоморфологического и пространственного анализа, определении многофакторной

оценки оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО.

Достижение поставленной цели обусловило необходимость решения следующих задач: руководствуясь принятыми в России нормами и правилами организации участка обращения с ТКО систематизировать и обобщить их действие по проведению градоморфологического и пространственного анализа, разработать модель многофакторного анализа организации участка объекта обращения с ТКО.

МЕТОДЫ

Существующее положение оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО требует градоморфологического и пространственного анализа территории. Выделение особенностей их размещения требует использования норм и правил при проектировании объекта обращения с ТКО.

В соответствии с целью исследования особенностей организации территории обращения с ТКО, в работе использованы основные методы выбора земельного участка:

1. Метод градоморфологического анализа – комбинаторность балансовых характеристик территории, дефиниция соответствующей градостроительному потенциалу формы функционально-планировочной организации территории.

2. Пространственный анализ – конгломерат подходов и приемов, объединяющий понятия «местоположение», «площадь», «расстояние» и «взаимодействие» в географической концепции их закономерностей или особенностей в результате процессов, действующих в пространстве.

3. Метод структурно-логического моделирования – обоснование воздействия функциональных подсистем друг на друга (население, обслуживание, промышленность, транспорт).

4. Факторно-результативный метод – при оценке системного подхода определения эффективности оптимальных характеристик организации территории обращения с ТКО.

5. Метод анализа иерархий – для построения иерархической структуры, которая включает цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы, влияющие на принятия решений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение зарубежных подходов к выбору и организации участка объекта обращения с ТКО

и опыта экономики замкнутого цикла России, позволило разработать алгоритм из последовательных этапов принятия управленческих решений, в составе которых:

- камеральный анализ;
- градоморфологическое и пространственное зондирование;
- многофакторная оценка.

Критерии взаимосвязи приведенных характеристик в процессе формирования этапов реализации оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО на основе использования градоморфологического и пространственного анализа и многофакторной оценки представлены на рис 1.

Все этапы оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО имеют свою специфику и требуют активных действий со стороны заинтересованных сторон, что в конечном итоге приведет к возможности выполнения проекта.

Камеральный анализ

Задачами данного этапа являются:

1. Изучение текущего состояния действующих объектов обращения с ТКО по результатам проведения инструментальных измерений с использованием технических систем и устройств с измерительными функциями, свидетельствующими о соблюдении нормативов качества окружающей среды, установленных для химических, физических и биологических показателей состояния окружающей среды, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций химических веществ. Инструментарием выступает отчет о результатах мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду.

2. Проведение комплексного анализа существующего положения численности населения выделенной территории в разрезе возрастных группы, миграционные процессы, специфические особенности расселения (плотность населения, степень ее урбанизации). Определение законного статуса территории объекта обращения с ТКО установлено в правилах землепользования и застройки территорий¹.

3. Выполнение анализа количественных показателей образующихся отходов в разрезе источника образования по категории потребителей и их объемов.

¹Градостроительный кодекс Российской Федерации: Кодекс РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ (принят Государственной Думой 22 декабря 2004 г.).

4. Определение прогнозного значения роста образующихся ТКО с учетом индекса изменения предположительной численности населения.

Данный показатель свидетельствует о воздействии изменения населения на образование ТКО, определяя потребность в организации объекта обращения с ТКО. Моделирование прогнозных значений обуславливает проведение градоморфологического и пространственного анализа выбора земельного участка с учетом имитации территориального размещения необходимых основных функциональных элементов (транспортно-логистической, складской, перерабатывающей и т. д.) [18].

Градоморфологическое и пространственное зондирование

На этапе определяются:

1. Регламенты размещения объектов обращения с ТКО определяют особенности при проектировании и строительстве. Требования к территории под полигон ТКО обозначены специальными правилами – СП 2.1.1038-01², СП 320.1325800.2017³, СП 11-102-97⁴, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03⁵ (табл. 1). Требования к размерам земельных участков и санитарно-защитной зоне (СЗЗ) для предприятий и сооружений по транспортировке, обезвреживанию и переработке ТКО содержатся в СП 42.13330.2016⁶ (табл. 2).

