

ЗОНИРОВАНИЕ КОНТРОЛИРУЕМЫХ И НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

А.Г. Титова^{1*}, А.А. Медведев¹

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия

* anastasititova@igras.ru

Цитирование: Титова А.Г., Медведев А.А. Зонирование контролируемых и неконтролируемых объектов захоронения коммунальных отходов на основе данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 6. С. 634-646. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-6-634-646

Ключевые слова. твердые коммунальные отходы, дистанционное зондирование, беспилотные летательные аппараты, несанкционированные свалки, захоронение отходов, мониторинг свалки, зонирование свалки, загрязнение отходами, карта свалок, ретроспективный анализ.

Аннотация

Рост количества твердых коммунальных отходов (ТКО) обычное явления для многих стран мира. В России сложилась ситуация, когда рост ТКО связан с увеличением количества образования нелегальных свалок и официальных полигонов ТКО, т.к. основным методом удаления отходов от населения является их захоронение на земельных участках или специально оборудованных сооружениях, которые являются источниками негативного воздействия на окружающую среду. Таким образом, необходимость изучения подобных объектов актуальна в России, однако, она столкнулась со сложной ситуацией получения качественных пространственных данных на места захоронения отходов (МЗО). Поэтому нами проведен анализ количества свалок и полигонов на Европейской территории России и изучены ключевые МЗО с целью демонстрации преимущества использования крупномасштабных пространственно-временных данных, включая данные дистанционного зондирования, полученные с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), для выявления зон с однородными условиями для разных по способу управления объектов. Основным методом исследования является мониторинг МЗО, который основывается на эффективных и оперативных методах и технологиях получения информации, а именно, на данных БПЛА, географических информационных систем и методов картографирования. Результатом мониторинга является выделение схожих и различных зон МЗО, и установление их наличия в зависимости от вида управления МЗО. Исследование показало, что зонирование с использованием БПЛА позволяет расширить инструменты мониторинга МЗО для дальнейшего анализа их влияния на окружающую среду, которые эффективно интегрируются в отрасль по обращению с отходами.

1 Введение

Рост количества ТКО наблюдается во многих странах, в частности и в России, где в 2019 г. образовалось 65 млн тонн ТКО, или 450 кг на человека¹. Данное явление является проблемой для России в связи с тем, что основным методом удаления отходов от источников их образования является захоронение мусора на нелегальных свалках и официальных полигонах ТКО. Это подтверждается правительственными данными, например, вывозимых ТКО на полигоны от общего объема вывозимых ТКО в 2017 г. составил около 50,9 тыс. т, или 87% от всех образующихся ТКО, в 2018 г. – 47,9 тыс. т, или 87%². В свою очередь рост ТКО в нашей стране приводит к увеличению количества образования МЗО. К сложившейся ситуации накладывается тот факт, что ТКО, представляя собой смесь разнородных материалов и изделий, не проходят тщательную сортировку перед их захоронением и вместе с неопасным мусором на МСЗ поступают токсичные и легко воспламеняющиеся отходы.

В России в подавляющем большинстве случаев МЗО образовывались стихийно в прошлом веке в отработанных карьерах, различных выемках, котлованах – без учета природоохранных требований, планировочных ограничений и технологических решений. В частности, не учитывалось геологическое строение, гидрогеологические и ландшафтно-геохимические условия, сложившаяся социально-экономическая обстановка и культурно-исторический облик региона. Защитные инженерные мероприятия (гидроизоляция, строительство систем сбора фильтрата и свалочного газа и т.д.), как до начала, так и в процессе эксплуатации объектов не проводились [1].

Важная особенность МЗО их открывая незамкнутая система, взаимодействующая со всеми компонентами природной среды и хозяйственной деятельностью человека [2-5]. В процессе неправильной эксплуатации полигонов (свалок) на границах санитарно-защитных зон наблюдаются такие негативные процессы как: загрязнение атмосферного воздуха, запыление, выделение неприятного запаха аммиака, сероводорода, диоксида серы и др. веществ; загрязнение поверхностных и подземных вод, изменение их гидрохимических и биологических показателей, ухудшение качества вод; техногенное загрязнение ландшафта, загрязнение и уничтожение почвенного

покрова; увядание растительности [6]. Все эти показатели влияют на здоровье населения близлежащих районов и на качество природной среды. Несмотря на приведение действующих полигонов к гигиеническим нормам и требованиям по устройству и содержанию, влияние такого техногенного объекта на окружающую среду невозможно полностью ограничить, но возможно удержать на уровне минимального негативного воздействия.

Полигоны (свалки) зачастую занимают огромную территорию, тем самым вызывают затруднение в оценке степени влияния на окружающую среду, а также, оценке правильности исполнения технологии захоронения отходов. Помимо существующих проблем при захоронении отходов в России отсутствует четкий механизм мониторинга МЗО, который бы позволил получить качественные пространственные данные. На официальном уровне при мониторинге подобных объектов полностью отсутствует блок использования крупномасштабных пространственно-временных данных. Необходимо подчеркнуть то, что измененные свойства природных компонентов и их сочетание, вследствие негативного воздействия ТКО, будут влиять на устойчивость геосистем по-разному в зависимости от географического положения. Например, из климатических характеристик четкие взаимосвязи прослеживаются между устойчивостью геосистем и соотношением тепла и влаги. Так, наибольшей устойчивостью к разным воздействиям обладают природно-территориальные комплексы (ПТК) с оптимальным соотношением тепла и влаги, а наименьшей – ПТК с резко выраженными лимитирующими факторами по теплу и увлажнению и большими амплитудами их колебаний [7].

Поэтому, целью данного исследования было проведение анализа количества свалок и полигонов на Европейской территории России и изучение ключевых объектов исследования МЗО, для демонстрации преимуществ использования крупномасштабных и пространственно-временных данных, включая данные дистанционного зондирования, полученные с БПЛА. И, в качестве первого направления по использованию данных дистанционного зондирования, географических информационных систем и методов картографирования приведено исследование по выявлению зон с однородными условиями на МЗО, различающихся по способу управления [8-10].

¹ Сайт Счетной палаты Российской Федерации. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ выполнения мероприятий, обеспечивающих экологическую безопасность Российской Федерации, в части ликвидации объектов накопленного вреда и формирования комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами». URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/41b/41b02dc50697e6fc57ec2f389a8b68f0.pdf> (дата обращения: 15.08.2020)

² Государственные доклады «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady (дата обращения: 12.05.2019)

2 Материалы и методы

Предыдущие исследования влияния свалок и полигонов на Европейской территории России показали эффективность применения дистанционных методов исследования, а именно, на основе данных дистанционного зондирования (космических снимков и снимков, сделанных с беспилотного летательного аппарата) оценивались тепловые и геометрические характеристики и показатели объектов [11-13]. Следует различать контролируемые и неконтролируемые объекты захоронения отходов. К контролируемым объектам относят полигоны ТКО, включенные в Государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО)³, а также, санкционированные свалки, которые эксплуатируются с разрешения муниципальных властей.

