

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 3 / 2023, Vol. 15, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/81NZVN323.pdf>

DOI: 10.15862/81NZVN323 (<https://doi.org/10.15862/81NZVN323>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Голубев, Д. А. Применение географической информационной системы и метода анализа иерархий для оценки мест строительства полигонов захоронения коммунальных отходов в Хабаровском крае / Д. А. Голубев, И. В. Гладун, И. Н. Егоршин // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/81NZVN323.pdf> DOI: 10.15862/81NZVN323

**For citation:**

Golubev D.A., Gladun I.V., Egorshin I.N. Application of a geographic information system and the method of analysis of hierarchies to assess construction sites for landfills for municipal waste in the Khabarovsk Territory. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(3): 81NZVN323. Available at: <https://esj.today/PDF/81NZVN323.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/81NZVN323

*Авторы благодарят специалистов комитета по охране окружающей среды Министерства природных ресурсов Хабаровского края за помощь в проведении настоящего исследования*

**УДК 528.9; 502.3**

**Голубев Дмитрий Андреевич**

ФБУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Хабаровск, Россия  
Ведущий научный сотрудник отдела «Охраны, защиты леса и лесной экологии»

Кандидат технических наук

E-mail: [poet.golubev@mail.ru](mailto:poet.golubev@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9416-2913>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=792537](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=792537)

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/D-2710-2018>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Dmitry-Golubev-5>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56039568200>

**Гладун Игорь Владимирович**

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия  
Доцент кафедры «Экология, ресурсопользование и безопасность жизнедеятельности»

Кандидат биологических наук

E-mail: [006209@pnu.edu.ru](mailto:006209@pnu.edu.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=91054](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=91054)

**Егоршин Иван Николаевич**

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия  
Старший преподаватель кафедры «Физики»

E-mail: [009663@pnu.edu.ru](mailto:009663@pnu.edu.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=676384](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=676384)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57221775522>

**Применение географической информационной системы и метода анализа иерархий для оценки мест строительства полигонов захоронения коммунальных отходов в Хабаровском крае**

**Аннотация.** Комплексная система управления твердыми коммунальными отходами на региональном уровне должна соответствовать целям устойчивого развития России. Ключевым элементом системы является полигон захоронения отходов. Одним из наиболее острых

вопросов при обращении с отходами является выбор подходящего места для строительства полигона. В этой статье представлены результаты исследования применения географической информационной системы и метода анализа иерархий для выбора земельного участка под полигон захоронения муниципальных отходов в Комсомольском кластере Хабаровского края. Были изучены с использованием одиннадцати оценочных факторов три земельных участка, предложенные муниципальными органами власти для строительства полигона. Оценочными факторами были численность населения в радиусе 1,5 км, наличие предприятий в радиусе 1,5 км, плотность населения на обслуживаемой территории, расстояние до границ населенного пункта, расстояние до аэропорта, расстояние до водных объектов, текущее использование земельного участка, глубина залегания первого водоносного слоя, уклон участка, площадь участка, расстояние до транспортных путей. В результате исследования было показано, что вариант расположения полигона твёрдых коммунальных отходов в Солнечном муниципальном районе является наиболее предпочтительным по комплексу оценочных факторов. Наихудшим вариантом — является строительство полигона в окрестностях г. Комсомольск-на-Амуре. Проведенное исследование показало, что решение задачи учета социально-экономических и санитарно-экологических факторов при выборе земельного участка для строительства полигона захоронения твёрдых коммунальных отходов требует наличия практической методики, позволяющей снизить субъективность управленческого решения. Удовлетворение потребности в наличии методики, позволяющей повысить обоснованность управленческих решений при выборе оптимальных мест для строительства полигонов захоронения твёрдых коммунальных отходов возможно за счет с использования геоинформационных систем и многокритериальной системы поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** геоинформационные системы; аналитический иерархический процесс; твёрдые коммунальные отходы; строительство полигона захоронения; комплекс оценочных факторов; санитарно-экологические факторы; социально-экономические факторы

## Введение

В Российской Федерации остро стоит проблема создания на региональном уровне комплексной системы управления муниципальными отходами: соотношение образования твердых коммунальных отходов (ТКО) и количественных характеристик их обработки, утилизации, обезвреживания и захоронения должно соответствовать целям устойчивого развития страны (ЦУР 11 и 12)<sup>1</sup>. Согласно информации Минприроды России, в стране ежегодно образуется 50–60 млн т ТКО и 70–80 % объемов этих отходов размещаются на полигонах и санитарных свалках<sup>2</sup>. Для реализации целей устойчивого развития правительством России была утверждена комплексная стратегия обращения с ТКО<sup>3</sup>. Несмотря на то, что в стратегии базисным индикатором является объем утилизации компонентов ТКО, по-прежнему, в силу ряда социально-экономических факторов, ключевым элементом региональных систем управления ТКО остаются полигоны захоронения. Эксплуатируемые полигоны ТКО, даже соответствующие наилучшим доступным технологиям, являются источниками повышенного

<sup>1</sup> Цели в области устойчивого развития. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 09.06.2023).

<sup>2</sup> О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад МПП России. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostoyanii\\_i\\_ob\\_okhrane\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_rossiyskoy\\_federatsii\\_v\\_2020/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2020/) (дата обращения: 09.06.2023).

<sup>3</sup> Об утверждении комплексной стратегии обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации. Приказ Минприроды России от 14.08.2013 г. № 298. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/ofitsialnye\\_dokumenty/131239/](https://www.mnr.gov.ru/docs/ofitsialnye_dokumenty/131239/) (дата обращения: 09.06.2023).

экологического риска и представляют опасность для здоровья людей [1; 2]. Но, по-видимому, в обозримом будущем, даже в странах с развитой экономикой (Европейский Союз, США), реализующих программные индикаторы предотвращения образования и повторного использования компонентов ТКО, полигоны по-прежнему будут играть важную роль в системе управления отходами [3–6].