Таблица 1. Регламенты организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами

Table 1. Regulations for organizing the site of the municipal solid waste management facility

Краткое описание	Норма
Размещение	За пределами городов и других населенных пунктов
Минимальное расстояние от полигона до селитебной зоны	500 м
Полигон должен располагаться на местности	С основанием из глины, тяжелых суглинков
Площадь полигона	от 30 до 300 га
Высота укладки отходов	≤ 60 м от основания
Не запрещается захоронение отходов	С III по V класс опасности

Таблица 2. Регламенты минимально доступных размеров земельных участков для размещения предприятий и сооружений по утилизации и переработке твердых коммунальных отходов

Table 2. Regulations on the minimum available sizes of land plots for the location of enterprises and facilities for the disposal and processing of municipal solid waste

Предприятия и сооружения		Размеры земельных участков на 1000 т ТКО в год, га	Размеры СЗЗ, м
Предприятия по промышленной переработке бытовых отходов мощностью тыс. т в год	до 100	0,05	300
	100 и более	0,05	500
Склады свежего компоста		0,04	500
Полигоны (кроме полигонов токсичных промышленных отходов)		0,02–0,05	500
Поля компостирования		0,5–1,0	500
Мусороперегрузочные станции		0,04	100
Поля складирования и захоронения обезвреженных остатков (по сухому веществу)		0,3	1000

²СП 2.1.1038-01 Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов: утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2001 № 16.

³СП 320.1325800.2017 Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация: утверждены приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 17 ноября 2017 № 1555/пр.

⁴СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства: утверждены приказом Государственного комитета РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу от 10 июля 1997 № 9-1-1/69.

⁵СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов: утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25.09.2007 № 74.

⁶СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: утверждены Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2016 г. № 1034/пр.

ЭТАПЫ	МЕРОПРИЯТИЯ	ИСТОЧНИК	РЕЗУЛЬТАТ
I. КАМЕРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	1. Изучение текущего состояния действующих объектов обращения с ТКО	Отчет о результатах мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду	Определение потребности в размещении объектов обращения с ТКО
	2. Анализ населения и расселения	Статистическая отчетность Документы территориального планирования Прогнозные показатели развития	
	3. Анализ количественных показателей образующихся отходов	Источники образования по категориям потребителей Количество образованных отходов (масса, объем) Форма 2-ТП (отходы) Сводная отчетность	
	4. Прогнозное количество ежегодного роста объемов ТКО	Индекс изменения предположительной численности населения Рост объемов производства	
II. ГРАДОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ	1. Определение предельных градоморфологических параметров	Регламенты размещения объектов обращения с ТКО: - требования охраны окружающей среды; - градостроительные правила; - строительные нормы и правила.	Схема территорий пригодных для организации объекта обращения с ТКО
	2. Проведение пространственного зондирования	сервис Google Планета Земля сервис https://ru-ru.topographic-map.com	
	3. Выделение территорий для организации участка (многовариантность с учетом комплексного управления)	Подготовка ГИС-слов с учетом буферных зон: - землепользование; - транспортный каркас; - гидрография; - рельеф.	
III. МНОГОФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА	1. Выделение оценочных факторов	Группы факторов оценки территории: - оценка транспортной доступности (SI); - оценка экологического качества (E); - оценка инфраструктурного обеспечения (UI); - оценка градостроительной привлекательности (C).	Организация участка объекта обращения с ТКО
	2. Расчет комплексного индекса ценности территории	Определение весовых коэффициентов по результатам экспертной оценки	
	3. Выполнение аналитической оценки	Сравнение вариантов территорий Выбор оптимальной территории Принятие решения	

Рис. 1. Этапы реализации оптимальной организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами
Fig. 1. Stages of implementation of the optimal organization of the site of the municipal solid waste management facility

Для исследования возможных неблагоприятных влияний при обосновании выбора земельного участка объекта обращения с ТКО проводится оценка воздействия планируемого объекта на окружающую среду^{7,8,9}.

2. Проведение пространственного зондирования на основе карт сервиса Google Планета Земля¹⁰ и топографических карт¹¹, что позволяет определить территориальное расположение действующего объекта размещения отходов (ОРО) относительно других объектов (табл. 3), измерить высоту укладки отходов и уклон прилегающей к ОРО поверхности, ориентировочный объем накопленных отходов,

определить потенциальные под развитие территории.

Пространственное зондирование служит основой для формирования ГИС-слоев [19].

3. С учетом критериев первичного анализа выделяются буферные зоны, для исключения их и дальнейшего анализа (табл. 3).

Результаты обработки снимков представляются в тематических слоях геоинформационной системы с необходимой атрибутивной информацией.

