DOI 10.15593/2409-5125/2017.04.02

УДК 528.8, 504.064.47

Н.Н. Слюсарь, В.Н. Коротаев, Ю.В. Куликова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ВИЗУАЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рассмотрены возможности использования беспилотных летательных аппаратов для обследования объектов захоронения отходов, в том числе действующих полигонов захоронения твердых коммунальных отходов, выведенных из эксплуатации и несанкционированных свалок. Представлены примеры использования беспилотных летательных аппаратов, оснащенных штатными фото- и видеокамерами, для целей технической инспекции и контроля за эксплуатацией конструктивных элементов полигона, соблюдения технологии складирования отходов, целостности рекультивационных покрытий закрытых объектов. Проведены работы по поиску ареалов угнетения растительности в зоне расположения объектов, участков захламления прилегающей территории, уточнению границ несанкционированного складирования отходов. Разработанные алгоритмы проведения визуального обследования объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов со штатной фотокамерой были апробированы на свалках и полигонах захоронения твердых коммунальных отходов, отличающихся конструктивными особенностями массивов захоронения и находящихся на разных этапах жизненного цикла. Проведенные исследования показали, что использование беспилотных летательных аппаратов значительно облегчает задачи визуального обследования объектов захоронения отходов, позволяя расширить круг решаемых задач, экономить время и получать качественные детальные снимки. Представленные результаты доказывают эффективность проведения съемки объектов с высоты для фиксации несанкционированных навалов отходов, мониторинге целостности конструкций полигонов, поиске очагов возгорания в массивах отходов. Программная обработка ортофотопланов позволяет расширить круг решаемых задач, например, контролировать рекультивированные участки закрытых свалок и полигонов. Основное преимущество использования беспилотных летательных аппаратов заключается в оперативности получения детальной информации о ситуации на объекте, возможности проведения сложно выполнимых наблюдений, зачастую невозможных при наземном обследовании объектов.

Ключевые слова: отходы, мониторинг, полигоны захоронения отходов, дистанционные технологии, беспилотные летательные аппараты.

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) становится все более популярным в различных областях экономической деятельности. Наиболее востребованы технологии применения дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и БПЛА в тех отраслях, где требуется работа

Слюсарь Н.Н., Коротаев В.Н., Куликова Ю.В. Визуальное обследование объектов захоронения отходов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 4. – С. 25–36. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.02

Slusar N., Korotaev V., Kulikova Y. Visual monitoring of waste disposal sites with the use of unmanned aerial vehicles. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2017. No. 4. Pp. 25-36. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.02

с большими пространственными объектами (сельское хозяйство [1–4], нефте- и газодобыча [5–8]) или оперативное получение информации о текущем состоянии объектов (строительные площадки [9]).

Традиционные способы обработки топопланов объектов и составления карт результатов наблюдений на таких объектах достаточно трудоемки, требуют финансовых и временных затрат. В то же время использование БПЛА позволяет сократить время получения необходимого результата от нескольких недель до нескольких дней.

Использование различного навесного оборудования позволяет значительно расширить круг решаемых задач. Например, в сельском хозяйстве широко применяются мультиспектральные камеры для анализа неоднородности плодородия земель по спектральным характеристикам, выявления повреждений растительности по вегетационным индексам [3, 4]. Использование камер для тепловой инфракрасной аэросъемки позволяет создавать температурные карты поверхности, определять состояние нефте- и газопроводов, обнаруживать очаги скрытых возгораний на торфяниках и полигонах захоронения отходов еще до того, как они перейдут в открытую фазу горения [10–12].

В целом можно выделить следующие сферы применения БПЛА в отраслях промышленности:

- мониторинг линейных и площадных объектов: получение информации в режиме реального времени, фото- и видеосъемка объектов, оценка состояния растительности;
- картографирование и геодезия: разработка цифровых моделей местности, построение 3D-модели методом фотограмметрии;
- мониторинг рисков: мониторинг зон, подверженных стихийным бедствиям (например, наводнения, засуха, оползневые процессы), экспресс-оценка аварийных ситуаций;
- контроль качества окружающей среды: экологический мониторинг и надзор, фиксация и контроль распространения попадания загрязняющих веществ в окружающую среду;
- обучение: организация обучения персонала на трехмерных моделях производственных объектов.

