

О. Н. Николаева^{1,2}, Е. А. Майманова^{2}*

Принятие решений в управлении отходами: современный опыт

¹Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва,
Российская Федерация

²Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: maimanova.elena@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается современный опыт использования теории принятия решений и ГИС-технологий при управлении отходами. Охарактеризованы требования, устанавливаемые действующим федеральным законодательством к выбору местоположения для объектов размещения отходов (ОРО). Отмечен широкий перечень естественных и техногенных факторов, которые необходимо учесть в процессе выбора. Обоснована актуальность использования ГИС-технологий и теории принятия решений при обосновании размещения ОРО. Рассмотрен зарубежный опыт использования ГИС для решения задач рационального размещения ОРО, в том числе охарактеризованы учетные критерии и созданное картографическое обеспечение. Подчеркнута высокая вариативность перечня учитываемых факторов и обусловленная этим необходимость применения многокритериального анализа в ГИС-среде для оптимизации процесса принятия решения по размещению ОРО. Кратко охарактеризованы особенности ГИС соответствующего назначения. Описаны источники исходных данных, привлекаемые к информационному обеспечению процесса принятия решений. Сделан акцент на роли беспилотных летательных аппаратов на этапе проектирования ОРО и мониторинга эксплуатируемого ОРО. Отмечена роль геопорталов в систематизации и обработке исходных геопространственных данных о природных и антропогенных факторах территорий возможного размещения ОРО. Сделаны выводы об оптимальности использования ГИС в управлении отходами, намечены перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: теория принятия решений, обращение с отходами, объект размещения отходов, ГИС, геоинформационный анализ, многокритериальный анализ, земельный участок

О. N. Nikolaeva^{1,2}, E. A. Maimanova^{1}*

Decision making in waste management: modern experience

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

² Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk,
Russian Federation

* e-mail: maimanova.elena@yandex.ru

Abstract. The article discusses the modern experience of using decision theory and GIS technologies in waste management. The requirements established by the current federal legislation for the choice of location for waste disposal facilities (ORO) are characterized. A wide list of natural and man-made factors that need to be taken into account in the selection process is noted. The relevance of the use of GIS technologies and the theory of decision-making in justifying the placement of ORO is substantiated. The foreign experience of using GIS to solve the problems of rational placement of ORO is considered, including the criteria taken into account and the cartographic support created. The high variability of the list of factors taken into account and the resulting need for the use of multi-criteria

analysis in the GIS environment to optimize the decision-making process on the placement of the ORO is emphasized. The features of GIS of the corresponding purpose are briefly described. The sources of the initial data involved in the information support of the decision-making process are described. The emphasis is placed on the role of unmanned aerial vehicles at the design stage of the ORO and monitoring of the operated ORO. The role of geoportals in the systematization and processing of the initial geospatial data on natural and anthropogenic factors of the territories of possible placement of ORO is noted. Conclusions are drawn about the optimal use of GIS in waste management, prospects for further research are outlined.

Keywords: decision theory, waste management, waste disposal facility, GIS, geoinformation analysis, multi-criteria analysis, land plot

Введение

В современную эпоху рациональное планирование территории является обязательным этапом развития города как единой устойчивой урбосистемы. Одно из неизбежных последствий функционирования города – это образование значительного количества бытовых и промышленных отходов, нуждающихся в размещении и временном или перманентном захоронении. В связи с этим встает вопрос о выборе территорий, отводимых под объекты размещения отходов (ОРО). Федеральный закон № 89 [1] определяет перечень участков местности, где размещение ОРО однозначно запрещено (населенные пункты, лесопарки, водоохранные зоны и т. п.), однако не устанавливает критерии для выбора местоположения ОРО в пределах разрешенных территорий. В результате решение о размещении ОРО зачастую принимается волюнтаристски. Процедура оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) и экологическая экспертиза позволяют учесть вредное влияние организуемого ОРО на состояние окружающей среды лишь в пределах занятого ею земельного участка, не принимая во внимание более широкую картину общей структуры хозяйственного использования территории. Это порождает как экологические [2–4], так и общественные конфликты [5–7], в совокупности значительно снижающие комфортность проживания населения на территории.

Решение проблемы видится в разработке системы принятия решений, позволяющей определять местоположение проектируемого ОРО на основании не запретительных, а разрешительных критериев. Систематизация и обработка большого количества данных о состоянии окружающей среды в процессе выбора земельного участка для размещения ОРО предполагает использование геопространственного подхода, базирующегося на анализе и моделировании распределенных данных с помощью геоинформационных систем (ГИС) и технологий. Однако, основная специфика заключается не просто в использовании оцифрованной информации, а в привлечении математических методов для обоснования принятия решений в среде ГИС.