Повышенные экологический и социальный риски, сопровождающие строительство и эксплуатацию полигона ТКО, и большое число заинтересованных субъектов, имеющих разнообразные, порой противоположные интересы, обуславливают необходимость учета значительного количества оценочных критериев при принятии решения о выборе места строительства полигона [6; 7]. В качестве механизма, позволяющего найти компромиссное и объективное решение по выбору места строительства, учитывающего интересы всех участников, широко применяются возможности пространственного анализа с применением геоинформационных систем (ГИС) и ранжирование выбранных мест по приоритетности на основе различных вариаций метода многофакторного анализа принятия решений [8–10]. Ряд исследователей применили ГИС-технологии и многокритериальные методы для оценки возможности продления эксплуатации старых санитарных свалок ТКО и их ранжирования для установления очередности рекультивации нарушенных земель [11–13].

В Хабаровском крае ежегодно образуется свыше 700 тыс. т ТКО, из которых только 4,9 % направляется на вторичное использование [14]. На настоящий день в крае из 172 санитарных свалок ТКО, действующих с советского периода, 125 объектов (73 %) признаны несоответствующими современным экологическим и санитарным требованиям, и подлежащих закрытию с рекультивацией земель [15]. Правительством Хабаровского края в 2018 году была утверждена региональная программа «Обращение с отходами, в том числе с ТКО»<sup>4</sup>, определяющая схему расположения полигонов: к 2028 г. необходимо ввести в эксплуатацию 78 новых объектов захоронения ТКО. Ввиду низкой плотности населения в крае и слабо развитой транспортной инфраструктурой, а также принимая во внимание существующие ограничения по использованию территории, утвержденные в составе карт территориального планирования, было принято решение создавать новые полигоны ТКО на земельных участках, соседствующих с закрываемыми санитарными свалками. Принятое решение о выборе места расположения полигонов ТКО основывалось на ряде экономических критериев (снижение финансовых и временных затрат на поиск земельного участка), и было принято до инженерно-экологических изысканий, результаты которых могут показать ошибочность административного решения о выборе места строительства (реконструкции). В связи с этим, цель настоящего исследования заключалась в оценке технической возможности применения ГИС-анализа и метода анализа иерархий для предварительного выбора земельного участка, наиболее приемлемого требованиям законодательства России для строительства нового полигона ТКО или реконструкции существующей санитарной свалки.

### Методика исследования

Хабаровский край входит в число крупнейших административно-территориальных образований РФ — площадь территории составляет 787,6 тыс. км<sup>2</sup>. Регион характеризуется суровыми природно-климатическими и сложными социально-экономическими условиями, неудовлетворительным состоянием дорожной сети, наличием территорий традиционного

---

<sup>4</sup> Об утверждении региональной программы Хабаровского края «Обращение с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, на территории Хабаровского края». Распоряжение Правительства Хабаровского края от 14.11.2018 г. № 736-рп. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/2700202007300011> (дата обращения: 09.06.2023).

природопользования коренных малочисленных народов, а также территорий, подверженных опасным гидрометеорологическим процессам и сейсмической активности. Территориальная политика Хабаровского края предусматривает приоритетное развитие ряда крупных территориально-производственных комплексов, одним из которых является Комсомольский кластер (техноэкополис «Комсомольск-на-Амуре-Амурск-Солнечный»), включающий г. Комсомольск-на-Амуре, г. Амурск, а также Комсомольский, Амурский, Солнечный муниципальные районы. Население кластера, проживающее в 77 городских и сельских поселениях, составляет 34,6 % численности края. Годовое образование ТКО от населения и работников организаций в кластере достигает 340 тыс. т (табл. 1). Согласно стратегии социально-экономического развития Хабаровского края к 2030 г. численность населения должна несколько увеличиться<sup>5</sup>, что скажется на объемах образования ТКО.

Таблица 1

**Объем образования ТКО в Комсомольском кластере**

Наименование муниципального района	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Население, тыс. чел.	Количество поселений	Объем образования ТКО (с учетом юрлиц), тыс. м <sup>3</sup> /год*	Масса ТКО, тыс. т/год (при плотности отходов $\gamma = 250 \text{ кг/м}^3$ )
Солнечный	31,09	31,79	17	163,69	40,92
Комсомольский (включая г. Комсомольск-на-Амуре)	25,56	390,60	28	998,97	249,74
Амурский (включая г. Амурск)	16,72	61,39	32	194,12	48,53

\* *Примечание: составлено авторами на основе утвержденных правительством Хабаровского края нормативов накопления ТКО, данных государственной статистической отчетности 2 ТП — отходы юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, информации Росстата<sup>6</sup>*

На территории Комсомольского кластера правительством Хабаровского края утверждено строительство ряда полигонов ТКО (региональная программа «Обращение с отходами, в том числе с ТКО»). Решение о выборе местоположения полигонов основывалось на анализе вида разрешенного использования земельного участка и на необходимости решения вопроса рекультивации старых свалок, как объектов накопленного экологического вреда.

Для выполнения цели исследования были использованы следующие методы: анализ нормативно-правовой базы и результатов инженерно-экологических изысканий (материалы общественных обсуждений объектов экологической экспертизы); экспертные оценки (специалистов Тихоокеанского государственного университета и комитета по охране окружающей среды Министерства природных ресурсов Хабаровского края); пространственный анализ на основе геоинформационных систем (ГИС); многофакторный анализ принятия решений (АНР-метод).