4. Формирование схемы в ГИС-слоях (табл. 4).

Таблица 3. Территории, на которых введены запреты или ограничения на размещение отходов¹²
Table 3. Territories where bans or restrictions on waste disposal have been introduced¹²

Наименование территории	Хранение	Захоронение	Примечание
Территории, прилегающие к городским и сельским поселениям	запрещено	запрещено	На расстоянии не менее размера СЗЗ объекта
В границах населенных пунктов	—	запрещено	—
Водоохранные зоны	запрещено	запрещено	—
Лесопарковые курортные лечебно-оздоровительные рекреационные зоны	запрещено	запрещено	—
Водосборные площади подземных водных объектов, используемых в качестве источников водоснабжения	запрещено	запрещено	В пределах границы месторождения подземных вод
Водосборные площади подземных водных объектов и места залегания подземных вод, резервирование которых осуществлено в качестве источников питьевого водоснабжения	запрещено	запрещено	В пределах границы площадей залегания месторождения подземных вод
Водосборные площади подземных водных объектов, используемые в бальнеологических целях	—	запрещено	В пределах границы месторождения подземных вод
Водосборные площади подземных водных объектов, используемых для извлечения ценных минеральных ресурсов	—	запрещено	В пределах границы месторождения подземных вод
Первый и второй пояс зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения	запрещено	запрещено	—
Пути миграции животных, вблизи нерестилищ	запрещено	запрещено	—

⁷Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (принят Государственной Думой 20 декабря 2001 года).

⁸Об экологической экспертизе: Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ (принят Государственной Думой 19 июля 1995 года).

⁹Об экологической экспертизе: Закон Донецкой Народной Республики от 16.08.2021 г. № 312-ІІНС (принят Постановлением Народного Совета 06 августа 2021 года).

¹⁰Сервис Google Планета Земля. Режим доступа: <https://earth.google.com> (дата обращения: 10.09.2025).

¹¹Сервис Топографические карты. Режим доступа: <https://ru-ru.topographic-map.com> (дата обращения: 10.09.2025).

¹²Проект Приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ «Об установлении требований к объектам размещения отходов (за исключением твердых бытовых отходов)»

Окончание табл. 3

Места залегания полезных ископаемых	–	запрещено	В случаях, если возникает угроза загрязнения мест залегания полезных ископаемых
Места ведения горных работ	–	запрещено	В случаях, если возникает угроза безопасности ведения горных работ
Иные места, в которых может быть создана опасность для окружающей среды, естественных экологических систем и здоровья человека	–	запрещено	–
Охранные зоны объектов по производству электрической энергии	–	запрещено	–
Полосы воздушных подходов на удалении до 30 км от контрольной точки аэродрома	запрещено	запрещено	Для объектов, способствующих привлечению и массовому скоплению птиц
Вне полос воздушных подходов - до 15 км от контрольной точки аэродрома	запрещено	запрещено	Для объектов, способствующих привлечению и массовому скоплению птиц
Внутренние морские воды и территориальное море	–	запрещено	–
Территории с выходом закарстованных и сильнотрещиноватых пород	запрещено	–	Для шламонакопителей производств свинецсодержащих, селенсодержащих и марганецсодержащих сталей

Таблица 4. ГИС-слои для пространственного анализа

Table 4. GIS layers for spatial analysis

Слой схемы	Потребная информация	Задачи слоя схемы
Действующие полигоны ТКО	Публичная кадастровая карта, сервис Google Планета Земля, сервис OpenStreetMap	Существующее положение
Землепользование	Публичная кадастровая карта, планируемая площадь полигона, согласование (межевание) границ, перспективный план расширения границ	Исключение буферных зон, предварительный выбор участка
Транспортный каркас	Публичная кадастровая карта, сервис Google Планета Земля, сервис OpenStreetMap	Существующее положение, проектные решения
Гидрография		
Рельеф	Публичная кадастровая карта, сервис Google Планета Земля, The National Geologic Map Database и топографические карты	

В итоге зондирования пространства формируется послойная схема территорий, подходящих для организации объекта обращения с ТКО с отображением зон пригодных, потенциально пригодных и непригодных для организации участка.

Многофакторная оценка

1. При изучении регламентов размещения объектов обращения с ТКО установлены четыре группы факторов, влияющих на проектирование и строительство:

– транспортная доступность;

– экологическое качество;

– инфраструктурное обеспечение;

– градостроительная привлекательность.

