

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ ЕМКОСТИ ПОЛИГОНА ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЕМКИ БПЛА

Зиннатов Марат Рифатович, Ахметзянова Лейсан Габбасовна, Усманов Булат

Мансурович, Курицин Иван Николаевич

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Mzinn424@gmail.com

*Аннотация: Ключевой проблемой современных городских территорий является захоронение отходов. Увеличение урбозкосистем приводит к привлечению новых участков под обращение с отходами. Однако в большинстве случаев возможно продление срока службы полигонов ТКО после оценки их остаточной емкости. Современным решением для оценки емкости может являться аэрофотосъемка с помощью использования БПЛА для получения данных. Последующая обработка полученных данных и сравнения их с проектными характеристиками позволяет оценить возможность продолжения эксплуатации полигона. Ключевые слова: БПЛА, полигон ТКО, остаточная емкость, аэрофотосъемка, цифровая модель рельефа, рельеф*

Для цитирования: Зиннатов М.Р., Ахметзянова Л.Г., Усманов Б.М., Курицин И.Н. Оценка остаточной емкости полигона ТКО с использованием данных аэрофотосъемки БПЛА // Астраханский вестник экологического образования. 2026, №1 (91). С. 46-51 DOI 10.36698/2304-5957-2026-1-46-51

Earth Sciences

Original article

## ASSESSMENT OF THE RESIDUAL CAPACITY OF THE MSW LANDFILL USING UAV AERIAL PHOTOGRAPHY DATA

Zinnatov Marat Rifatovich, Ahmetzyanova Lejsan Gabbasovna, Usmanov Bulat

Mansurovich, Kuricin Ivan Nikolaevich

Kazan (Volga region) Federal University

*Abstract: The key problem of modern urban areas is the disposal of MSW waste. The increase in urban ecosystems leads to the attraction of new sites for waste management. However, in most cases, it is possible to extend the service life of MSW landfills after assessing their residual capacity. Aerial photography using UAVs to obtain data can be a modern solution for capacity assessment. The subsequent processing of the data obtained and their comparison with the design characteristics makes it possible to assess the possibility of continuing operation of the landfill.*

*Key words: UAV, MSW landfill, residual capacity, aerial photography, digital relief model, relief*

For citation: Zinnatov M.R., Akhmetzyanova L.G., Usmanov B.M., Kuricin I.N. Estimation of the residual capacity of the MSW landfill using UAV aerial photography data // Astrakhan Bulletin of Ecological Education. 2026, №1 (91): 46-51 DOI 10.36698/2304-5957-2026-1-46-51

### Введение

Современные городские агломерации представляют собой сложную систему, одной из важнейших составляющих которой является обращение с отходами. Проблема переработки и утилизации отходов является неотъемлемой частью функционирования урбозкосистем и важным аспектом при планировании развития территорий и устойчивого развития городских агломераций.

Обращение с отходами представляет собой актуальную комплексную задачу, затрагивающую социальные, экологические и экономические аспекты [8]. Современная

ситуация характеризуется серьезными негативными последствиями для окружающей среды: загрязнением атмосферы, водоемов и почвы. В первую очередь негативные последствия возникают вследствие отведения размещения отходов. Огромные объемы, крупнотоннажность в совокупности с неправильными управленческими решениями при захоронении отходов приводят к привлечению дополнительных площадей под размещение отходов, что является актуальной задачей в России и в мире [2].

Основным видом утилизации отходов является захоронение на полигонах твердых коммунальных отходов (ТКО). Складирование отходов способствует увеличению эмиссии парниковых газов, усугубляя глобальные климатические изменения и их негативные последствия. Значительные площади земель отводят под полигоны ТКО, исключая из хозяйственного оборота и, превращая в потенциальные источники загрязнения близлежащих территорий, при этом происходит нарушение условий функционирования естественных экосистем [3].

В терриконе непрерывно происходят процессы разложения и биодegradации органических веществ, что наряду с частыми нарушениями технологических процессов при переполнении приводят к отклонению площади и объема полигона от проектных показателей [5].

В связи с вышесказанным, установление реальных геометрических характеристик тела полигона ТКО имеет критически важное значение, так как точное определение остаточного объема позволяет дать объективную оценку достижения проектных габаритов полигона и рассчитать возможность и срок дальнейшей эксплуатации без использования дополнительных территорий [7].