Изученные в настоящем исследовании три земельных участка, предназначенные для строительства полигонов ТКО, располагаются на 15, 30 и 60 км от основного источника образования отходов — г. Комсомольск-на-Амуре (рис. 1). Первый участок (вариант К), общей площадью 46,89 га, расположен в районе городской свалки ТКО г. Комсомольск-на-Амуре, подлежащей рекультивации (кадастровый номер 27:22:0050110:55; координаты: широта

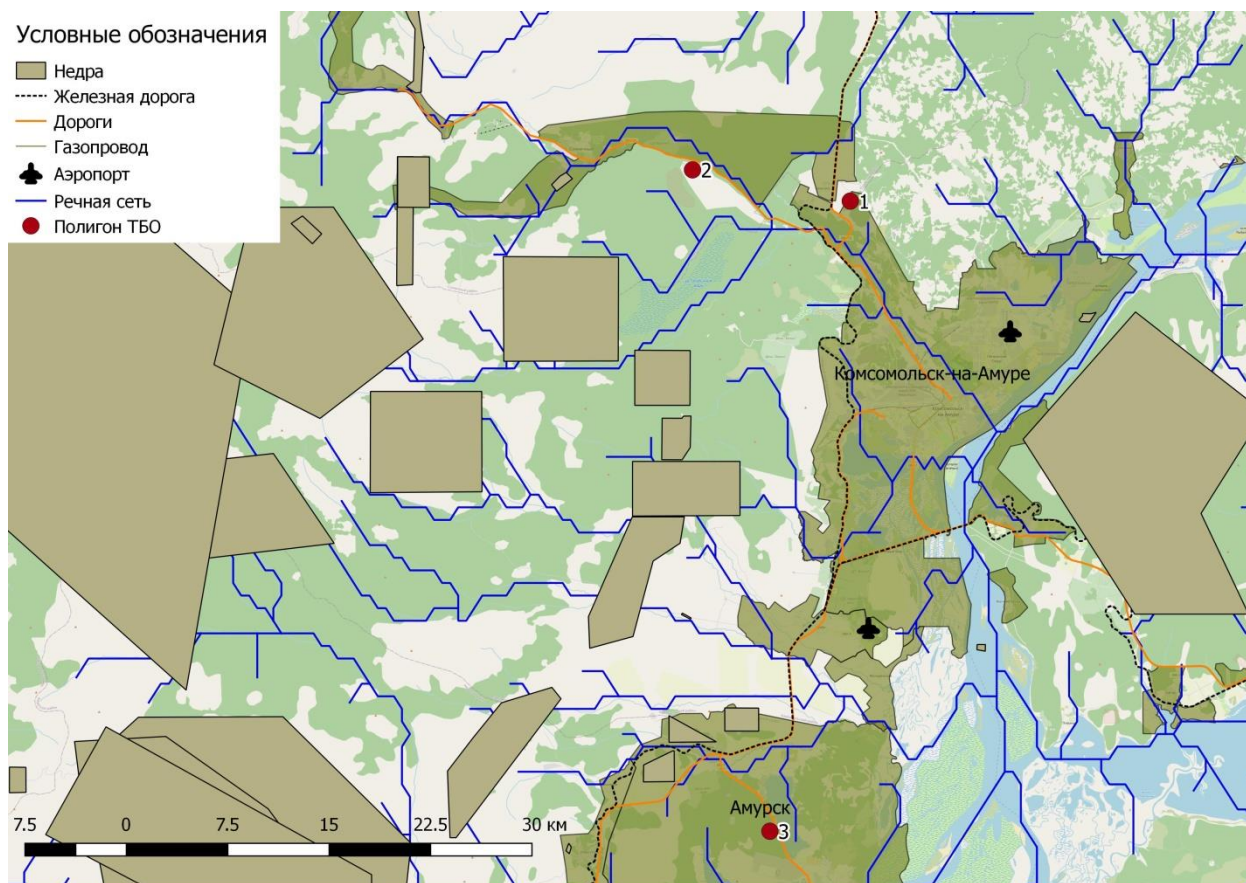
<sup>5</sup> Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Хабаровского края на период до 2030 года. Постановление Правительства Хабаровского края от 13.06.2018 г. № 215-пр. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2700201806180001> (дата обращения: 09.06.2023).

<sup>6</sup> База данных показателей муниципальных образований Росстата. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения: 09.06.2023).

50.689368, долгота 136.919948). В настоящее время проектная мощность свалки (10 млн м<sup>3</sup>) исчерпана, на ней было захоронено свыше 12 млн м<sup>3</sup> отходов. Муниципальной властью было принято решение о реконструкции свалки и строительстве на соседнем земельном участке, расположенном выше по уклону местности, полигона ТКО. С северо-западной стороны от существующей свалки и проектируемого полигона ТКО на расстоянии 2 км расположен пос. Хальгасо, с западной стороны в 1,5 км — пос. Старт, с юго-восточной стороны расположено действующее городское кладбище. Общий уклон земельного участка с юга на северо-запад (около 4<sup>0</sup>), абсолютные отметки — 151,0–224,0 м. Ближайшим водным объектом является р. Хольваси, исток которой находится на расстоянии 1 км к северу от полигона ТКО. Река Хольваси, протяженностью 53 км, является правым притоком р. Хурмули (бассейн р. Амур) и имеет ширину водоохранной зоны 200 м. Подземные воды на площадке строительства полигона представлены в виде локальных линз. Появление порово-пластовых подземных вод отмечено в гравийно-галечниковых отложениях на глубинах 1,4–5,5 м; установление уровня подземных вод зафиксировано на глубине 1,2–5,7 м. Питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и разгрузки подземных вод со стороны горного обрамления. На расстоянии 200 м от земельного участка проходит автомобильная трасса г. Комсомольск-на-Амуре — пос. Солнечный.