Принципиальный подход оценки группы факторов, следующий:

1. Оценка транспортной доступности объекта (S_i)

Градостроительная ценность территории определяется удобством расположения по отношению к населенным пунктам. Это обуславливается двумя факторами: затраты времени и ресурсов на транспортировку отходов.

Удобство расположения элементов транспортной инфраструктуры в отношении населенных пунктов и территорий развития определяется следующей формулой:

$$S_i = A \cdot D_{ij}, \quad (1)$$

где A – мощность (вместимость, или привлекательность) объектов или их группы, D_{ij} – оценка «удобства» связи между населенными пунктами i и j , величина которой определяется с помощью гравитационной модели хозяйственно-бытовых связей и имитирует массовый спрос на объект и функции, которые расположены в нем.

2. Оценка экологического качества объекта (экологического состояния) (E_i)

Экологическое состояние территории объекта обращения с ТКО может быть выражено агрегированным интегральным индексом действия различных экологических факторов на качество территории. Значения факторов целесообразно принимать по объектам-аналогам.

Атмосферное загрязнение

Атмосфера территории объекта обращения с ТКО имеет достаточно высокий уровень загрязнения.

По объектам аналогам можно определить среднегодовые концентрации загрязняющих веществ (ПДК – предельно-допустимая концентрация) в приземном слое воздуха (диоксида азота, оксид углерода, диоксида серы, сероводород, пыль и др.).

Средневзвешенная концентрация суммы вредных выбросов веществ в атмосферу определяется формуле:

$$Y_i = \frac{S \cdot n}{100}, \quad (2)$$

где Y_i – средневзвешенный показатель концентрации суммы вредных выбросов в атмосферу, S – площадь территории, n – соответствующие значения ПДК.

Загрязнение почв

Расчеты негативного влияния загрязнения почв (L_i) на экологическое состояние территории предлагается проводить по аналогии с расчетом Y_i (2).

Акустическое загрязнение

Источниками шума при эксплуатации полигонов являются мусоросжигательные объекты, а также транспортировка отходов.

С учетом интенсивности движения, уровни акустического загрязнения с превышением 65 дБ отмечаются в интервале от 100 до 150 м от линии дороги.

Этот фактор является постоянным. Принцип расчета средневзвешенного показателя и

индекса X_i (акустическое загрязнение) аналогичен приведенному выше расчету для Y_i и L_i (2).

Санитарно-защитные зоны

Базовым лимитирующим фактором территориального развития полигона является СЗЗ (размер зоны от 300 до 1000 м). Расчеты индекса негативного влияния СЗЗ (Q_i) на экологическое состояние территории предлагается проводить по аналогии с расчетами Y_i (2).

Комплексная оценка экологического качества территории

Расчет комплексной оценки экологического качества территории (E_i) выполняется по формуле:

$$E_i = Y_i + X_i + L_i + Q_i, \quad (3)$$

3. Оценка инфраструктурного обеспечения территории (A_i)

Согласно регламентам размещения полигоны оснащают:

- электроснабжением;
- дренажной системой (перехватывающие обводные каналы);
- очистными сооружениями.

Оценка оснащенности описывается с помощью модели потенциалов С. Стюарта, компонентами которой выступают мощность или емкость источника инженерного обеспечения и расстояние до него [20]:

$$A_i = Z \cdot D_{ij}, \quad (4)$$

где Z – мощность (емкость) объектов инженерного обеспечения, D_{ij} – оценка «удобства» связи j -ой единицы с объектом инженерного обеспечения.

4. Оценка градостроительной привлекательности территории (C_i)

Важным фактором ценности территории является ее рентоформирующая привлекательность.

В расчете градостроительной привлекательности территории C_i предлагается использовать метод экспертных оценок, обработку данных выполнять с учетом разницы в площадях земельно-оценочных единиц и удельного веса рентоформирующих факторов в формировании совокупного уровня ценности земель. Формула вычисления следующая:

$$C_i = \frac{O_i}{\sum O_i \cdot S_i / \sum S_i}, \quad (5)$$

где O_i – средняя балльная оценка фактора привлекательности по i -той территории, S_i – площадь i -ой земельно-оценочной единицы.