Геоинформационные методы пространственного анализа активно применяют для оценки текущего состояния полигонов ТКО [3]. Современные методы проведения полевых измерений обеспечивают получение достаточно точных результатов. Для мониторинга состояния полигона часто используют метод стереокамеры [7]. Однако самым распространенным методом на текущий момент остается традиционный метод получения данных, а именно топографическая съемка территории полигона с использованием геодезических приборов, таких как нивелиры, тахеометры и наземные лазерные сканеры (TLS), а в последнее время и спутниковое оборудование GNSS [6, 4, 11]. Несмотря на распространенность и изученность, традиционные методы полевых исследований очень трудоемкие, создание системы постоянного мониторинга на основе данных, полученных с их помощью, является дорогостоящим и длительным мероприятием. Проведение полевых исследований с помощью геодезических приборов и обработка данных может занимать несколько недель, что не позволяет проводить мониторинг объекта размещения отходов в реальном времени [11].

Перспективным направлением для регулярного мониторинга полигонов может оказаться использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для получения данных об изменении геометрии полигонов и построения фотограмметрических 3D-моделей. Совмещение технологий наземного лазерного сканирования (TLS) и использования БПЛА обеспечивает высокую эффективность и точность расчета остаточной емкости полигонов [9, 10, 12].

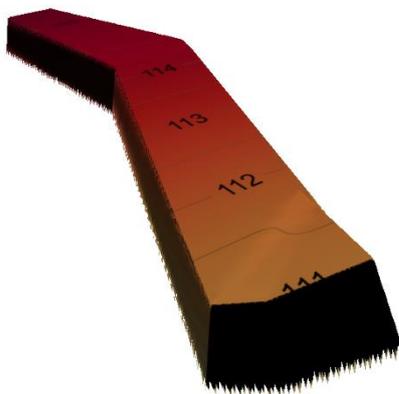
В данной работе мы продолжаем исследования по определению остаточной емкости полигонов ТКО с использованием БПЛА на примере полигона твердых коммунальных отходов районного центра Республики Татарстан.

### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследования является полигон твердых коммунальных отходов (ТКО) муниципального района Республики Татарстан, местоположение полигона является коммерческой тайной и не подлежит разглашению.

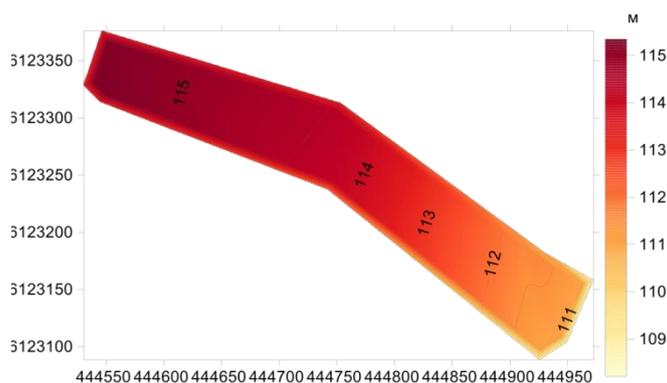
Полигон введен в эксплуатацию в 1999 году с проектной мощностью 100000 м<sup>3</sup>. Емкость полигона должна обеспечить функционирование в качестве места захоронения отходов в течении 20 лет.

Для оценки остаточной емкости были обработаны проектные характеристики и построена 3D-модель полигона.



**Рис. 1. Модель надземной части проектного холма захоронения полигона ТКО.**  
**Fig. 1. Model of the aboveground part of the project landfill hill.**

Площадка полигона представляет собой овраг площадью 3,65 га с относительно ровным рельефом. Толщина слагающих пород а участке практически безводная.



**Рис. 2. Карта рельефа надземной части проектного холма захоронения полигона ТБО**  
**Fig. 2. Relief map of the aboveground part of the project landfill hill**

На момент обследования полигон ТКО огорожен, охраняется, функционирует. Организация работ по сбору, складированию, уплотнению и изоляции отходов определяется технологической схемой эксплуатации, разработанной в проекте. Твердые коммунальные отходы поступают на полигон в неуплотненном виде.

Для оценки текущего состояния полигона на момент исследования были выполнены аэрофотосъемочные работы с использованием беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4.

Метеоусловия в момент проведения съемок имели следующие характеристики: ясно, скорость ветра 8 м/с. Высота съемки производилась на высоте 70 м.