Второй участок (вариант А), общей площадью 73,395 га, находится поблизости от г. Амурск (кадастровый номер 27:01:0000063:1781; координаты: широта 50.273874, долгота 136.831752). Земельный участок расположен на водоразделе р. Сольджа и ее левого притока, безымянного ручья, на территории бывшей производственной площадки. Река Сольджа впадает в о. Падали (ширина водоохранной зоны 50 м), которое соединено с р. Амур. Расстояние до озера составляет 7 км. Уклон участка около 5<sup>0</sup>. Гидрогеологические условия участка характеризуются наличием постоянно действующего водоносного горизонта порово-пластовых вод в аллювиальных гравийных грунтах с установлением уровня грунтовых вод на глубине 1,5–2,0 м. В 8-ми км на юг от земельного участка расположен водозабор г. Амурска в русле р. Амур. В 1,5 км на север расположена рекреационная зона (садоводческое некоммерческое товарищество). Напротив, на расстоянии 1 км на северо-восток, расположены отстойники закрытого Амурского целлюлозно-бумажного комбината. На расстоянии 300 м от земельного участка проходит автомобильная трасса г. Амурск — г. Комсомольск-на-Амуре.

Третий участок (вариант С), общей площадью 9,75 га, расположен по адресу: Солнечный муниципальный район, межселенная территория, 14 км трассы Комсомольск-на-Амуре — п. Горный (кадастровый номер 27:14:0010807:1099; координаты: широта 50.713400, долгота 136.746733). Площадка проектируемого полигона расположена на правобережной надпойменной террасе р. Силинка, на плоской вершине местного водораздела. На расстоянии около 9 км на запад находится пос. Солнечный. Терраса хорошо выражена в рельефе и характеризуется ровной, слегка наклоненной к руслу р. Силинка местностью (в северо-восточном направлении, уклон участка около 1<sup>0</sup>). Основной водоток в границах проектируемого полигона — р. Силинка (левобережный приток р. Амур, водоохранная зона — 200 м). Река огибает террасу с северо-восточной, северной и северо-западной сторон на расстоянии 2–5 км от площадки проектируемого полигона. С южной стороны площадки протекает руч. Наледный на расстоянии 2,5 км, и берет начало ручей без названия, русло которого находится на расстоянии 550 м от площадки. Гидрогеологические условия участка характеризуются наличием постоянно действующего водоносного горизонта порово-пластовых вод в аллювиальных гравийных грунтах с установлением уровня грунтовых вод на глубине 6,5–9,0 м. Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и подтока со стороны горного обрамления. На расстоянии 450 м от земельного участка проходит автомобильная трасса г. Комсомольск-на-Амуре — пос. Солнечный.



*Рисунок 1. Карта-схема размещения земельных участков, выбранных для строительства полигонов ТКО в Комсомольском кластере относительно границ и объектов других инфраструктур (составлено/разработано авторами)*

Реализация цели исследования достигалась посредством 5 основных этапов: выбор оценочных факторов, сбор данных и их интеграция в ГИС, присвоение экспертных баллов для оценочных факторов, применение АНР-метода для ранжирования, получение окончательной карты модели. Выполненный литературный анализ позволил все оценочные факторы разделить на следующие группы [8–13]:

- ситуационные (или абсолютные) — содержат запреты, которые регламентируются законодательством РФ;
- геолого-гидрогеологические — оценка пригодности геологических формаций для обеспечения экологической безопасности объектов окружающей среды и снижения риска для здоровья населения;
- ландшафтно-геоморфологические — служат для выбора территории с минимальным воздействием эрозионных процессов, благоприятными уклонами земной поверхности и экспозицией склонов относительно открытых водных объектов, населенных пунктов;
- гидрологические — исключение риска загрязнения поверхностных водоемов или территорий, подверженных периодическому затоплению;
- социологические и психологические — учет социального скепсиса в отношении необходимости расположения полигона ТКО.

Все оценочные факторы, использованные для достижения поставленной цели, приведены в таблице 2. После определения факторов все первичные данные (электронные таблицы, карты, спутниковые изображения и цифровые модели рельефа) были собраны, географически привязаны, классифицированы и импортированы в банк данных ГИС. Пространственный анализ проводился на основе карт, формирующих следующие ГИС-слои: текущее землепользование, границы населенных пунктов, действующие аэропорты, водные объекты, места произрастания и обитания редких видов животных и растений, леса высшей природоохранной категории, зоны многолетней мерзлоты, территории традиционного природопользования коренных малочисленных народов, действующие газо- и нефтепроводы, транспортная инфраструктура. Результатом этого этапа работ стал набор растровых картографических слоев, которые были использованы для создания векторных картографических слоев и дальнейших аналитических работ. Исследуемые участки были нанесены на карту территории, с заполнением различных слоев (критериев), по которым была выполнена оценка (рис. 1). Все данные имеют географическую привязку в соответствии с проекционной системой Кертая РС0. Данные из цифровой модели рельефа (DEM) Глобальной визуализации геологической службы США (USGS GloVis), необходимые для этого исследования, были получены из их онлайн-архива ASTER GDEM с пространственным разрешением 30 м<sup>7</sup>. При обработке и анализе спутниковых снимков использовалась программа QuantumGIS Ver. 3.10.

Поскольку в нашем исследовании решение о выборе земельных участков было принято муниципальными органами власти и основывалось на критерии разрешенного использования земельного участка, то в перечень оценочных критериев не были включены социально-психологические факторы. Строительство полигона было предложено на земельном участке, расположенном по соседству со старой свалкой ТКО (г. Комсомольск-на-Амуре), к которой население уже привыкло, или на территории бывшей производственной площадке (г. Амурск). Из процедуры оценки были также исключены следующие факторы: тип почвогрунта — на всех трех участках по данным карт почвенного районирования были распространены буро-таежные и бурые лесные почвы; направление ветра (преобладающее направление ветра за июнь — август — северное; в зимний период — южное); количество осадков (на всех участках за апрель — октябрь выпадает 466 мм, за ноябрь — март — 84 мм осадков; в периоды интенсивного снеготаяния и проливных дождей возможно формирование верховодки в крупнообломочных и глинистых грунтах с высоким содержанием обломочного материала); все участки неподтопляемые и незатопляемые, с отсутствием болот и выхода грунтовых вод; все участки расположены на расстоянии более 200 м от сельскохозяйственных земель; участки соответствуют требованиям по расстоянию до территорий историко-культурного назначения и землям природно-заповедного фонда России, располагаются вне пересечения дорожно-транспортных сооружений; сейсмичность участков сходная (согласно общему сейсмическому районированию территории РФ расчетная сейсмическая интенсивность для района составляет 6 баллов для объектов массового строительства, 7 баллов для объектов повышенной ответственности). Основываясь на исследовании [16], по учету риска для здоровья населения, проживающего или работающего в зоне воздействия полигона ТКО, в число оценочных критериев были включены: «Численность постоянного населения в радиусе 1 500 м» и «Наличие предприятий в радиусе 1 500 м (мест работы непостоянного населения)». Необходимость в них была обусловлена тем, что в городах Амурск и Комсомольск-на-Амуре проектируемый полигон ТКО тесно граничит с землями населенного пункта, что обуславливает вероятность риска для здоровья населения.