5. Расчет комплексного индекса ценности территории (I_i)

Расчет комплексного индекса ценности территории осуществляется путем взвешивания

отдельных групп факторов S_i , E_i , U_i , C_i с использованием многопродуктивной модели типа функции Кобба-Дугласа [21]:

$$I_i = S_i \cdot \alpha + E_i \cdot \beta + A_i \cdot \chi + C_i \cdot \delta, \quad (6)$$

где α , β , χ , δ – удельный вес каждой из групп факторов в формировании степени рентной ценности рассматриваемой территории, сумма которых должна быть равна 1,0.

Удельный вес определяется экспертным путем.

6. Выполнение аналитической оценки

Для каждого планируемого типа объекта обращения с ТБО (участок хранения, участок сортировки, измельчения, брикетирования и

т.д., участок компостирования, участок захоронения, участок термического уничтожения) разрабатывается свой набор факторов. Многофакторный анализ по выбранным вариантам территорий размещения объектов ТКО проводится путем моделирования задачи принятия решения по методу анализа иерархий (МАИ) Томаса Л. Саати – решение проблемы путем поиска наилучшего варианта [22]. МАИ определяет структуру принятия сложных решений в виде иерархии, сравнивает и выполняет количественную оценку альтернативных вариантов решения. Приспособленная схема модели многофакторного анализа приведена на рис. 2.

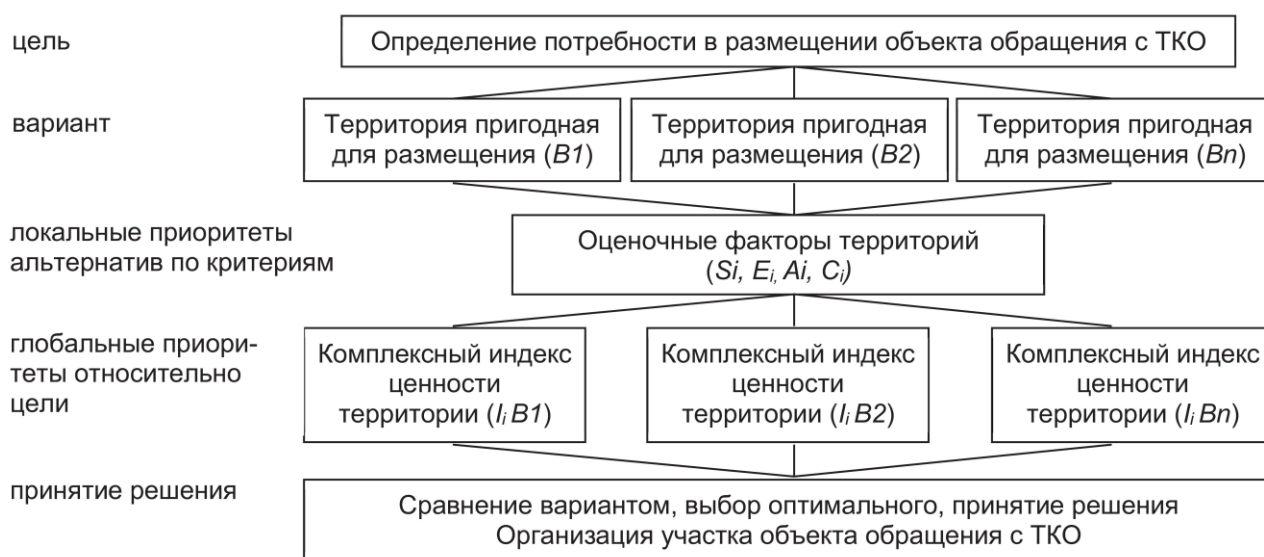


Рис. 2. Схема модели многофакторного анализа организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами
Fig. 2. Scheme of the model for multifactor analysis of the organization of the site of the municipal solid waste management facility

Результатам моделирования анализа иерархии является нахождение оптимального решения организации участка объекта обращения с ТКО, учитывая интересы всех участников с учетом экологических требований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный в статье алгоритм обосновывает требования для оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО путем градоморфологического и пространственного изучения территории, многофакторной ее оценке.

С помощью комплексной методологии, включающей многоуровневый анализ с использованием систем классификации уровней изучения, выявляются территории с минимальным ущербом для окружающей среды и оптимальным эффектом их использования.

Алгоритм пространственного анализа, описанный в работе, представляет систему этапов и классификацию требований, создает основу для дальнейшего изучения концепции развития участка объекта обращения с ТКО. Исследование способствует созданию в будущем информационной базы данных, объединяющей решения в области землепользования, транспортной инфраструктуры, гидрографии, очертания поверхности (территории), выступает инструментарием при разработке схем обращения с отходами.