К неконтролируемым объектам относятся несанкционированные свалки, стихийно образовавшиеся места складирования отходов, места захламления.

Для зонирования МЗО, в частности для их сравнения, были выбраны оба вида техногенного объекта – один контролируемый полигон ТКО в Московской области (Объект 1) и две неконтролируемые свалки в Тульской области (Объект 2, Объект 3).

В исследовании задействованы крупномасштабные пространственно-временные данные, включая данные ДЗЗ, полученные с БПЛА.

В качестве данных выступают фрагменты космических снимков, которые находятся в открытых источниках и сервисах мозаичных покрытий, таких как веб-картографический сервис Google Earth Pro, WFS слой Esri «World Imagery» Map (Табл. 1.).

Объект исследования	Космический аппарат	Пространственное разрешение, м/пиксель	Дата съемки	ID снимка
Объект 1	QuickBird	2,4	04.07.2006	1010010005101F00
	GeoEye-1	1,65	21.06.2010	1050410001B40B00
	Pleiades-1A	2,0	18.05.2014	DS_PHR1A_201405260848089_SE1_PX_E037N54_0519_04826
	WorldView-2	1,84	01.06.2016	103001005832C700
	WorldView-2	1,84	31.07.2017	103001006E4C5B00
Объект 2	GeoEye-1	1,65	27.04.2012	1050410000B0C200
	WorldView-3	1,24	10.04.2015	104001000AD73500
	WorldView-3	1,24	15.09.2017	1040010033397F00
	Pleiades-1B	2,0	08.05.2018	DS_PHR1B_201805080847541_FR1_PX_E036N53_1017_04750
Объект 3	WorldView-3	1,24	02.07.2015	104001000D82DE00
	GeoEye-1	1,65	06.08.2016	1050010005A74E00
	WorldView-4	1,23	08.05.2018	f2347d89-ced8-4a99-94d1-245377005e5f-inv
	WorldView-2	1,84	17.10.2018	103005007DF99800

Таблица 1. Сведения о космических снимках, используемых в настоящем исследовании.

³ Государственный реестр объектов размещения отходов. URL: <https://uoit.fsrpn.ru/groro/> (дата обращения: 12.02.2019)

Для съемки ключевых МЗО использовался БПЛА DJI Inspire 1 PRO, оснащенный оптическими RGB-камерами гиостабилизирующими платформами и навигационными GNSS-приёмниками, позволяющими получать координаты центральных точек снимков. Управление полётами и съёмкой с БПЛА осуществлялось в ручном режиме так, чтобы получаемые снимки имели перекрытие по маршруту не менее 90% [14]. Всего было совершено пять облетов исследуемых свалок и полигона. Параметры и характеристики оптической аэрофотосъемки исследуемых объектов захоронения отходов приведены в Таблице 2.

С целью повышения пространственной точности результатов дешифрирования для аэрофотоснимков (АФС) была проведена радиометрическая и геометрическая калибровки, фотограмметрическая обработка в программе Agisoft PhotoScan. В результате анализа АФС в ГИС-среде были получены плановые изображения (ортофотопланы), обеспечивающие максимальную точность определения положения объектов на местности и их пространственных характеристик, карта высот, тайловая модель, 3D модель. В программе Global Mapper проводились метрические вычисления параметров свалок и полигона (площадь, высота, объем). Для соотнесения

границ объекта с границами выделенного кадастрового участка были подгружены WMS (Web Map Service) Публичной кадастровой карты. Все пространственные данные были представлены в проекции UTM, зона 37 на эллипсоиде WGS-84. Дешифрирование и зонирование объектов исследования выполнено визуальным методом со зрительным и логическим видами восприятия исследователя по системе дешифровочных признаков [15].

В данном исследовании помимо перечисленных показателей и характеристик данные ДЗЗ использовались для зонирования тела полигона и свалок. Зонирование направлено на выделение в пределах этих территорий типов техногенных почв, фитоценотивов, функциональных зон. Приведенный тип зонирования позволит оценить: площадь, периметр, географическое положение, моменты инерции, динамику изменения объекта во времени, высоту, угол откоса, объем, дать анализ нагрузкам объекта на геосистему, осуществлять контроль над границами участков складирования ТКО, осуществлять контроль за технологией захоронения отходов, выявлять факторы хозяйственной деятельности (в том числе незаконной) на объекте, минимизировать затраты на исследование большой территории и пр.

Параметры съёмки	Объект 1	Объект 2		Объект 3	
Дата съёмки	27.04.2018	07.05.2017	07.05.2019	05.08.18	07.05.19
Количество исходных снимков	303	140	202	134	322
Средняя плотность фотограмметрических облаков точек, точек/м ²	7,35	47	46,6	29,2	48
Пространственное разрешение ортофотомозаик, см/пикс	4,38	3,65	3,66	4,63	3,61
Пространственный охват итоговых данных, км ²	0,682	0,165	0,216	0,54	0,507
Высота полёта, м	214	150	158	202	208
ЦММ (разрешение), см/пикс	36,9	18,5	14,6	18,5	14,4

Таблица 2. Параметры и характеристики оптической аэрофотосъемки исследуемых объектов захоронения отходов.

3 Результаты

Информацию по захлавлению территории несанкционированными свалками можно найти в сети «Интернет» в открытом доступе, например, ФГИС «Наша природа»⁴ и открытый сетевой ресурс «Интерактивная карта свалок»⁵ на которой с прикреплением фотоматериалов размещается информация об образовании стихийных свалок жителями. На основе данных ГРОРО и открытых источников о свалках и местах захоронения отходов были составлены две карты, показывающие местоположения полигонов ТКО и плотность несанкционированных свалок и мест скопления мусора (стихийно образовавшихся мест складирования отходов) на Европейской территории России (Рис. 1, 2).