<sup>7</sup> URL: <http://glovis.usgs.gov/> (дата обращения: 09.06.2023).

Таблица 2

**Описание значений критериев буферных зон для земельного участка, предназначенного для строительства полигона ТКО (набор первичных критериев для проведения пространственного анализа)**

Критерий	Буферная зона	Вес
Численность постоянного населения в радиусе 1 500 м, чел.	< 500 м	1
	500–1 000 м	0,5
	1 000–1 500 м	0
Наличие предприятий в радиусе 1 500 м (мест работы непостоянного населения)	< 500 м	1
	500–1 000 м	0,5
	1 000–1 500 м	0
Расстояние до границ населенного пункта, км	< 0,5	1
	> 0,5	0
Расстояние до аэропортов, км	< 15 км	1
	> 15 км	0
Расстояние до водных объектов	< Ширины водоохранной зоны	1
	> Ширины водоохранной зоны	0
Текущее использование земельного участка, м	Другие категории	1
	Для размещения полигонов	0
Охранные зоны, м	Наличие в границах участка	1
	Отсутствие в границах участка	0
Расстояние до месторождений полезных ископаемых, м	Наличие в границах участка	1
	Отсутствие в границах участка	0
Наличие многолетней мерзлоты	Наличие в границах участка	1
	Отсутствие в границах участка	0
Расстояние до лесов высшей природоохранной категории, м	< 0,5	1
	> 0,5	0
Расстояние до территории традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера и Дальнего Востока, м	< 0,5	1
	> 0,5	0
Расстояние до газо- и нефтепроводов, км	< 350 м	1
	> 350 м	0
Глубина залегания подземных вод, м	< 2 м	1
	> 2 м	0
Уклон участка	Более 4 %	1
	2–4 %	0,5
	0–2 %	0
Расстояние до транспортных путей, м	> 100 м	1
	<100 м	0

*Составлено/разработано авторами*

Ситуационные критерии (фактор ограничения) были наиболее многочисленной группой (табл. 2). Их качественная оценка выполнялась по Булевой логике: нарушение требований экобезопасности — 1, соответствие требованиям — 0. Отдельные факторы оценивались по весовым значениям — для каждого показателя определялись допустимые значения (по фактическим значениям или исходя из допустимых диапазонов значений). При весовой оценке фактора исходили из соблюдения требований экобезопасности: приняв во внимание мнение экспертов, большее значение веса соответствовало фактору с большей экологической опасностью.

Для выполнения поставленной цели была построена простейшая иерархическая структура, где имелся всего один уровень оценочных критериев (11 критериев) и перечень рассматриваемых альтернатив (варианты К, А, С). Критерии были стандартизированы и взвешены, а затем веса относительной важности критериев были оценены с использованием АНР-метода, предложенного Т. Саати [17]. Процесс определения включал следующие последовательные шаги: вычисление суммы значений в каждом столбце матрицы попарного

сравнения; нормализация матрицы делением каждого элемента на сумму его столбца, вычисление среднего значения элемента в каждой строке нормализованной матрицы. Матрицу парных сравнений оформили в виде таблицы, используя 9-балльную шкалу оценок. После выполнения оценки рассчитывали коэффициент согласованности (CR). После оценки значений и попарного взвешивания всех элементов рассчитывали интегральное значение весов для каждого критерия и исходя из этого определяли весовой индекс по вариантам К, А, С.

### Результаты и обсуждение

Как видно из таблицы 3, эксперты дали сильное превосходство факторам — С6 «Расстояние до водных объектов, м» и С8 «Глубина залегания первого водоносного слоя, м» ( $w_i = 0,192$ ); С4 «Расстояние до границ населенного пункта, м» и С5 «Расстояние до аэропортов, км» ( $w_i = 0,183$ ). Предпочтение этим ситуационным (или абсолютным) факторам было дано на основании их включения в «Единые требования к объектам обработки, утилизации, обезвреживания, размещения ТКО»<sup>8</sup> [20]. Действительно, эти факторы определяются федеральными экологическими требованиями, и при их несоблюдении заключение государственной экологической экспертизы по объекту намечаемого строительства будет отрицательным, что является запретом на финансирование и реализацию объекта (в соответствии со ст. 18 федерального закона «Об экологической экспертизе»). Объекты захоронения ТКО, расположенные на территориях с высоким уровнем грунтовых вод, должны быть спроектированы и сооружены таким образом, чтобы расстояние от нижнего уровня размещаемых отходов до уровня грунтовых вод составляло не менее 2 метров. В границах водоохраных зон запрещается размещение полигонов ТКО (ст. 65 Водного кодекса РФ). Буферная зона от полигона до аэропорта должна составлять не менее 15 км (границы шестой подзоны приаэродромной территории, ст. 47 Воздушного кодекса РФ). Полигон не должен располагаться на территориях, прилегающих к городским и сельским поселениям (ст. 51 федерального закона «Об охране окружающей среды»).