Материалы и методы

За рубежом комплексное использование теории принятия решений и геоинформационных технологий для решения проблем размещения ОРО началось сравнительно недавно. В 2007 г. турецкими учеными были использованы методы

многокритериального анализа (в частности – метод аналитических сетей и метод анализа иерархий) и в геоинформационной среде для выбора одного из четырех альтернативных мест размещения ОРО в г. Эскишехир, Турция; при этом авторами особо подчеркивалось, что используемые ими методы на тот момент «не слишком широко использовались в инженерной экологии, хотя считались важным компонентом принятия решений (These methods have not been commonly used in the discipline of environmental engineering but it is believed to be an important contribution for decision makers)» [8]. Однако в последующие годы, с ростом объемов цифровых данных о Земле и упрощением процесса их получения, этот опыт был многократно повторен и усовершенствован.

В 2013 г. метод анализа иерархий и метод парного сравнения были использованы в Турции для выбора новых мест размещения ОРО на северо-западе от Анкары [9]. В 2014 г. коллективом иранских ученых был применен метод анализа иерархий в среде ArcGIS для выбора земельного участка размещения ОРО в районе города Секкез (население 140 000 чел). В результате исследований, которые выполнялись в комплексе с изучением аэрокосмических снимков Landsat ETM+ и SPOT 5 на район работ, была выбрана оптимальная локация для размещения полигона отходов площадью 74 га, что позволило обеспечить город на 20 лет [10]. Аналогичное сочетание методов и средств анализа было использовано марокканскими исследователями для выбора нового места размещения ОРО в пригороде г. Мохаммедия, а также для разработки мероприятий по рекультивации территории, занятой старым ОРО [11].

В 2017 г. иракскими учеными было выполнено сравнение результатов определения места размещения ОРО в г. Эль-Мусайиб (мухафаза Бабиль) с помощью метода анализа иерархий и простого аддитивного взвешивания [12]. Следует отметить, что цель работы не состояла в отсечении одного из методов как более грубого и менее объективного; окончательное решение было принято путем комплексирования двух цифровых карт, отображавших результаты применения каждого из методов.

Эффективность сочетания многокритериального анализа принятия решений и ГИС-технологий была многократно подтверждена в последние годы. В 2019 г. межнациональным коллективом ученых были выполнены работы по разработке и интеграции системы многокритериального анализа в ГИС ArcGIS 10.2 для проектирования размещения сети муниципальных ОРО в области Джаванруд (Иран). Результатом исследований явилась цифровая карта, отображающая зонирование территории по степени ее пригодности для использования в качестве места размещения ОРО; окончательные выводы были сделаны по результатам полевых обследований [13]. 2020 г. можно считать своеобразной вехой, когда метод анализа иерархий окончательно закрепился в инструментарии, используемом для решения проблем инженерной экологии и обращения с отходами [14–19].

Процесс формализации принятия любого управленческого решения практически всегда несет в себе тень сомнения: не случится ли такая ситуация, когда вынести разрешительный вердикт будет невозможно? Анализ зарубежного опыта показал, что удельный вес территорий, пригодных для размещения ОРО,

широко варьируется. Так, например, в исследованиях, проводившихся в районе Калькутты [14], из 16 предварительно определенных мест размещения ОРО по результатам анализа были одобрены лишь 3. А в индийском городе Тиручирапалли (штат Тамил Наду) всего 29 % рассмотренной территории было признано непригодной для размещения ОРО; 40 % территории было квалифицировано как высоко пригодная, и 31 % – как умеренно пригодная [15]. При проведении подобного исследования в Эфиопии [16] 51 % территории был признан непригодным для размещения ОРО, 20 % – слабо пригодными, 13 % – умеренно пригодными и только 16 % - высоко пригодными. В предельных случаях [13, 18] непригодными для размещения ОРО оказывалось более 90 % исследованной территории. В то же время в работе [19] 69 % территории было квалифицировано как вполне пригодная для размещения ОРО.

Столь значительный разброс конечных результатов объясняется, безусловно, физико-географическими и экологическими различиями исследуемых территорий. Однако следует заметить, что в большинстве случаев моделирование выполнялось на территориях, расположенных в сухих и жарких ближневосточных степях и полупустынях, прилегающих к городам с населением от нескольких сот тысяч жителей до миллиона. В связи с этим встает вопрос об объективности критериев, использовавшихся для оценки.