По состоянию на начало 2019 г. на Европейской территории России насчитывается 622 полигона ТКО. Например, в Архангельской области – 20 полигонов ТКО, в Тверской области – 4 полигона ТКО, в Курской области – 7 полигонов ТКО, в Тульской области – 10 полигонов ТКО и т.д. В Московской области в 2019 г. насчитывается 15 контролируемых ОРО, 6 из которых заполнены более чем на 50 %, а самым крупным из них является полигон «Тимохово» в Ногинском городском округе с проектной вместимостью 45 млн т. Всего обустроенных полигонов ТКО в целом по стране около трех тысяч (2832) из них 1153 полигона включены в ГРОРО, что гораздо меньше количества свалок, которых более 8 тыс. (8323). Количество несанкционированных свалок составляет более 25 тыс. (27189), общая площадь

которых составила 12755 га, хотя они представляют самую большую экологическую опасность и должны расцениваться как уже накопленный за истекшие десятилетия экологический ущерб⁶. ОРО занимают площадь более 50 тыс. га, что соизмеримо с 4 площадями Национального парка «Лосиный остров».



Рис. 1. Полигоны ТКО Европейской территории России.

⁴ ФГИС «Наша природа». URL: <https://www.priroda-ok.ru/> (дата обращения: 13.02.2019)

⁵ Интерактивная карта свалок. URL: <http://kartasvalok.ru/> (дата обращения: 13.02.2019)

⁶ Сайт Счетной палаты Российской Федерации. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ выполнения мероприятий, обеспечивающих экологическую безопасность Российской Федерации, в части ликвидации объектов накопленного вреда и формирования комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами». URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/41b/41b02dc50697e6fc57ec2f389a8b68f0.pdf> (дата обращения: 15.08.2020)

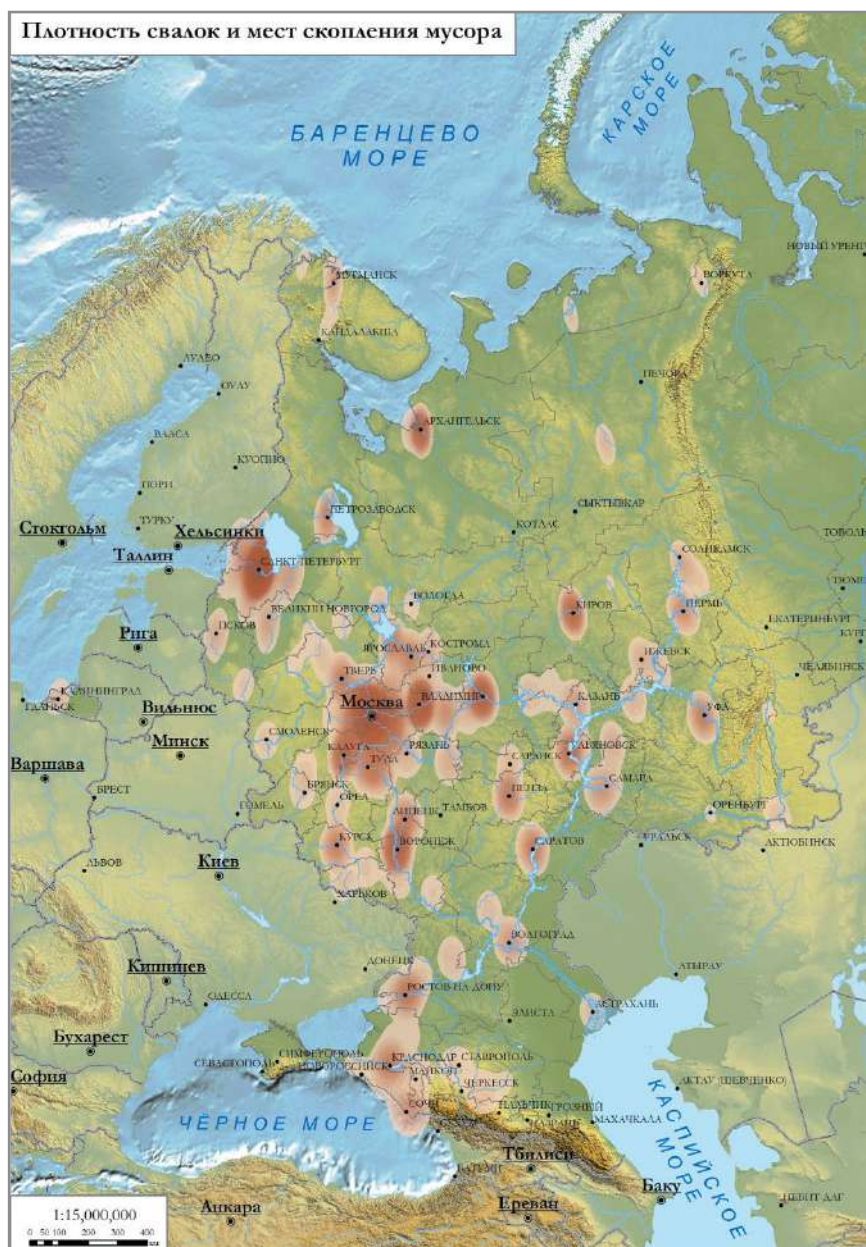


Рис. 2. Плотность свалок и мест скопления мусора Европейской территории России.

Первым отличием между контролируемым и неконтролируемым МЗО является очертание линий их границ, что особенно прослеживается при ретроспективном анализе снимков (Рис. 3). Объект 1 имеет четкие границы полигона четырехугольной формы, в то время как Объекты 2 и 3 не имеют ярко выраженных границ на протяжении всех наблюдений. Границы свалок проведены по спектральным характеристикам отходов на снимке. Изменение границ полигона ТКО свидетельствует о равномерном увеличении площади объекта, а изменения границ свалок показывают неравномерное изменение площади, имея то положительную, то отрицательную

тенденцию, что свидетельствует о хаотичном захоронении отходов. Попросту поверхность свалок покрывалась ценофобной, кустарниковой растительностью, а затем, на неё складировались отходы.

Геометрические параметры на плоскости по результатам анализа данных ДЗЗ приведены в Таблице 3.

Контролируемый Объект 1 в разы больше несанкционированных свалок, имеет четкие границы в четырехугольной форме, массы отходов сконцентрированы на рабочих площадках, вытянутость фигуры на север и на юг равномерная. Свалки занимают меньшую территорию, линии границ нечеткие, концентрация масс неравномерная, формы образа свалки близкие к овалу.

Цифровая модель местности (ЦММ) и гипсометрическая карта полигона дают информацию о высотах территории объектов в каждой точке. На Рисунке 4 проиллюстрированы результаты вычисления высот территории полигона и свалок.

Высота тела полигона, сравнивалась с допустимыми значениями, составляющими 199,4 м. Абсолютная отметка насыпи полигона составляет 168 м. Данные, полученные по ЦММ, показывают отсутствие превышений допустимой высоты насыпного холма. Представленная информация от эксплуатирующей организацией

о вычислениях высот холма Объекта 1 в 2016 году, которые составляли 176,9 м, свидетельствует о высотной динамике насыпи отходов. На полигоне происходит просадка тела полигона при уплотнении отходов. Максимальный угол заложения откосов первой рабочей площадки составляет 42,9°.