Сферы применения дистанционных технологий наблюдения постоянно расширяются. В том числе технологии космического мониторинга и аэросъемки нашли свое применение в области мониторинга техногенных объектов – полигонов захоронения отходов [13, 14]. Дешифрирование космических снимков позволяет выявлять несанкционированные свалки отходов, отслеживать изменение площадей объектов, контролировать качество рекультивационных работ. Переходом на следующий уровень де-

тализации получаемой информации является использование БПЛА для мониторинга объектов захоронения отходов.

Организация мониторинга полигонов захоронения отходов требует системного и комплексного подхода. Кроме анализа данных режимных наблюдений о состоянии атмосферного воздуха, почвы, природных вод в районе размещения объекта, мониторинг полигонов захоронения отходов включают в себя выполнение следующих видов наблюдений:

- наблюдения за целостностью элементов инженерной защиты объекта, эффективность работы которых определяют степень воздействия полигона на компоненты окружающей среды (например, целостность защитных дамб, стабильность откосов массива отходов);
- контроль выполнения технологических операций процесса размещения отходов на полигоне (работа техники, уплотнение отходов в массиве, изоляция отходов, распределение отходов по картам).

Ряд задач, например, в части технологического контроля за эксплуатацией объекта и поиска ареалов угнетения растительности в зоне расположения объектов, можно отнести к задачам визуального наблюдения за объектом, т.е. осмотра объекта, наблюдения за видимыми изменениями и последующего анализа полученной информации. Для этих целей можно использовать БПЛА, оснащенные штатными фото- и видеокамерами.

На полигонах захоронения отходов БПЛА могут быть использованы для решения следующих задач:

- оперативный контроль эксплуатируемых карт (участков разгрузки мусоровозной техники и работы уплотнительных механизмов);
- 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 за растительным покровом 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.

При этом создание ортофотопланов высокой детализации и трехмерных моделей объектов захоронения позволяет визуализировать объект, проводить детальную оценку эффективности эксплуатации карт захоронения и своевременно принимать управленческие решения для обеспечения минимизации воздействия полигонов и свалок на окружающую среду.

Объекты и методы исследования. Исследования проводились на объектах захоронения ТКО, расположенных в Пермском крае.

Объект А (полигон захоронения ТКО): объект эксплуатируется с 1978 г. и находится в стадии активной эксплуатации. Площадь тела полигона – около 45 га. Складирование отходов производится по картам. Откосы массива отходов частично закрыты инертным грунтом и заросли травянистой растительностью.

Объект Б (городская свалка ТКО): объект находился в эксплуатации с 1965 по 2013 г. Общая площадь объекта – около 30 га. В 2007 г. 10 га свалки были закрыты для приема отходов и рекультивированы с залужением территории. Второй участок свалки площадью 19 га до 2013 г. находился в эксплуатации. После полного закрытия объекта рекультивация большего участка свалки не проводилась. Въезд на свалку перекрыт. Свалка естественным образом заросла травянистой растительностью.

Объект В (городская свалка ТКО): объект находился в эксплуатации с 1963 по 2008 г. В настоящее время свалка закрыта для приема отходов, но работы по рекультивации объекта не проводились. Свалка естественным образом заросла. Проезд на объект ограничен путем организации поперечных канав на старых въездах на объект.

Несанкционированные свалки и навалы отходов – объекты из районной инвентаризационной ведомости мест несанкционированного размещения отходов (свалок).

Наблюдения за объектами проводились в теплое время года, в безветренную погоду. Для съемок объекта с воздуха использовались БПЛА мультироторного типа, снабженные штатной RGB 4к камерой. Съемка с воздуха сопровождалась наземным обследованием объектов. Обработка снимков, построение ортофотопланов и их последующая обработка проводились с использованием программных модулей DroneDeploy.

Результаты и их обсуждение. Основной задачей исследования было изучение возможности использования штатной камеры БПЛА для проведения визуального обследования объектов захоронения ТКО, как непосредственно на объекте захоронения ТКО (контроль за формированием рабочих карт полигона, выявление очагов возгорания на свалках), так и на территориях в части выявления несанкционированных свалок отходов и захламления площадей.