Таблица 3

#### Сводка по фактическим данным вариантов сравнения и их экспертной оценке

Оценочные факторы	Вес фактора ( $w_i$ )	г. Комсомольск-на-Амуре		г. Амурск		пгт. Солнечный	
		факт	экспертная оценка	факт	экспертная оценка	факт	экспертная оценка
С1 «Численность населения в радиусе 1 500 м, тыс. чел.»	0,0218	30	9	10	7	7	1
С2 «Наличие предприятий в радиусе 1 500 м (мест работы непостоянного населения)»	0,0154	нет	1	да	9	нет	1
С3 «Плотность населения на обслуживаемой территории, чел./км»	0,0166	10,8	1	3,5	3	0,94	9
С4 «Расстояние до границ населенного пункта, м»	0,183	в границах	9	в границах	9	1 000	1
С5 «Расстояние до аэропорта, км»	0,183	< 15	9	20	3	30	1

<sup>8</sup> О Единых требованиях к объектам обработки, утилизации, обезвреживания, размещения твердых коммунальных отходов. Постановление Правительства РФ от 12.10.2020 г. № 1657. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_365180/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_365180/) (дата обращения: 09.06.2023).

Оценочные факторы	Вес фактора ( $w_i$ )	г. Комсомольск-на-Амуре		г. Амурск		пгт. Солнечный	
		факт	экспертная оценка	факт	экспертная оценка	факт	экспертная оценка
С6 «Расстояние до водных объектов, м»	0,192	1 000	9	6 000	1	1 400	7
С7 «Текущее использование земельного участка»	0,061	под полигон ТКО	1	земли промышленности	3	под полигон ТКО	1
С8 «Глубина залегания первого водоносного слоя, м»	0,192	1,4–5,5	9	1,5–2	9	6,5–9,0	1
С9 «Уклон участка»	0,076	4°	3	5°	5	1°	1
С10 «Площадь участка, га»	0,043	46,89	5	73,39	1	9,75	9
С11 «Расстояние до транспортных путей, м»	0,016	200	1	300	1	500	3

*Составлено/разработано авторами*

Следующий этап решения задачи экспертного оценивания состоял в составлении матриц парного сравнения альтернатив (вариантов К, А и С) по каждому рассматриваемому критерию. Подход к взвешиванию оценочных факторов подробно изложен в работе А.В. Атерекковой и С.Б. Сиваева [18].

По фактору С1 «Численность населения в радиусе 1 500 м» вариант расположения С был наилучшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,05$ ), вариант К — наихудшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,76$ ). Отметим, что фактор С1 косвенно оценивает риск для здоровья постоянно проживающего населения вблизи полигона ТКО, поскольку полигон является источником негативного воздействия на объекты окружающей среды [1–2; 19]. По фактору С2 «Наличие предприятий в радиусе 1 500 м (мест работы непостоянного населения)» варианты расположения К и С были наилучшими ( $w^*_{\text{норм}} = 0,09$ ), вариант А — наихудшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,82$ ).

По фактору С3 «Плотность населения на обслуживаемой территории» вариант расположения К был наилучшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,08$ ), вариант С — наихудшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,69$ ). Этот социально-экономический фактор оценивает степень важности наличия объекта захоронения отходов для обеспечения санитарно-эпидемиологических условий функционирования населенного пункта — полигон ТКО обслуживает население от 100 тыс. до 800 тыс. человек [20].

По фактору С4 «Расстояние до границ населенного пункта» вариант расположения С был наилучшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,05$ ), варианты К и А — наихудшими ( $w^*_{\text{норм}} = 0,47$ ). В случае варианта К планируемый полигон располагался на земельном участке из земель населенных пунктов, расположенных в Центральном округе г. Комсомольск-на-Амуре в микрорайоне Старт. В случае варианта А — планируемый полигон располагался на территории г. Амурск в зоне складирования бытовых отходов.

По фактору С5 «Расстояние до аэропортов» вариант расположения С был наилучшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,08$ ), вариант К — наихудшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,69$ ). Известно, что объекты размещения ТКО представляют опасность для полетов самолетов из-за птиц [21], поэтому не должны располагаться в границах зоны приаэродромной территории.

По фактору С6 «Расстояние до водных объектов» вариант расположения А был наилучшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,05$ ), вариант К — наихудшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,66$ ). Увеличение расстояния до поверхностных водных объектов снижает риск их загрязнения [8–12].

По фактору С7 «Текущее использование земельного участка» варианты расположения слабо различались между собой: в случае вариантов К и С земельный участок был предназначен для размещения полигона ТКО; в варианте А — для объектов промышленного назначения. Необходимость проведения работ кадастрового учета по изменению вида функционального использования земельного участка не требовалась.

По фактору С8 «Глубина залегания первого водоносного слоя» вариант расположения С был наилучшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,05$ ), варианты К и А — наихудшими ( $w^*_{\text{норм}} = 0,47$ ). Острота проблемы загрязнения подземных вод в РФ, и обусловленная этим обстоятельством, угроза окружающей среде и здоровью населения, согласно государственным докладам о состоянии и об охране окружающей среды не снижается. Свалки ТКО являются источниками химического загрязнения поверхностных горизонтов почв тяжелыми металлами и бенз(а)пиреном [1; 2; 5]. Предположение о том, что конструктивные элементы противофильтрационного экрана обеспечивают достаточную защиту подземных вод от загрязнения рядом исследователей подвергается сомнению [22–23]. Поэтому крайне важно искать земельные участки для полигона ТКО с естественными характеристиками, которые могут обеспечить вторичную защиту окружающей среды в случае выхода из строя противофильтрационного экрана, в том числе вследствие сейсмической опасности.

По фактору С9 «Уклон участка» вариант расположения С был наилучшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,10$ ), вариант А — наихудшими ( $w^*_{\text{норм}} = 0,64$ ). Геоморфология связана с особенностями местности и влиянием этих характеристик на топографию. Увеличение крутизны склона также увеличивает нестабильность рельефа, повышает риск загрязнения поверхностных водных объектов. Уклоны земельного участка от  $0^\circ$  до  $5^\circ$  обычно считаются подходящими для строительства полигона [24].