На свалках наблюдается высотная неравномерность, которая представляет собой холмистую поверхность без образования единого тела. На Объекте 2 высоты от 220 м до 223 м, на Объекте 3 – от 166 м до 173 м. На карте высот видна ложбина с восточной стороны Объекта 2 с абсолютной отметкой понижения рельефа в 196 м, которая на 27 м ниже рельефа свалки.

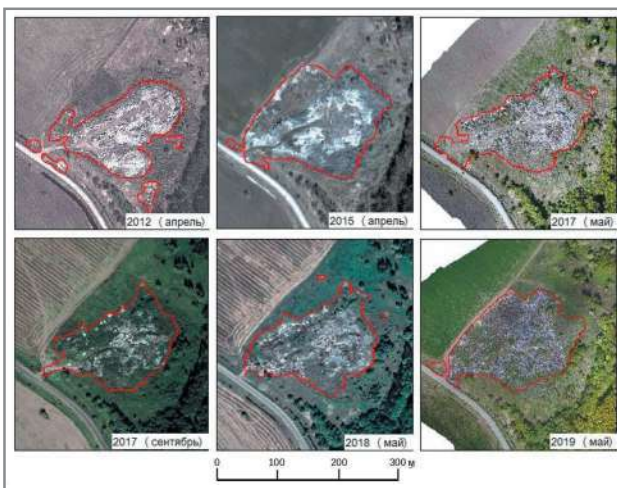
Параметр	Площадь, га	Периметр, км	Линия контура	Концентрация масс отходов	Форма
Объект 1	32	2,423	Четкая	Юго-восточная часть объекта	Четырехугольник
Объект 2	2,8	0,852	Кривая	Неравномерно по центру	Неопределенная
Объект 3	4,9	1,836	Кривая	Неравномерно по центру	Неопределенная

Таблица 3. Параметры мест захоронения отходов по результатам анализа данных дистанционного зондирования.

Объект 1



Объект 2



Объект 3

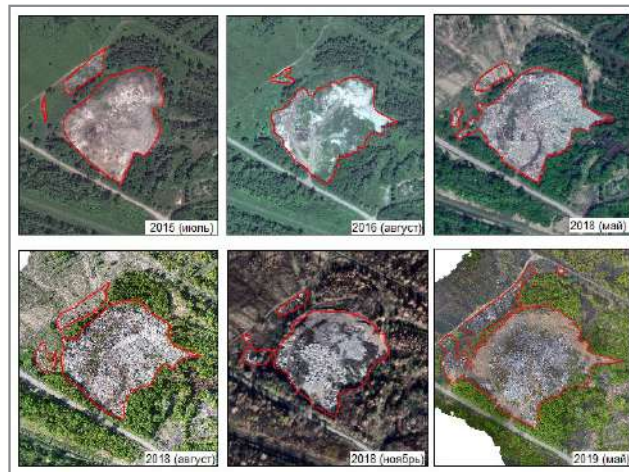


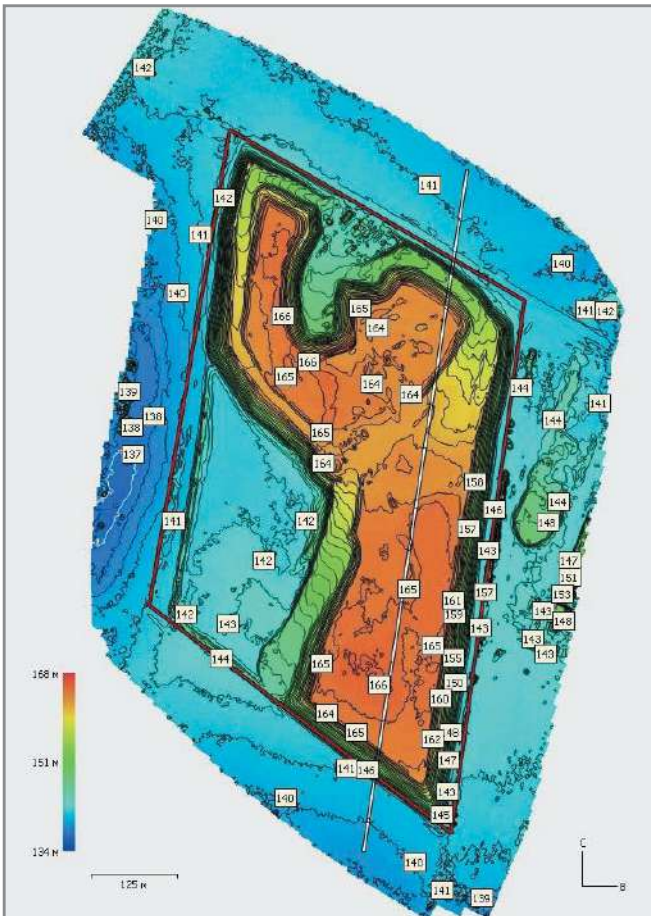
Рис. 3. Динамика изменения границ исследуемых мест захоронения отходов.

На Объекте 3 в 100 м северо-западнее наблюдается проседание поверхности земли до 144 м. Неровная поверхность способствует стоку фильтрационных вод в сторону низких отметок высот. Углы откосов на подобных холмистых свалках не определялись ввиду отсутствия единообразных высотных форм, а определялись лишь высоты холмов, которые составили от 1 до 3 м.

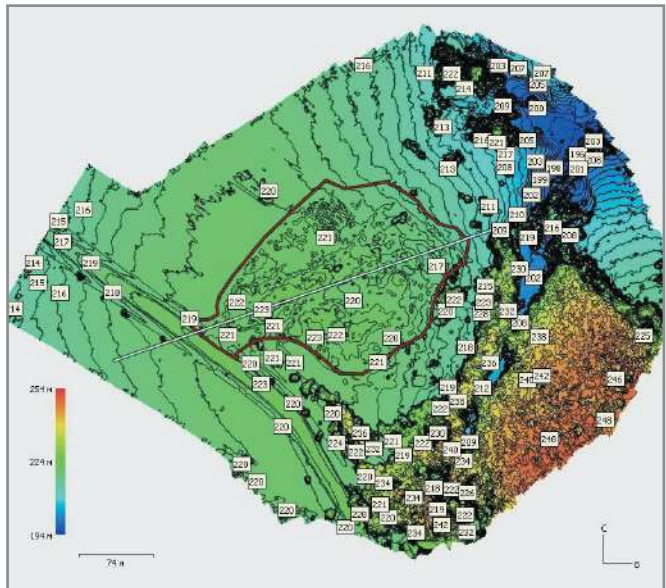
Анализ положения объектов на Публичной кадастровой карте (ПКК) позволяет определить

правомерность использования земельных участков по назначению (Рис. 5). Контролируемый объект находится на землях промышленности. Границы землеотходов полигона граничат с землями промышленности. Через шоссейную дорогу на севере вблизи объекта располагаются земли сельскохозяйственного назначения, на западе в 800 м находятся земли лесного фонда, на юге в 300 м земельные участки сельскохозяйственного назначения. Границы города находятся в 1,1 км от полигона ТКО.