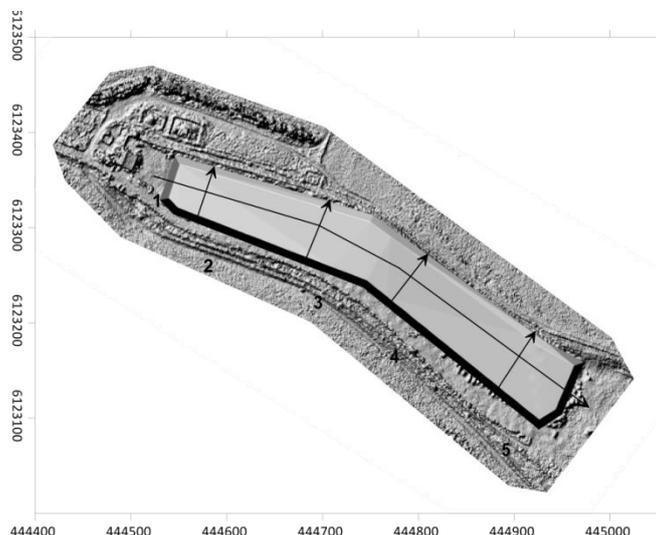
Координаты опорных точек, в количестве 6 шт., определялись с применением GNSS-приемника методом RTK с точностью 1-2 см.

### **Результаты и обсуждение**

Оценка остаточной вместимости полигона ТКО была проведена путем сопоставления проектного объема наземной части холма захоронения с фактическим объемом накопленных

отходов [1]. Были построены цифровые модели по данным высотных характеристик полигона при его заполнении.

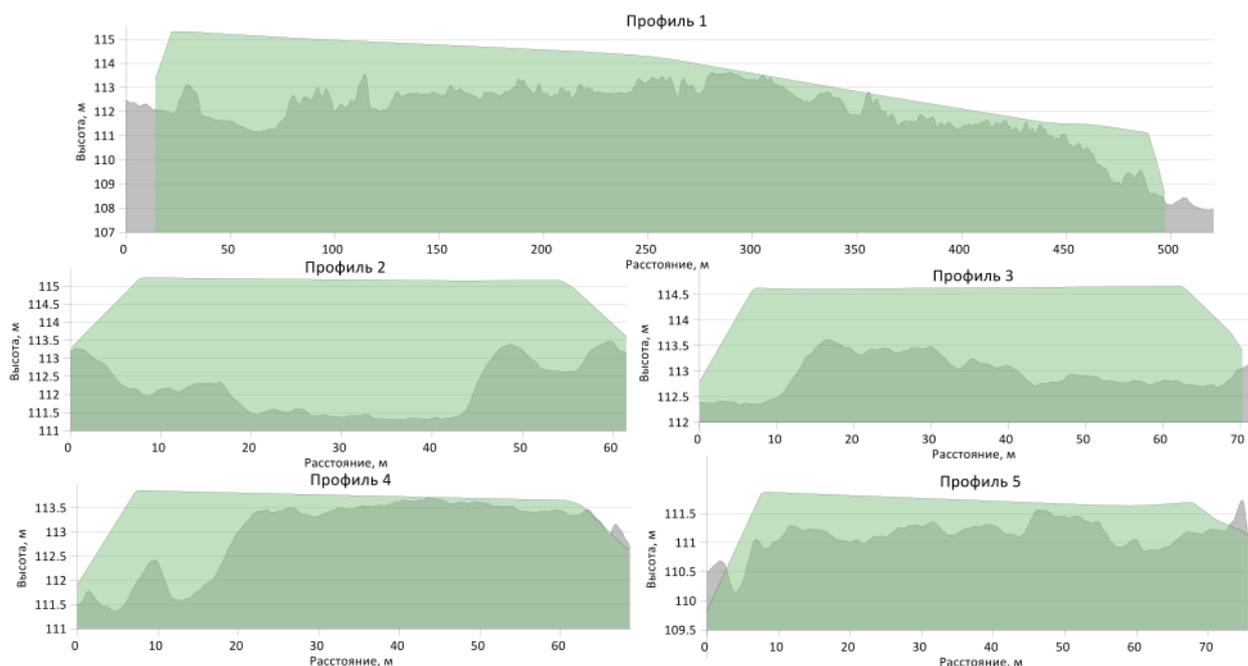
Цифровая модель рельефа надземной части зоны захоронения построена, исходя из контура данной зоны (480 м x 80 м), высоты холма от рельефа (2 м), и заложения внешних откосов 1:4. Карта рельефа проектного холма захоронения, его ЦМР и поперечные профили показаны на рисунке 5.