По фактору С10 «Площадь участка» вариант расположения А был наилучшим ( $w^*_{\text{норм}} = 0,06$ ), вариант С — наихудшими ( $w^*_{\text{норм}} = 0,67$ ). Площадь участка, отводимого под полигон ТКО, выбирается исходя из условия срока его эксплуатации не менее 20 лет.

По фактору С11 «Расстояние до транспортных путей» варианты расположения слабо различались между собой. Фактор является социально-экономическим и оказывает влияние на стоимость перевозок ТКО при принятой в Хабаровском крае одноэтапной схеме транспортировки отходов. Оптимальным считается расстояние не превышающее 15 км, т. к. собирающий мусоровоз является машиной циклического действия с односторонним грузопотоком и, соответственно, наличием порожнего хода. При увеличении дальности вывоза ТКО на 1,5 км себестоимость их транспортировки возрастает на 15–20 %, что, в свою очередь, приводит к неизбежному повышению размера платы за жилищно-коммунальные услуги для обычного гражданина [23].

После формирования матриц парных сравнений для уровня альтернатив (вариантов), нахождения нормированных собственных векторов, определения собственных значений и подтверждения согласованности матриц, был выполнен синтез окончательного решения. Вариант К имеет наибольшую оценку (0,549), и, следовательно, расположение полигона ТКО на этом земельном участке будет представлять наибольшую экологическую опасность, вариант С (0,16) является наиболее предпочтительным по комплексу оценочных факторов. Вариант А (0,289) занимает промежуточное положение. К преимуществу земельного участка, расположенного в Солнечном муниципальном районе, относится возможность организации двухэтапной системы вывоза ТКО, поскольку данная технология рекомендована к применению «Концепцией обращения с твердыми коммунальных отходами в Российской Федерации»<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Концепцией обращения с твердыми коммунальных отходами в Российской Федерации. Постановление Коллегии Госстроя РФ от 22.12.1999 г. № 17 (дата обращения: 09.06.2023). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005351> (дата обращения: 09.06.2023).

### Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что решение задачи учета социально-экономических и санитарно-экологических факторов при выборе земельного участка для строительства полигона захоронения ТКО требует наличия практической методики, позволяющей снизить субъективность управленческого решения. Удовлетворение потребности в наличие методики, позволяющей повысить обоснованность управленческих решений Правительства Хабаровского края при выборе оптимальных мест для строительства полигонов захоронения ТКО возможно за счет использования ГИС-технологий и многокритериальной системы поддержки принятия решений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Замотаев И.В. Оценка состояния почв и растительности в районах размещения свалок и полигонов твердых бытовых отходов (обзор) / И.В. Замотаев, И.В. Иванов, П.В. Михеев, В.П. Белобров // Почвоведение. — 2018. — № 7. — С. 907–924. DOI: 10.1134/S0032180X18070109.
2. Siddiqua A. An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping / A. Siddiqua, J.N. Hahladakis, W.A.K. Al-Attiya // Environmental Science and Pollution Research. — 2022. — V. 29. — № 39. — P. 58514–58536. DOI: 10.1007/s11356-022-21578-z.
3. Louis G.E. A historical context of municipal solid waste management in the United States / G.E. Louis // Waste Management & Research. — 2004. — V. 22. — № 4. — P. 306–322. DOI: 10.1177/0734242X04045425.
4. Mukherjee C. A review on municipal solid waste-to-energy trends in the USA / C. Mukherjee, J. Denney, E.G. Mbonimpa, J. Slagley, R. Bhowmik // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2020. — V. 119. — P. 109512. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109512.
5. Vaverková M.D. Landfill impacts on the environment / M.D. Vaverková // Review. Geosciences. — 2019. — V. 9. № 10. — P. 431. DOI: 10.3390/geosciences9100431.
6. Nascimento V.F. A worldwide meta-analysis review of restriction criteria for landfill siting using geographic information systems / V.F. Nascimento, A.I.S. Loureiro, J.P.B. Ometto // Waste Management & Research. — 2021. — V. 39. — № 3. — P. 409–426. DOI: 10.1177/0734242X20962834.
7. Donevska K. Comprehensive review of the landfill site selection methodologies and criteria / K. Donevska, J. Jovanovski, L. Gligorova // J. Indian. Inst. Sci. — 2021. — V. 101 — P. 509–521. DOI: 10.1007/s41745-021-00228-2.
8. Bilgilioglu S. A GIS-based multi-criteria decision-making method for the selection of potential municipal solid waste disposal sites in Mersin, Turkey / S.S. Bilgilioglu, C. Gezgin, O. Orhan, P. Karakus // Environ. Sci. Pollut. Res. — 2022. — V. 29. — P. 5313–5329. DOI: 10.1007/s11356-021-15859-2.
9. Chabuk A. Landfill sites selection using MCDM and comparing method of change detection for Babylon Governorate, Iraq / A. Chabuk, N. Al-Ansari, H.M. Hussain, J. Laue, A. Hazim, S. Knutsson, R. Pusch // Environ. Sci. Pollut. Res. — 2019. — V. 26. — P. 35325–35339. DOI: doi.org/10.1007/s11356-019-05064-7.