Объект 1



Объект 2



Объект 3



Объект 2 фактически занимает земли населенных пунктов – 60%, земли запаса – 35% и 5% располагаются на землях, категория которых не определена. В 60 м с востока свалки проходят границы сельскохозяйственных земель. Границы свалки окружены землями, категория которых не определена. Примерно в 900 м с востока и севера ОРО проходят границы населенного пункта.

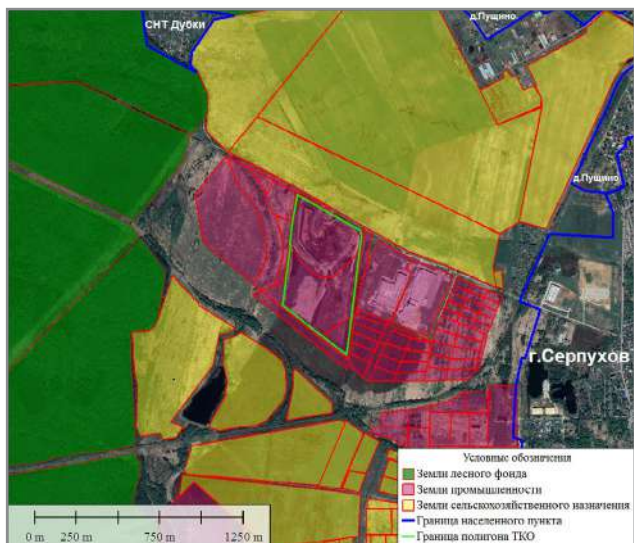
Объект 3 располагается на землях промышленности, однако, с востока границы свалки 0,32 га заходят на земли, категория которых не определена. Земли промышленности, на которых размещается ОРО граничат с землями информация о назначении, которых отсутствует на ПКК. Граница ближайшего населенного пункта проходит с юго-восточной стороны свалки в 30 м.

Таким образом, сравнивая контролируемый и неконтролируемый объекты, видно, что свалки расположены на землях, которые по своему назначению не предназначены для размещения отходов, а также, они не имеют четких границ землеотводо. Объект 2 расположен на землях населенных пунктов, что нарушает природоохранное законодательство, а Объект 3 расположен в непосредственной близости с населенным пунктом.

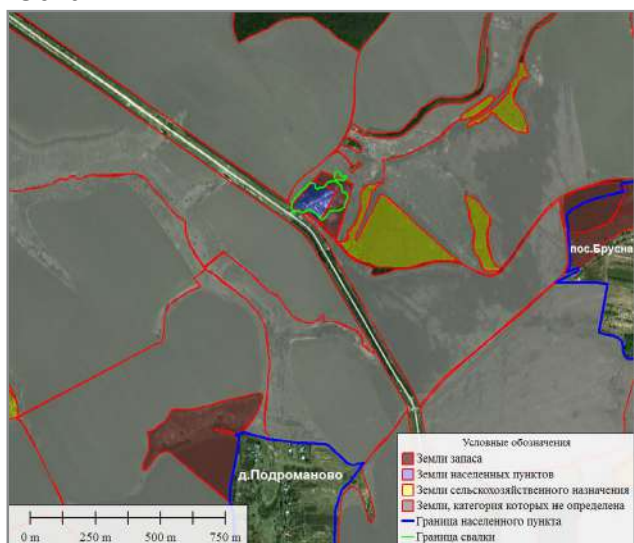
Рис. 4. Карта высот исследуемых мест захоронения отходов (2019 г.).

На свалках выделяются следующие зоны: зона складирования отходов – это территория, на которой размещены отходы, не перекрытые грунтом или другими изолирующими материалами; зона естественного сбора фильтрата – форма рельефа, на которой в естественных природных условиях за счет поверхностного стока в понижения стекает и накапливается свалочный фильтрат; зона залесенности – биоценоз, в которой главной жизненной формой являются деревья; зона поверхности полигона, засыпанная песком – часть поверхности свалки на которой происходит перекрытие отходов конкретным материалом – песком; зона рудеральных растений – участок территории, заросший сорными растениями (дурман, полынь, белена, крапива, лопух, дурнишник, сурепка обыкновенная и пр.).

Объект 1



Объект 2



Объект 3

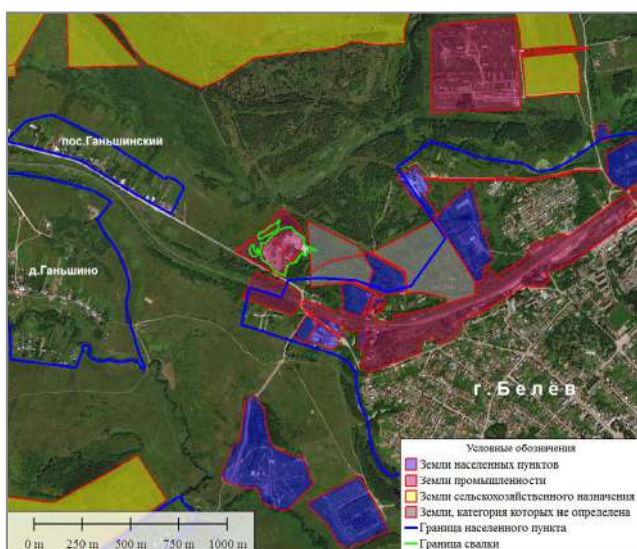
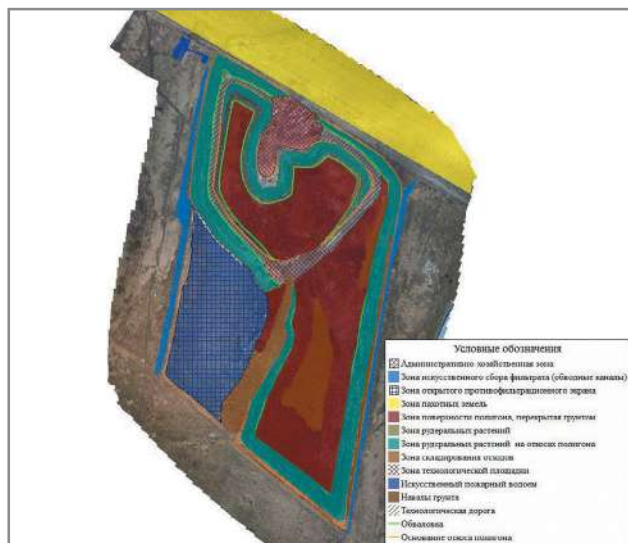
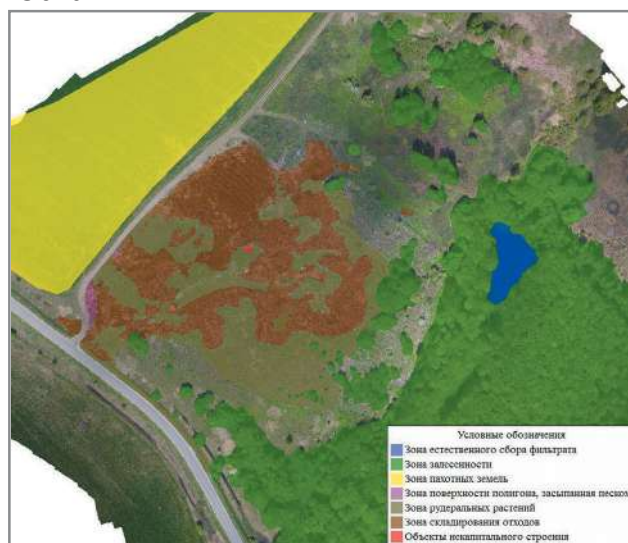