**Рис. 3. Цифровая модель проектного и фактического рельефа по состоянию на момент обследования полигона ТКО**

**Fig. 3. Digital model of the design and actual relief as of the time of the MSW landfill study**

Для расчета остаточного объема в надземной части строили модель проектного рельефа зоны захоронения. Далее, объем надземной части рассчитывался путем вычитания модели фактического рельефа на момент съемки из проектной. Из полученного объема вычитался объем финальной отсыпки грунтом - 17 855 м<sup>3</sup>.



**Рис. 6. Поперечные профили проектного холма захоронения полигона ТКО (серым фон - фактическое захоронение на момент обследования, зеленым фон - проектное расположение тела полигона)**

**Fig. 6. Transverse profiles of the design hill of the landfill landfill (gray background - the actual burial at the time of the study, green background - the design location of the landfill body)**

По результатам геодезических работ, обработки результатов аэрофотосъемки, согласно проектным данным, проектная вместимость полигона ТКО составляет 100 000 м<sup>3</sup>, остаточная емкость время исследования составляет – 26 574 м<sup>3</sup> или 26,5% от проектной вместимости наземной части зоны захоронения, включая отходы, которые идут на пересыпку слоев согласно п. 5.2. СанПиН 2.1.7.1038-01 Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов.

Величина остаточной емкости 26,5% от проектной указывает на возможность дальнейшей эксплуатации полигона без привлечения дополнительных земельных участков, что благоприятно отразится на других площадях, позволяя эффективно использовать территории городских агломерации для более перспективных направлений деятельности и эксплуатации земельных участков [6].

Согласно полученным результатам необходимо произвести ревитализацию имеющихся территорий с целью эффективной организации пространства полигона. Рекомендуется привести морфологию тела полигона в соответствии с проектом: убрать отходы, которые отнесены ветром с прилегающей территории, сформировать откосы тела полигона и привести границы к проектным решениям, сформировать уклон техногенного тела полигона ТКО в соответствии с проектом, а также нанести изолирующий слой грунта на поверхность полигона в зонах конечного этапа функционирования захоронения.

При проведении работ рекомендуется продолжать получение массива данных с помощью предлагаемого метода с целью осуществления мониторинговых наблюдений процессов деформации и усадки тела полигона.

### **Выводы**

По результатам полевых исследований участка, построения цифровых моделей рельефа были получены объективные данные о фактическом состоянии полигона ТКО. Использование БПЛА в качестве средства получения данных позволило быстро и эффективно провести оценку остаточной емкости захоронения и соответствие границ полигона проектным характеристикам и дать рекомендации для дальнейшей эксплуатации участка без вовлечения дополнительных земельных ресурсов.

Определение объема отходов, складированных на полигоне, и оценки остаточной ёмкости объекта представляется здесь наиболее перспективным для методической проработки – как с точки зрения интересов эксплуатирующих организаций, так и с точки зрения накопленного опыта зарубежных исследований.

### **Литература**

1. Ахметзянова Л.Г. Контроль заполняемости полигона отходов Республики Марий Эл с применением результатов аэрофотосъёмки / Л.Г. Ахметзянова, Б.М. Усманов, М.Р. Зиннатов, И.Н. Курицин // Российский журнал прикладной экологии. - 2024. - № 1. - С. 30-38.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. 685 с.
3. Babu G., Kumar S., Reddy K.R. Approach for the use of MSW settlement predictions in the assessment of landfill capacity based on reliability analysis // Waste management. 2013. Vol. 33, №10. P. 2029–2034. doi: 10.1016/j.wasman.2013.05.018.
4. Baiocchi, V., 2019. UAV for monitoring the settlement of a landfill. European Journal of Remote Sensing. Vol.52(3). P.41–52.
5. Chen, Y.M., Zhan, L.T., Wei, H.Y., Ke, H., 2009. Aging and compressibility of municipal solid wastes. Waste Management. № 29 (1), P. 86–95.
6. Gasperini, D., 2014. Potential and limitation of UAV for monitoring subsidence in municipal landfills. International Journal Environmental Technology and Management. Vol.17(1). P. 1.
7. Mello, Caio & Salim, Daniel & Simões, Gustavo. (2022). UAV-based landfill operation monitoring: A year of volume and topographic measurements. Waste Management. 137. 253-263. 10.1016/j.wasman.2021.11.020.
8. Rossit, D.G.; Nesmachnow, S. Waste bins location problem: A review of recent advances in the storage stage of the Municipal Solid Waste reverse logistic chain. J. Clean. Prod. 2022, 342, 130793.
9. Silva, da C.A., Duarte, C.R., Souto, M., Silva dos Santos, A.L., 2016. Evaluating the accuracy in volume calculation in a pile of waste using UAV, GNSS and LiDAR. Boletim de Ciencias Geodesical. Vol.22(1). P. 73–94.