10. Asefi H. A multi-criteria decision support framework for municipal solid waste landfill siting: a case study of New South Wales (Australia) / H. Asefi, Y. Zhang, S. Lim, M. Maghrebi, S. Shahparvari // *Environ. Monit. Assess* — 2020. — V. 192. — P. 682. DOI: 10.1007/s10661-020-08565-y.
11. Saatsaz M. A multi-method approach to reevaluate the suitability of an old active dumpsite: an application in the Abhar Plain, Iran / M. Saatsaz, H. Mojallal, I. Monsef, Z. Masoumi // *Journal of material cycles and waste management*. — 2020. — V. 22. — P. 578–603. DOI: 10.1007/s10163-019-00954-x.
12. Dey A. Suitability assessment using multicriteria spatial decision support system for the existing landfill sites of Chittagong City, Bangladesh / A. Dey, S. Siddiqua, M. Z. Rahman // *Environmental Earth Sciences*. — 2019. — V. 78. — p. 1–13. DOI: 10.1007/s12665-019-8707-0.
13. Nascimento V.F. Modeling the environmental susceptibility of landfill sites in California / V.F. Nascimento, N. Yesiller, K.C. Clarke, J.P.H. Balbaud Ometto, P.R. Andrade, A.C. Sobral // *GIScience & Remote Sensing*. — 2017. — V. 54. — № 5. — P. 657–677. DOI: doi.org/10.1080/15481603.2017.1309126.
14. Гладун И.В. Концепция схемы обращения с твердыми коммунальными отходами в Хабаровском крае / И.В. Гладун, Г.А. Волосникова, П.И. Гладун // *Региональные исследования*. — 2019. — № 1. — С. 108–117. DOI: 10.5922/1994-5280-2019-1-10.
15. Волосникова Г.А. Проектирование интегрированной системы управления твердыми коммунальными отходами в Хабаровском крае / Г.А. Волосникова, И.В. Гладун. // *Инновации и инвестиции*. — 2021. — № 3. — С. 361–368.
16. De Feo G. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal / G. De Feo, S. De Gisi // *Waste management*. — 2014. — V. 34. — № 11. — P. 2225–2238. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.05.028
17. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process / T.L. Saaty // *International journal of services sciences*. — 2008. — V. 1. — № 1. — P. 83–98. DOI: 10.1504/IJSSci.2008.01759.
18. Атерекова А.В. Выбор участков под объекты обращения с твердыми коммунальными отходами на основе пространственного анализа и многофакторной оценки / А.В. Атерекова, С.Б. Сиваев // *Городские исследования и практики*. — 2016. — Т. 1. — №. 1. — С. 70–85.
19. Vaccari M. Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview / M. Vaccari, T. Tudor, G. Vinti // *Waste management*. — 2019. — V. 95. — P. 416–431. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.06.032.
20. Бурмак И.В. Проблемы обращения с твердыми коммунальными отходами в Республике Беларусь / И.В. Бурмак. // *Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы III Международной научно-технической конференции / сост. С.Н. Соболевская, Е.М. Жуковский*. — Минск: БНТУ, 2022. — С. 239–247.
21. Силаева О.Л. Исследования столкновений воздушных судов с птицами по данным экспертиз 2002–2019 гг. / О.Л. Силаева, М.В. Холодова, Т.В. Свиридова, С.А. Букреев, А.Н. Варакин // *Известия РАН. Сер. Биолог.* — 2020. — № 6. — С. 636–645. DOI: 10.31857/S0002332920060120.

22. Jones D.R.V. Landfill lining stability and integrity: the role of waste settlement / D.R.V. Jones, N. Dixon // *Geotextiles and Geomembranes*. — 2005. — V. 23. — № 1. — p. 27–53. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2004.08.001.
23. Koerner R.M. Leachate in landfills: the stability issues / R.M. Koerner, T.Y. Soong // *Geotextiles and Geomembranes*. — 2000. — V. 18. — № 5. — P. 293–309. DOI: 10.1016/S0266-1144(99)00034-5.
24. Ramu P. An integrated GIS-AHP approach for municipal solid waste landfill siting in Srikakulam District, Andhra Pradesh / P. Ramu, B.S. Santosh, S. Praveen // *Nature Environment & Pollution Technology*. — 2023. — V. 22. — № 1. pp. 139–148. DOI: 10.46488/NEPT.2023.v22i01.012.

### **Golubev Dmitry Andreevich**

Far East Forestry Research Institute, Khabarovsk, Russia

E-mail: poet.golubev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9416-2913>

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=792537](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=792537)

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/D-2710-2018>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Dmitry-Golubev-5>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56039568200>

### **Gladun Igor Vladimirovich**

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

E-mail: 006209@pnu.edu.ru

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=91054](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=91054)

### **Egorshin Ivan Nikolaevich**

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

E-mail: 009663@pnu.edu.ru

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=676384](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=676384)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57221775522>

## **Application of a geographic information system and the method of analysis of hierarchies to assess construction sites for landfills for municipal waste in the Khabarovsk Territory**

**Abstract.** An integrated system for managing municipal solid waste at the regional level should be consistent with the goals of Russia's sustainable development. The key element of the system is the landfill. One of the most pressing issues in waste management is the choice of a suitable site for the construction of a landfill. This article presents the results of a study on the use of a geographic information system and the method of analyzing hierarchies to select a land plot for a municipal waste disposal site in the Komsomolsk cluster of the Khabarovsk Territory. Three land plots proposed by the municipal authorities for the construction of the landfill were studied using eleven evaluation factors. Evaluation factors were the population within a radius of 1.5 km, the presence of enterprises within a radius of 1.5 km, the population density in the service area, the distance to the boundaries of the settlement, the distance to the airport, the distance to water bodies, the current use of the land, the depth of the first aquifer, site slope, site area, distance to transport routes. As a result of the study, it was shown that the option of locating the MSW landfill in the Solnechny municipal district is the most preferable in terms of a set of evaluation factors. The worst option is the construction of a landfill in the vicinity of Komsomolsk-on-Amur. The study showed that solving the problem of taking into account socio-economic and sanitary-environmental factors when choosing a land plot for the construction of a MSW landfill requires a practical methodology that can reduce the subjectivity of a management decision. Satisfying the need for a methodology to improve the validity of management decisions when choosing the best places for the construction of MSW landfills is possible through the use of GIS technologies and a multi-criteria decision support system.

**Keywords:** geoinformation systems; analytical hierarchical process; municipal solid waste; construction of a landfill; complex of evaluation factors; sanitary and environmental factors; socio-economic factors