Рис. 5. Положение исследуемых мест захоронения отходов на Публичной кадастровой карте (2019 г.).

Объект 1



Объект 2



Объект 3

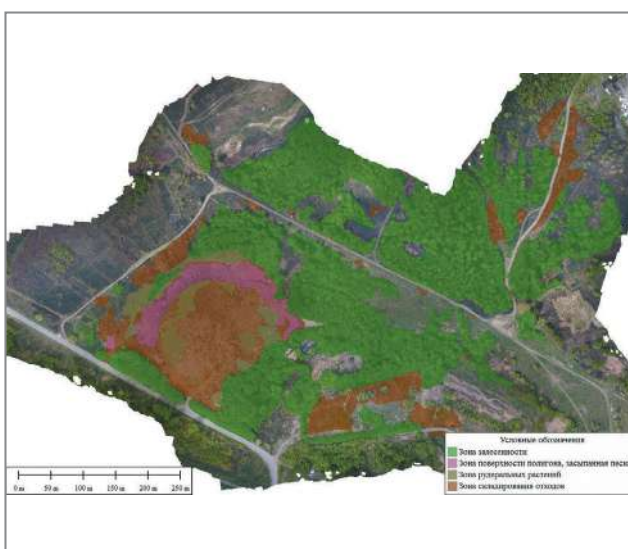


Рис. 6. Зонирование исследуемых мест захоронения отходов (2019 г.).

Помимо однородных территорий на объектах имеются объекты некапитального строительства – ангары, сооружения с навесами и др. Например, на Объекте 2 в центре сооружены ангар. На Объекте 3 наблюдается такой процесс как засорение прилегающих ландшафтов мусором вдоль дорог и под линиями электропередач вследствие их механического переноса.

Контролируемый объект всегда отличается от несанкционированного наличием административно-хозяйственной зоны. На Объекте 1 в этой зоне размещаются: хозяйственно-бытовые объекты, контрольно-пропускной пункт, склады для хранения спецодежды и хозяйственного инвентаря, контрольно-дезинфицирующая зона с устройством железобетонной ванны для дезинфекции колес мусоровозов, пункт радиационного дозиметрического контроля. Сбор фильтрата на полигоне ТКО происходит не в естественных природных понижениях, а в зоне искусственного сбора фильтрата – обводных каналах, с которых, по достижению определенного уровня, фильтрат выкачивается спецтехникой и вывозится на объекты обезвреживания. В момент съемки Объекта 1 на АФС видно, что проводились работы по настилу геомембраны, которая не допускает просачивания фильтрата в подземные воды и является защитным слоем (зона открытого противотрационного экрана). Также на АФС видны насыпи минерального грунта, который свидетельствует о соблюдении технологии перекрытия изолирующим материалом отходов. Грунт имеет темную зернистую структуру на снимке – навалы грунта, и участки светлее на несколько тонов свидетельствуют о перемешивании грунтов с отходами. Данный факт, подтвердился при маршрутном исследовании полигона ТКО, в связи с этим, можно выделить зону поверхности полигона, перекрытая грунтом. На участках перекрытых грунтом отходов происходит зарастание сорняковыми растениями. На полигоне имеется технологическая площадка, на которой происходит дробление древесных и строительных отходов. На снимке видна структура дробленного материала и рабочая техника. В северо-западной части объекта сооружен искусственный водоем, который служит пожарным резервуаром.

Технологическая дорога, также является отличительным элементом контролируемого от неконтролируемого объекта. Дорога покрыта бетонными плитами, которые отчетливо видны на снимке с разрешением съемки 4,30 см/пиксель. Обваловка полигона имеет ширину от 1,5 до 2 м и проектируется по краям насыпного холма и служит сдерживающим фактором для сползания отходов по откосу, идентифицировать этот элемент позволяют прямые и косвенные признаки. Прямые – форма линии, темного окраса, отличающегося от прилегающих зон

полигона, косвенные – ориентир проектирования данного элемента, край насыпного холма. Так, контролируемый объект (Объект 1), имеет больше зон, чем несанкционированные свалки (Объекты 1 и 2).

4 Обсуждение результатов

Применение данных ДЗЗ при выделении однородных зон внутри полигонов ТКО и свалок продемонстрировали в данном исследовании оперативный сбор, обработку и вывод информации в наиболее удобный контекст для принятия решений при решении проблем негативного влияния на окружающую среду. Следует отметить, что зоны отличаются на разных видах объектов захоронения отходов, в частности, зависит от типа управления объектом и климатических характеристик территории. Нарушения при эксплуатации полигонов ТКО и несовершенство инженерной инфраструктуры могут привести к возникновению зон на контролируемых объектах несвойственных им. К примеру, возникновение зоны естественного сбора фильтрата на полигонах ТКО будет свидетельствовать о неэффективности технологических решений при сборе сточных вод (фильтрата) в дренажной системе и обводных каналах. Проведенный анализ показал, что уровень квалификации отрасли по обращению с отходами может быть повышен за счет правильного использования данных сверхвысокого разрешения.