10. Tucci, G., 2019. Monitoring and Computation of the Volumes of Stockpiles of Bulk Material by Means of UAV Photogrammetric Surveying. *Remote Sensing*. Vol.11(12). P. 1471.
11. Yermolaev, O., Usmanov, B., Gafurov, A., Poesen, J., Vedeneeva, E., Lisetskii, F., Nicu, I.C., 2021. Assessment of Shoreline Transformation Rates and Landslide Monitoring on the Bank of Kuibyshev Reservoir (Russia) Using Multi-Source Data. *Remote Sensing*. 13(21):4214.
12. Yoo, H.T., 2017. A Preliminary Study on Disaster Waste Detection and Volume Estimation Based on 3D Spatial Information. *Computing in Civil Engineering 2017*. Seattle, Washington: American Society of Civil Engineers, P. 428–435.

#### References

1. Akhmetzyanova L.G. Filling control of the landfill of the Republic of Mari El using aerial photography results / L.G. Akhmetzyanova, B.M. Usmanov, M.R. Zinnatov, I.N. Kuritsin // *Russian Journal of Applied Ecology*. - 2024. - No. 1. - pp. 30-38. (in Russian)
2. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2021. State Report. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2022. 685 p. (in Russian)
3. Babu G., Kumar S., Reddy K.R. Approach for the use of MSW settlement predictions in the assessment of landfill capacity based on reliability analysis // *Waste management*. 2013. Vol. 33, №10. P. 2029–2034. doi: 10.1016/j.wasman.2013.05.018.
4. Baiocchi, V., 2019. UAV for monitoring the settlement of a landfill. *European Journal of Remote Sensing*. Vol.52(3). P.41–52.
5. Chen, Y.M., Zhan, L.T., Wei, H.Y., Ke, H., 2009. Aging and compressibility of municipal solid wastes. *Waste Management*. № 29 (1), P. 86–95.
6. Gasperini, D., 2014. Potential and limitation of UAV for monitoring subsidence in municipal landfills. *International Journal Environmental Technology and Management*. Vol.17(1). P. 1.
7. Mello, Caio & Salim, Daniel & Simões, Gustavo. (2022). UAV-based landfill operation monitoring: A year of volume and topographic measurements. *Waste Management*. 137. 253-263. 10.1016/j.wasman.2021.11.020.
8. Rossit, D.G.; Nesmachnow, S. Waste bins location problem: A review of recent advances in the storage stage of the Municipal Solid Waste reverse logistic chain. *J. Clean. Prod.* 2022, 342, 130793.
9. Silva, da C.A., Duarte, C.R., Souto, M., Silva dos Santos, A.L., 2016. Evaluating the accuracy in volume calculation in a pile of waste using UAV, GNSS and LiDAR. *Boletim de Ciencias Geodesical*. Vol.22(1). P. 73–94.
10. Tucci, G., 2019. Monitoring and Computation of the Volumes of Stockpiles of Bulk Material by Means of UAV Photogrammetric Surveying. *Remote Sensing*. Vol.11(12). P. 1471.
11. Yermolaev, O., Usmanov, B., Gafurov, A., Poesen, J., Vedeneeva, E., Lisetskii, F., Nicu, I.C., 2021. Assessment of Shoreline Transformation Rates and Landslide Monitoring on the Bank of Kuibyshev Reservoir (Russia) Using Multi-Source Data. *Remote Sensing*. 13(21):4214.
12. Yoo, H.T., 2017. A Preliminary Study on Disaster Waste Detection and Volume Estimation Based on 3D Spatial Information. *Computing in Civil Engineering 2017*. Seattle, Washington: American Society of Civil Engineers, P. 428–435.