Наиболее полный перечень учтенных факторов представлен в работе [15] и включает в себя 4 основных фактора (физико-географический, экологический, демографический и культурный), а также обширный набор вспомогательных факторов (sub-factors): геологические и геоморфологические условия, состав почв, крутизна ската, промышленной зоны, растительный покров, индекс NDVI, плотность населения и плотность застройки. Наиболее краткий перечень включает в себя также 4 фактора: характер использования земельного участка, транспортная доступность, локальные экологические проблемы и готовность местного населения смириться с наличием ОРО в месте их проживания [14]. В других работах упоминается расстояние до ближайших водоисточников, подземных вод, тектонических разломов [13], линий водоснабжения и центра города [16], эродированность почв [9], близость к нефтепроводам, газопроводам, ЛЭП [12].

Очевидно, что перечень критериев, учитываемых при принятии решения по размещению ОРО в среде ГИС, характеризуется высокой вариативностью. Зарубежный опыт по формированию критериев может быть учтен, но только в контексте высокого разнообразия климатических и физико-географических условий России, а также современного российского законодательства в области ЕГРН.

Так как полигоны ТКО являются инженерными, специализированными сооружениями, то целесообразней использовать современные компьютерные технологии, для предотвращения экологических катастроф, а также для оценки влияния размещения полигонов на окружающую среду.

Результаты и обсуждение

Выполненный анализ подтвердил оптимальность использования ГИС для комплексного учета природных и техногенных факторов при выборе местопо-

жения ОРО. Ниже будут охарактеризованы основные аспекты для выбора местоположения ОРО.

Геоинформационная система – это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных, которые связаны информацией о необходимых объектах. ГИС хорошо подходит для выбора участков, которая позволяет хранить, извлекать, анализировать и отображать информацию, которая необходима пользователям, а так же ГИС стал важным инструментом для решения задач землепользования. Способность анализировать соотношение между пространственными и отображаемыми объектами, а также связывать различные источники информации, тем самым планировать долгосрочную стратегию все это возможно при помощи ГИС [20, 21].

Планирование новых мест для полигонов захоронения ТБО, для дальнейшей его эксплуатации, необходимо учитывать расположения населенных пунктов.

Отдельным блоком в ГИС необходимо внести атрибутивную информацию о каждом предприятии, такую как, наименование, адрес, необходимые сведения об используемом оборудовании и т.д, так как они имеют особую специфику [22].

В результате использования ГИС-технологий, космических снимков и цифровых карт, появляется возможность выявить и проанализировать информацию о размещении полигонов ТБО, находящихся в населенных пунктах, учитывая особенность природно-техногенных систем в зонах их расположения [23]. Примерный перечень факторов, которые необходимо учесть при выборе местоположения ОРО (рис. 1).



Рис. 1. Факторы выбора местоположения ОРО

С помощью дешифрирования космических снимков можно отследить динамику мест захоронения отходов, информацию занимаемой территории, а также размер СЗЗ (при необходимости) и расстояние до населённых пунктов.

На сегодняшний день БПЛА обладают широким спектром возможностей: фото- и видеонаблюдение в видимом спектре и тепловизионной и лидарной съемкой.

Для полигонов захоронения отходов, с помощью БПЛА, можно решить следующие задачи:

- оперативный контроль эксплуатируемых карт (участков разгрузки мусоровозной техники и работы уплотнительных механизмов) захоронения ТКО;
- визуальный контроль отсутствия воздействия объекта на окружающую среду, оперативное реагирование на нештатные ситуации;
- контроль оптимального заполнения рабочих карт полигона;
- наблюдение за картами захоронения отходов с ограниченным доступом (карты захоронения опасных отходов, нестабильные участки массива захоронения и т. п.);
- мониторинг за проведением рекультивационных работ и последующий контроль растительного покрова рекультивированных территорий;
- выявление и контроль просадок массива отходов;
- визуальное наблюдение участков с ограниченным обзором (склоны массива захоронения);
- поиск очагов возгорания отходов в массиве и т. д.

Одной из основных задач мониторинга складирования отходов, заключается в информативной огласке, которая будет направлена на уменьшение воздействий на прилегающие территории и улучшение санитарно-экологических показателей.

Для решения таких задач следует:

- выполнить идентификацию топогеодезических параметров полигонов;
- определить основные направления переноса продуктов горения мусора;
- установить направление перемещения накопленных отходов с водами водоносных горизонтов и поверхностных стоков [22].

При помощи различных технологий ГИС и современных методов тематического дешифрирования, можно реализовать данные задачи.