Критически важной задачей предложенного в работе алгоритма является возможность его апробации, так как именно применение на практике разработанной модели позволяет определить правильность выбранных этапов и критериев изучения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Karunarathne A. Optimal and Safe Site Selection for The Municipal Solid Waste (MSW) Management: Using GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) // *Journal of Geography*. 2017. Vol. 63-64. P. 27–48.
2. Gunaruwan T.L., Gunasekara W.N. Management of Municipal Solid Waste in Sri Lanka: A Comparative Appraisal of the Economics of Composting // *NSBM Journal of Management*. 2016. Vol. 2. Iss. 1. P. 27–45. <https://doi.org/10.4038/nsbmjm.v2i1.19>.
3. Александриди О.А. Проблема отходов в России: статистика, управление и утилизация // *Управление техносферой*. 2020. Т. 3. № 2. С. 281–286. <https://doi.org/10.34828/UdSU.2020.28.81.001>. EDN: QZGOMO.
4. Цховребов Э.С. Снижение рисков и угроз техногенной опасности, вызванной образованием опасных отходов при демонтаже объектов недвижимости // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2024. № 1 (69). С. 146–156. <https://doi.org/10.61260/1998-8990-2024-1-146-156>. EDN: OKFCZF.
5. Jun Dong, Yuanjun Tang, Ange Nzihou, Yong Chi, Elsa Weiss-Hortala, Mingjiang Ni et al. Comparison of Waste-To-Energy Technologies of Gasification and Incineration Using Life Cycle Assessment: Case Studies in Finland, France and China // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 203. P. 287–300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.139>.
6. Khan I., Kabir Z. Waste-To-Energy Generation Technologies and The Developing Economies: A Multi-Criteria Analysis for Sustainability Assessment // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 150. P. 320–333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.132>.
7. Mayer F., Bhandari R., Gäth S. Critical Review On Life Cycle Assessment of Conventional and Innovative Waste-To-Energy Technologies // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 672. P. 708–721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.449>.
8. Kirillova A., Zotov V., Musinova N. Engineering Solutions in The Construction of Production Facilities for Waste Processing // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 193. P. 1–5. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201819302010>.
9. Голубкова У.С., Кнауб Р.В. Эколого-социальные проблемы строительства полигонов твердых коммунальных отходов // *Природопользование и охрана природы: охрана памятников природы, биологического и ландшафтного разнообразия Томского Приобья и других регионов России. Материалы IX Всеросс. с междунар. участием науч.-практ. конф. (г. Томск, 21–23 апреля 2020 г.)*. Томск, 2020. С. 285–289. <https://doi.org/10.17223/978-5-94621-954-9-2020-68>. EDN: TEPFZF.
10. Ниязгулов У.Д., Гебарт А.А., Крестинков В.Г., Ниязгулов Ф.Х. Мониторинг состояния объектов размещения отходов с использованием данных дистанционного зондирования // *Геодезия и картография*. 2018. Т. 79. № 11. С. 47–53. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2018-941-11-47-53>. EDN: VOELOW.
11. Лукашов С.В., Гамазин В.П., Хохлова М.В. Многоаспектность и способы решения проблемы обезвреживания твердых коммунальных отходов // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24. № 7. С. 18–23. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-7-18-23>. EDN: XBLTLN.
12. Павленко В.И., Куценко С.Ю. Актуальные задачи сохранения качества природной среды селитебных территорий АЗРФ // *Вестник Евразийской науки*. 2020. Т. 12. № 5. С. 1–10. EDN: UKCNDL.
13. Атерекова А.В., Сиваев С.Б. Выбор участков под объекты обращения с твердыми коммунальными отходами на основе пространственного анализа и многофакторной оценки // *Городские исследования и практики*. 2016. Т. 1. № 1. С. 70–85. EDN: ZMVZBP.
14. Великанова Т.В. Методы и модели размещения объектов обращения с отходами в регионе // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 11-6. С. 1289–1293. EDN: RUDECX.
15. Щербина Е.В. Методология анализа жизненного цикла при проектировании полигонов твердых бытовых отходов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2005. № 11 (82). С. 69–71.
16. Рогачев Н.С., Гильмундинов В.М. Проблемы учета экологической и экономической эффективности при моделировании сферы обращения с твердыми коммунальными отходами // *Мир экономики и управления*. 2021. Т. 21. № 1. С. 72–85. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2021-21-1-72-85>. EDN: DFNSMI.
17. Орцханов Т.А. Градостроительные аспекты, направленные на обеспечение экологической безопасности территорий размещения полигонов ТБО // *Academia. Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 150–153. EDN: NTLBKF.
18. Балабенко Е.В., Богак Л.Н., Оберемок Е.Н., Черныш М.А. Градостроительные аспекты выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2023. Т. 13. № 4. С. 726–738. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-726-738>. EDN: RHBZTB.
19. Мушанов В.Ф., Балабенко Е.В., Искрин В.А. Распознавание и оценка состояния территорий размещения отходов методом дешифрирования космоснимков (на примере города Макеевки) // *Вестник*

Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2024. № 1. С. 53–68. <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2024.01.04>. EDN: HTJJJC.

20. Stewart J.Q. Demographic Gravitation: Evidence and Application // *Sociometry*. Vol. 11. Iss. 1-2. P. 31–58. <https://doi.org/10.2307/2785468>.

21. Суворов Н.В., Ахунов Р.Р., Губарев Р.В., Дзюба Е.И., Файзуллин Ф.С. Применение производственной функции Кобба-Дугласа для анализа промышленного комплекса региона // *Экономика региона*. 2020. Т. 16. № 1. С. 187–200. <https://doi.org/10.17059/2020-1-14>. EDN: ZNLTJO.

22. Saaty R.W. The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used // *Mathematical Modelling*. 1987. Vol. 9. Iss. 3-5. P. 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).

REFERENCES

1. Karunaratne A. Optimal and Safe Site Selection for The Municipal Solid Waste (MSW) Management: Using GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Geography*. 2017;63-64:27-48.
2. Gunaruwan T.L., Gunasekara W.N. Management of Municipal Solid Waste in Sri Lanka: A Comparative Appraisal of the Economics of Composting. *NSBM Journal of Management*. 2016;2(1):27-45. <https://doi.org/10.4038/nsbmjm.v2i1.19>.
3. Alexandridi O.A. The Waste Problem in Russia: Statistics, Management and Disposal. *Management of the Technosphere*. 2020;3(2):281-286. (In Russ.). <https://doi.org/10.34828/UdSU.2020.28.81.001>. EDN: QZGOMO.
4. Tshovrebov E.S. Reducing The Risks and Threats of Man-Made Hazards Caused by The Formation of Hazardous Waste During the Dismantling of Real Estate. *Problems of Risk Management in The Technosphere*. 2024;1(69):146-156. (In Russ.). <https://doi.org/10.61260/1998-8990-2024-1-146-156>. EDN: OKFCZF.
5. Jun Dong, Yuanjun Tang, Ange Nzihou, Yong Chi, Elsa Weiss-Hortala, Mingjiang Ni et al. Comparison of Waste-To-Energy Technologies of Gasification and Incineration Using Life Cycle Assessment: Case Studies in Finland, France and China. *Journal of Cleaner Production*. 2018;203:287-300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.139>.
6. Khan I., Kabir Z. Waste-To-Energy Generation Technologies and The Developing Economies: A Multi-Criteria Analysis for Sustainability Assessment. *Renewable Energy*. 2020;150:320-333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.132>.
7. Mayer F., Bhandari R., Gäth S. Critical Review On Life Cycle Assessment of Conventional and Innovative Waste-To-Energy Technologies. *Science of The Total Environment*. 2019;672:708-721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.449>.
8. Kirillova A., Zotov V., Musinova N. Engineering Solutions in The Construction of Production Facilities for Waste Processing. *MATEC Web of Conferences*. 2018;193:1-5. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201819302010>.
9. Golubkova U.S., Knaub R.V. Ecological and Social Problems of Construction Solid Municipal Waste Landfills. In: *Prirodopol'zovanie i okhrana prirody: okhrana pamyatnikov prirody, biologicheskogo i landshaftnogo raznoobraziya Tomskogo Priob'ya i drugikh regionov Rossii. Materialy IX Vserossiiskoi s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoi konferentsii = Nature Management and Conservation: Protection of Natural Monuments, Biological and Landscape Diversity of the Tomsk Ob Region and Other Regions of Russia. Materials of The IX All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. 21–23 April 2020, Tomsk. Tomsk; 2020. p. 285–289. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/978-5-94621-954-9-2020-68>. EDN: TEPFZF.
10. Niyazgulov U.D., Gebgart A.A., Krestinkov V.G., Niyazgulov F.K. Monitoring The State of Waste Disposal Facilities Using Remote Sensing Data. *Geodesy and Cartography*. 2018;79(11):47-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2018-941-11-47-53>. EDN: VOELow.
11. Lukashov S.V., Gamazin V.P., Khokhlova M.V. Multidimensionality and Methods for Solving the Problem of Municipal Solid Waste Utilization. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;24(7):18-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-7-18-23>. EDN: XBLTLN.
12. Pavlenko V.I., Kutsenko S.Yu. Actual Goals of Conservation the Quality of the Natural Environment of the Residential Areas of the Russian Arctic. *The Eurasian Scientific Journal*. 2020;12(5):1-10. (In Russ.). EDN: UKCNDL.
13. Aterekova A.V., Sivaev S.B. Selection of Sites for Waste Management Facilities On the Basis of Spatial Analysis. *Urban Studies and Practices*. 2016;1(1):70-85. (In Russ.). EDN: ZMVZBP.
14. Velikanova T.V. Methods and Models of Accommodation of Objects of Waste Management in The Region. *Fundamental Research*. 2013;11-6:1289-1293. (In Russ.). EDN: RUDECX.
15. Shcherbina E.V. Life Cycle Analysis Methodology for The Design of Solid Waste Landfills. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2005;11(82):69-71. (In Russ.).