На данном этапе исследования перечислены первоначальные зоны, которые будут добавляться по мере расширения использования новых технологий, применяемых в ДЗЗ и результатов наземных исследований. Так, наличие на БПЛА тепловизионных датчиков позволит выделить зоны по температурным аномалиям (зоны открытого горения, зоны подземного нагрева), а результаты лабораторных исследований компонентов окружающей среды будут идентифицировать участки по характеристикам содержания в них химических элементов (ранжирование зон по показателям суммарного загрязнения, зоны концентрации определенных химических элементов, зоны по коэффициенту водной миграции и т.д.). Поэтому, наконец, в настоящем исследовании подчеркивается важность спутникового подхода для более глубокого понимания экологических опасностей, связанных с захоронением ТКО и связанной с ними динамикой экосистем. Однако необходимо провести дополнительные тематические исследования для совершенствования предлагаемой методологии, с тем чтобы сделать ее адаптируемой в различных условиях. Помимо зонирования, данное исследование обогащает исследование по проблеме незаконного

захоронения ТКО. Систематический анализ ключевых пространственно-временных особенностей и социальных факторов позволили составить карты местоположений полигонов ТКО и свалок на Европейской территории России.

5 Выводы

Подходы, включающие в себя крупномасштабный мониторинг, интегрированный в управление отходами на основе получения и анализа именно высокдетальной информации, дополняют огромным массивом информацией о местах захоронения отходов, которые до этого исследовались методами картографирования в более мелком масштабе с выводом лишь точечных данных, и дают достоверные результаты. Кроме того, использование БПЛА для исследования полигонов и свалок добавляет гибкости во времени и дает преимущество в виде отсутствия риска для

человека при изучении этих опасных объектов. Эти методы легко справляются с требуемыми социальными, специализированными, экономическими и экологическими ограничениями.

Использование данных сверхвысокого разрешения позволяют расширить инструменты исследования полигонов ТКО и свалок ввиду их огромных и непредсказуемых территорий, что подтвердилось в данном исследовании. Новые технологии исследования быстрыми темпами внедряются в экологический аспект как в исследованиях, так и в целые экономические отрасли.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ №19-05-50028/20 (Микромир). Сбор полевых данных осуществлялся в рамках темы государственного задания ИГ РАН № АААА-А19-119022190168-8.

Библиография

1. Трушин Б.В. О проблемах реализации проектов строительства, реконструкции и рекультивации полигонов ТБО на территории Московской области / Б.В. Трушин // Твердые бытовые отходы. 2006. № 2. С. 1-4.
2. Ашихмина Т.В. Геоэкологический анализ состояния окружающей среды и природоохранные рекомендации в районе расположения полигонов ТБО Воронежской области: дис. ... канд. Геогр. Наук: 25.00.36 «Геоэкология» / Т.В. Ашихмина. Воронеж, 2014. 187 с.
3. Майорова О.В. Геоэкологические проблемы и пути их решения в сфере обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО) Московской области: дис. ... канд. Геогр. Наук: 25.00.36 «Геоэкология» / О.В. Майорова. Москва, 2012. 233 с.
4. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н., Глушанкова И.С., Загорская Ю.М., Коротаев В.Н. Оценка состояния полигонов захоронения ТБО по изменению органической составляющей // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 7. С. 26-31. DOI: 10.18412/1816-0395-2015-7-26-31
5. Попова Е.И. Содержание тяжелых металлов в почве и растительности на территории хранения твердых бытовых отходов / Е.И. Попова // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. 2015. № 5. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21895> (дата обращения: 05.08.2019).
6. Малюхин Д.М. Экологические аспекты использования органогенных субстратов при рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов: дис. ... канд. Геогр. наук: 25.00.36 «Геоэкология» / Д.М. Малюхин. Санкт-Петербург, 2018. 165 с.
7. Артемова С.Н. Региональные аспекты изучения современных географических систем на примере Пензенской области / С.Н. Артемова // Известия ПГУ им. В.Г. Белинского. 2006. № 5. С. 165-173.
8. Giovanni De Feo. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal / G De Feo, S De Gisi. // Waste Management. 2014. Vol. 34. P. 2225-2238. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.05.028
9. Khalid Mahmood, Syeda Adila Batool, Muhammad Nawaz Chaudhry. Studying biothermal effects at and around MSW dumps using Satellite Remote Sensing and GIS / Khalid Mahmood, Syeda Adila Batool, Muhammad Nawaz Chaudhry // Waste Management. 2016. V. 55. P. 118-128. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.04.020
10. Mussa A., Suryabhagavan K. V. Solid waste dumping site selection using GIS-based multi-criteria spatial modeling: a case study in Logia town, Afar region, Ethiopia / A. Mussa, KV Suryabhagavan // Geology, Ecology, and Landscapes. 2019. P. 186-198. DOI: 10.1080/24749508.2019.1703311
11. Абросимов А.В., Никольский Д.Б., Шешукова Л.В. Использование космических снимков и геоинформационных технологий для мониторинга мест складирования отходов // Экология урбанизированных территорий. 2014. № 1. С. 38-43.
12. Бровкина О.В. Автоматическая идентификация свалок по разномасштабным аэрокосмическим данным / О.В. Бровкина // Исследования Земли из космоса. 2007. № 6. С. 22-28.
13. Липилин Д.А. Мониторинг свалок на территории Краснодарского края по материалам спутниковых снимков (методика и результаты) / Д.А. Липилин // Научно-методический электронный журнал «Концепт» [Электронный ресурс]. 2013. Т. 3. С. 621-625. Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2013/53126.htm> (дата обращения: 10.08.2019).

14. Медведев А.А., Тельнова Н.О., Кудиков А.В., Алексеенко Н.А. Использование фотограмметрических облаков точек для анализа и картирования структурных переменных в редких северных бореальных лесах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 150-163. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-150-163
15. Титова А.Г. Оценка влияния полигона твердых коммунальных отходов на окружающую среду с использованием междисциплинарного подхода / А.Г. Титова // Проблемы региональной экологии. 2019. № 2. С. 53-58. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-12053

Титова Анастасия Германовна

Институт географии РАН; аспирант

Медведев Андрей Александрович

Институт географии РАН; Базовая кафедра; Отдел картографии и дистанционного зондирования Земли;

Заведующий лабораторией (Картография); кандидат географических наук; доцент

ORCID: 0000-0002-3701-0208

Поступила 27.09.2021. Рецензия получена 10.12.2021. Принята к публикации 20.12.2021

UDC 528,8

DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-6-634-646

ZONING OF CONTROLLED AND UNCONTROLLED MUNICIPAL WASTE DISPOSAL SITES BASED ON ULTRA-HIGH RESOLUTION REMOTE SENSING DATA

Anastasiya G. Titova^{1*}, Andrey A. Medvedev¹

¹ Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

* anastasititova@igras.ru

Citation: Titova AG, Medvedev AA. Zoning of controlled and uncontrolled municipal waste disposal sites based on ultra-high resolution remote sensing data. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. Moscow. 2021;65(6): 634-646. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-6-634-646

Keywords. municipal solid waste, remote sensing, unmanned aerial vehicles, unauthorized landfills, waste disposal, landfill monitoring, landfill zoning, waste pollution, landfill map, retrospective analysis.