Для возможного обеспечения использования результатов мониторинга, необходимо создать специальную информационную базу – геопортал. При помощи геопортала можно выделить некоторые важные инструменты:

- возможность вывода обобщенной статистической информации;
- возможность внесения каких-либо изменений, связанных с объектами;
- автоматическая генерация паспорта объекта.

Данный геопортал будет представлять собой информационную базу, с помощью которой муниципальные службы могут узнать мониторинговую информацию о местах складирования отходов. Также к этому сервису будет обеспечен свободный пользовательский доступ, для оперативного сбора актуальной информации по вновь появляющимся несанкционированным свалкам и рекультивационных работах, поступающих от местных жителей [24, – 27].

С помощью этих инструментов будет возможность объединять данные разного рода, такие как топографические планы, карты, аэрофотоснимки, данные съемки с БПЛА, результаты инженерно-геодезических измерений, для построения цифровых моделей рельефа, визуализации, прогнозирования, моделирования и анализа параметров объектов размещения отходов, а также для проведения комплексных работ [28–30].

Заключение

ГИС и геоинформационные технологии все шире применяются в управленческой деятельности. Управление отходами – одна из отраслей, где использование ГИС особенно эффективно, так как значительно оптимизирует процесс выбора места размещения ОРО, позволяя объективно оценить ущерб от планируемого ОРО для окружающей среды, рассмотреть различные варианты его размещения и выбрать тот, при котором будут эффективно сбалансированы все основные экономические и экологические аспекты функционирования данного ОРО. Но основная ценность ГИС заключается в возможности реализации многокритериального анализа геопространственных данных для решения вышеуказанной задачи. Именно такой подход позволяет максимально точно оценить существующие и перспективные риски для экосистем и здоровья населения. Интеграция разнородных исходных данных, полученных в форме аэрокосмических снимков или материалов съемки БПЛА, закладывает информационную основу для детального обоснования мест возможного размещения ОРО и их мониторинга в процессе эксплуатации. Проработка объектов и факторов многокритериального анализа пространственно – распределенных данных для выбора оптимальной локации ОРО является перспективой дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 07.04.2020) "Об отходах производства и потребления" (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.06.2020)
2. Басов Ю.В. "Влияние свалки бытовых отходов на агроэкологические показатели почвы" Вестник аграрной науки, no. 2 (65), 2017, pp. 26-31.
3. А. Г. Титова. "Оценка влияния полигона твердых коммунальных отходов на окружающую среду с использованием междисциплинарного подхода" Проблемы региональной экологии, no. 2, 2019, pp. 53-58. doi:10.24411/1728-323X-2019-12053
4. ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ Уставич Г.А., Дубровский А.В., Пошивайло Я.Г., Грекова А.О., Малыгина О.И. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2019. Т. 24. № 3. С. 203-221.
5. Шатилов Александр Борисович. "ЭКОЛОГИЯ И ПОЛИТИКА: ДЕСТРУКТИВНЫЕ аспекты идеологии экологизма и деятельности экологических ОРГАНИЗАЦИЙ" Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета, vol. 9, no. 4, 2019, pp. 70-77. doi:10.26794/2226-7867-2019-9-4-70-77
6. Ежов Дмитрий Александрович. "Экологические протесты: реконструкция проблемного поля" Власть, no. 6, 2019, pp. 157-160
7. Богданова Елизавета Михайловна, Есиев Эльдар Таймуразович, and Кравцев Евгений Владимирович. "Экологические конфликты России в 2017 году: анализ, решение и предупреждение" Русская политология, no. 3 (4), 2017, pp. 78-86.