16. Rogachev N.S., Gilmundinov V.M. Problems of Accounting the Environmental and Economic Efficiency When Modeling the Sphere of Municipal Solid Waste Management. *World of Economics and Management*. 2021;21(1):72-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2021-21-1-72-85>. EDN: DFNSMI.
17. Ortskanov T.A. Town-Planning and Environmental Safety of Polygons SHW Territory. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2010;3:150-153. (In Russ.). EDN: NTLBKF.
18. Balabenko E.V., Bogak L.N., Oberemok E.N., Chernysh M.A. Urban Aspects of Selecting Lands for Municipal Solid Waste Disposal Facilities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(4):726-738. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-726-738>. EDN: RHBZTB.
19. Mushchanov V.F., Balabenko E.V., Iskrin V.A. Recognition and Assessment of the State of Waste Disposal Areas by Decoding Satellite Images (Using The Example of the City of Makeyevka). *PNRPU Bulletin. Applied Ecology. Urban Development*. 2024;1:53-68. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2024.01.04>. EDN: HTJJJC.
20. Stewart J.Q. Demographic Gravitation: Evidence and Application. *Sociometry*. 1948;11(1-2):31-58. <https://doi.org/10.2307/2785468>.
21. Suvorov N.V., Akhunov R.R., Gubarev R.V., Dzyuba E.I., Fayzullin F.S. Applying The Cobb-Douglas Production Function for Analysing the Region's Industry. *Economy of Regions*. 2020;16(1):187-200. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/2020-1-14>. EDN: ZNLTJO.
22. Saaty R.W. The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used. *Mathematical Modelling*. 1987;9(3-5):161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).

Информация об авторе

Балабенко Елена Владимировна,
д.э.н., доцент, профессор кафедры
менеджмента строительных организаций,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры,
286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2,
Донецкая Народная Республика,
Россия,
✉e-mail: balabenko_e@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6024-9452>
Author ID: 586094

Information about the author

Elena V. Balabenko,
Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Professor of the Department Construction
Organization Management,
Donbas National Academy of Civil Engineering
and Architecture,
2 Derzhavina St., Makeevka 286123,
Donetsk People's Republic, Russia,
✉e-mail: balabenko_e@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6024-9452>
Author ID: 586094

Вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу,
на основании полученных результатов провел
обобщение, подготовил рукопись к печати.

Автор имеет на статью исключительные
авторские права и несет ответственность
за плагиат.

Contribution of the author

The author performed the research, made
generalization based on the results obtained
and prepared the copyright for publication.

Author has exclusive author's right and bear
responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный
вариант рукописи.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests.

The final manuscript has been read and approved
by the author

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 14.01.2025.
Одобрена после рецензирования 30.01.2025.
Принята к публикации 03.02.2025.

Information about the article

The article was submitted 14.01.2025.
Approved after reviewing 30.01.2025.
Accepted for publication 03.02.2025.