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of the RFBR (Russian Foundation for Basic Research) project No. 19-05-50028/20 (Micromir). The field data were collected within the subject of the state assignment of IG RAS No. AAA-A19-119022190168-8.

Abstract. The growth of municipal solid waste (MSW) is a common phenomenon in many countries around the world. Due to fact that in Russia the main method of recycling is waste disposal, the number of landfills and disposal site have been increased what negatively influences on environment. According to that the relevance in research of landfills and disposal site is important, however, Russia faced with difficult situation of obtaining quality spatial data on waste disposal sites (WDS). Therefore, the purpose of this research was to analyse the landfills and disposal site in the European territory of Russia and the main research objects WDSs, for demonstration of using large-scale and spatio-temporal data benefits including remote sensing data obtained from unmanned aerial vehicles (UAVs). This will identify zones with same conditions on WDSs with different management modes. The main method of this research is WDS monitoring, which is based on effective operational methods and technologies for obtaining information which are: UAV data, geographic information systems and cartographic technique. The monitoring result is the identification of similar and different zones of WDS and establishing of their presence depending on the type of WDS management. The research showed that UAV zoning allows to expand number of WDS monitoring tolls for further impact analyses on environment, which effectively are integrating in waste disposal management.

References

1. Trushin BV. About problems implementation of construction projects, reconstruction and reclamation of MSW landfills on the territory of Moscow region. *Municipal Solid Waste*. 2006;2: 1-4. (In Russian).
2. Ashikhmina TV. *Geoekologicheskiy analiz sostoyaniya okruzhayushchey sredy i prirodookhrannyye rekomendatsii v rayone raspolozheniya poligonov TBO Voronezhskoy oblasti* [Geoecological analysis of the state of the environment and environmental recommendations in the area of MSW landfills in Voronezh region]. [Ph.D dissertation]. Voronezh: 2014. P. 187 (In Russian).
3. Mayorova OV. *Geoekologicheskiye problemy i puti ikh resheniya v sfere obrashcheniya s tverdymi bytovymi otkhodami (TBO) Moskovskoy oblasti* [Geo-environmental problems and ways to solve them in the sphere of solid waste management (MSW) in Moscow region]. [Ph.D dissertation]. Moscow: 2012. P. 233 (In Russian).
4. Zavizion YuV, Slusar NN, Glushankova IS, Zagorskaya YuM, Korotayev VN. Otsenka sostoyaniya poligonov zakhroneniya TBO po izmeneniyu organicheskoy sostavlyayushchey [Assessment of landfills by changes in the organic component]. *Ecology and Industry of Russia*. 2015;19(7): 26-31. (In Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2015-7-26-31
5. Popova EI. Content of heavy metals in soil and vegetation in the territory of municipal solid waste storage. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2015;5. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21895> (Accessed 05.08.2019). (In Russian)
6. Malyukhin DM. *Ekologicheskiye aspekty ispol'zovaniya organogennykh substratov pri rekul'tivatsii poligonov tverdykh kommunal'nykh otkhodov* [Environmental aspects of the use of organogenic substrates in the reclamation of municipal solid waste landfills]. [Ph.D dissertation]. St. Petersburg: 2018. P. 165 (In Russian).
7. Artemova SN. Regional aspects of the study of modern geographical systems on the example of the Penza region. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. VG. Belinskogo* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after VG. Belinsky]. 2006;5: 165-173. (In Russian).
8. De Feo G, De Gisi S. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. *Waste Management*. 2014;34: 2225-2238. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.05.028
9. Mahmood K, Batool SA, Chaudhry MN. Studying biothermal effects at and around MSW dumps using Satellite Remote Sensing and GIS. *Waste Management*. 2016;55:118-128. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.04.020
10. Mussa A, Suryabagavan KV. Solid waste dumping site selection using GIS-based multi-criteria spatial modeling: a case study in Logia town, Afar region, Ethiopia. *Geology, Ecology, and Landscapes*. 2019;5: 186-198. DOI: 10.1080/24749508.2019.1703311
11. Abrosimov AV, Nikolsky DB, Sheshukova LV. Ispol'zovaniye kosmicheskikh snimkov i geoinformatsionnykh tekhnologiy dlya monitoringa mest skladirovaniya otkhodov [Use of satellite imagery and geographic information technology to monitor waste storage sites]. *Ecology of urban areas*. 2014;1: 38-43. (in Russian).
12. Brovkina OV. Automatic identification of landfills from multi-spectral aerospace data. *Issledovaniya Zemli iz kosmosa* [Izvestiya - Atmospheric and Oceanic Physics]. 2007;6: 22-28. (In Russian).
13. Lipilin DA. Monitoring of landfills in Krasnodar Krai based on satellite imagery (methodology and results). *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal «Kontsept»* [Scientific-methodical electronic journal "Concept"]. 2013;3: 621-625. Available at: <http://e-koncept.ru/2013/53126.htm>. (Accessed 10.08.2019). (In Russian)
14. Medvedev AA, Telnova NO, Kudikov AV, Alexeenko NA. Ispol'zovaniye fotogrammetricheskikh oblakov toчек dlya analiza i kartirovaniya strukturnykh peremennykh v redkikh severnykh boreal'nykh lesakh [Using photogrammetric point clouds to analyze and map structural variables in rare northern boreal forests]. *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*. 2020;17:150-163. (In Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-150-163
15. Titova AG. Assessment of the impact of solid municipal waste landfill on the environment using an interdisciplinary approach. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of Regional Ecology]. 2019;2: 53-58. (In Russian). DOI: 10.24411/1728-323X-2019-12053

Anastasia G. Titova

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences; PhD student

Andrey A. Medvedev

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences; Base department; Department of Cartography and Remote Sensing of the Earth; Head of the laboratory (Cartography); PhD in Geography; Professor assistant

ORCID: 0000-0002-3701-0208

Received 27.09.2021. Revised 2021.17.11. Accepted 2021.12.20