8. Banar, M., Kose, B.M., Ozkan, A. et al. Choosing a municipal landfill site by analytic network process. *Environ Geol* 52, 747–751 (2007). <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0512-x>
9. Yal, G.P., Akgün, H. Landfill site selection and landfill liner design for Ankara, Turkey. *Environ Earth Sci* 70, 2729–2752 (2013). <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2334-y>
10. Shahabi, H., Keihanfard, S., Ahmad, B.B. et al. Evaluating Boolean, AHP and WLC methods for the selection of waste landfill sites using GIS and satellite images. *Environ Earth Sci* 71, 4221–4233 (2014). <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2816-y>
11. El Maguiri, A., Kissi, B., Idrissi, L. et al. Landfill site selection using GIS, remote sensing and multicriteria decision analysis: case of the city of Mohammedia, Morocco. *Bull Eng Geol Environ* 75, 1301–1309 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0889-z>
12. Chabuk, A.J., Al-Ansari, N., Hussain, H.M. et al. GIS-based assessment of combined AHP and SAW methods for selecting suitable sites for landfill in Al-Musayib Qadhaa, Babylon, Iraq. *Environ Earth Sci* 76, 209 (2017). <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6524-x>
13. Karimi, H., Amiri, S., Huang, J. et al. Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 16, 7305–7318 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2151-7>
14. Ali, S.A., Ahmad, A. Suitability analysis for municipal landfill site selection using fuzzy analytic hierarchy process and geospatial technique. *Environ Earth Sci* 79, 227 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12665-020-08970-z>
15. Sadhasivam, N., Sheik Mohideen, A. & Alankar, B. Optimisation of landfill sites for solid waste disposal in Thiruverumbur taluk of Tiruchirappalli district, India. *Environ Earth Sci* 79, 522 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09264-0>
16. Balew, A., Alemu, M., Leul, Y. et al. Suitable landfill site selection using GIS-based multi-criteria decision analysis and evaluation in Robe town, Ethiopia. *GeoJournal* (2020) <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10284-3>
17. Karakuş, C.B., Demiroğlu, D., Çoban, A. et al. Evaluation of GIS-based multi-criteria decision-making methods for sanitary landfill site selection: the case of Sivas city, Turkey. *J Mater Cycles Waste Manag* 22, 254–272 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00935-0>
18. Saleh, S.K., Aliani, H. & Amoushahi, S. Application of modeling based on fuzzy logic with multi-criteria method in determining appropriate municipal landfill sites (case study: Kerman City). *Arab J Geosci* 13, 1219 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06213-w>
19. Mahmood, K.W., Khzr, B.O., Othman, R.M. et al. Optimal site selection for landfill using the boolean-analytical hierarchy process. *Environ Earth Sci* 80, 173 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09501-0>
20. Применение беспилотных летательных аппаратов для обследования объектов захоронения твердых коммунальных отходов. Н. Н. Слюсарь, Г. М. Батракова, Р. Д. Гарифзянов. Сборник научных трудов «Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края» 10 выпуск, с. 50-54
21. Яроцкая Е. В., Патов А. М. Развитие отечественных географических информационных систем в условиях импортозамещения / Яроцка Е. В., Патов А. М. / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета 2016. № 117 Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-otechestvennyhgeografiche-skih-informatsionnyh-sistem-v-usloviyah-importozamescheniya>.
22. Мамась Н. Н. Разработка технологии прогнозирования разрушения берегов рек Краснодарского края /Сб. ст. по матер. 71-й науч.-практ. конф. преподавателей по итогам НИР за 2015 год – Краснодар : КубГАУ, 2016. С. 23–25.
23. Использование ГИС-технологий в решении проблем утилизации твердых бытовых отходов. Райков Н. Н., Мамась Н. Н., Студенческая научно-практическая конференция «Студенческие научные работы инженерно-землеустроительного факультета», КубГАУ, Краснодар, 2017 г. С. 110-116

24. Абросимов А. В., Никольский Д. Б., Шешукова Л. В. Использование космических снимков и геоинформационных технологий для мониторинга мест складирования отходов // Геоматика. – 2013. – 1(18). – С. 68–74.

25. Использование геоинформационных технологий для мониторинга мест складирования отходов. Шибалова Г. В., Научно-практический журнал «Природообустройство» №3, , Российский государственный аграрный университет- МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015 г. С.22-26

26. Сафрончук М.В., Кандауров С.В. Стимулирование «мусорного» рынка снижает накопление отходов (опыт регулирования в США) // Экономика и управление: проблемы, решения. 2019. Т. 8. №1. С. 4-15.

27. Яроцкая Е. В., Патов А. М. Практика применения географических информационных систем при территориальном управлении в Карачаево- 116 Черкесской республике / Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики: материалы VI Международной научно-практической конференции, 1–3 марта 2016 г.: в 2 ч. Ч. 1 [Текст] / под ред. Т. Ю. Овсянниковой, И. Р. Салагор. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. С. 333– 34

28. Байдулова М.К. Результаты биотестирования почвы при проведении мониторинга полигонов твердых бытовых отходов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2016. №4(18). С. 44-48.

29. Матросов А.С. Управление отходами. – М.: Гардарики, 1999. – 480 с.

30. Петров С. А. Использование ГИС-технологий в процессе комплексного регулирования твердыми коммунальными отходами. Московский экономический журнал №2, 2020. С. 77-85

© О. Н. Николаева, Е. А. Майманова, 2023