Контроль эксплуатации объекта захоронения отходов. Одна из важных задач, стоящих перед операторами объектов захоронения отходов – это проведение периодических инспекций объектов захоронения ТКО. Эти работы включают в себя проверку соблюдения технологии эксплуатации объекта, оценку целостности конструкции, визуальный контроль отсутствия воздей-

ствия объекта на окружающую среду, оперативное реагирование при выявлении нештатной ситуации. Такие проверки, с одной стороны, требуют значительного времени, с другой стороны, не всегда возможны, например, при ограниченном доступе к отдельным участкам при неблагоприятных погодных условиях. Использование БПЛА позволяет сэкономить время на проведение проверки, получить оперативную детальную информацию о состоянии участков, недоступных при визуальном осмотре с земли (рис. 1).

Рис. 1. Обрушения на откосах массива захоронения ТКО

Другая актуальная задача, которая может быть решена с использованием БПЛА, – это фиксация мест скопления фильтрата и контроль целостности защитных ограждающих дамб. Особенно это актуально для объектов, где фильтрат накапливается в понижениях рельефа, и важно не допустить его растекание за пределы объекта (рис. 2).

Рис. 2. Выход на поверхность и скопления фильтрата по периметру массива захоронения отходов

Потенциальные места возгорания отходов. При эксплуатации объектов захоронения ТКО, особенно старых свалок, часто возникают очаги возгорания в массиве отходов.

Можно выделить следующие причины появления возгораний:

- нарушение режимов эксплуатации объектов и недостаточное уплотнение отходов в массиве захоронения;

- крутой угол откоса массива захоронения и, как результат, проникновение воздуха в массив отходов;

- низкая влажность отходов и самовозгорание в теплый период года.

Одним из методов регистрации потенциальных мест возгораний на полигонах является тепловая инфракрасная аэросъемка [12]. Однако высокая стоимость оборудования и сложность методического обеспечения выполнения облетов значительно сокращают возможности использования тепловизионного мониторинга. В то же время визуальное обследование объектов с последующей обработкой ортофотопланов позволяет выявить потенциальные места возгораний для последующего детального изучения.

Облет объекта и визуальный анализ ортофотоплана позволяет визуально увидеть участки возгорания при наличии задымления (рис. 3).

Рис. 3. Участки возгорания отходов на свалке ТКО (визуальный контроль)

Поскольку на открытых (нерекультивированных) крутых откосах массива потенциально возможно возгорание массива, такие участки объектов должны подвергаться тщательному контролю. Для определения таких участков потенциальных мест возгорания отходов можно использовать комбинацию плана разности высот (информация о резких перепадах высот) и ортофотоплана объекта (информация об открытых участках отходов). Участки, где на крутых откосах произошло нарушение целостности рекультивационного покрытия, являются потенциально опасными с точки зрения возникновения возгорания массива ТКО (рис. 4).

Захламление территории. Актуальная задача, которую можно решить с помощью БПЛА, – выявление и оценка площадей захламления территории отходами. Оценить объемы захламления с земли при визуальном осмотре территории – это достаточно трудоемкая задача. Это могут быть как небольшие участки складирования отходов на больших территориях, так и локальные участки в труднодоступных местах. Кроме того, это задача значительно усложняется при наличии густой растительности на участке обследования.

Использование БПЛА позволяет как найти участки захламления, так и при достаточной детализации снимка определить характер отходов (рис. 5). Дальнейшая обработка снимков позволяет определить площади участков складирования для предварительной оценки объемов отходов.

Рис. 4. Комбинация ортофотоплана и плана разности высот объекта

Рис. 5. Поиск несанкционированных навалов отходов

Несанкционированное складирование отходов. Еще один пример визуального обследования объектов складирования отходов – это уточнение границ несанкционированного размещения отходов. Например, это может быть уточнение площадей и объемов размещенных отходов в рамках проведения инвентаризации несанкционированных свалок. При обычном обходе территории складирования сложно оценить геометрию участка, а поиск захламлений на прилегающей территории, покрытой кустарниками или лесом, – трудоемкая задача (рис. 6).

Другим примером контроля за несанкционированным складированием отходов является мониторинг выведенных из эксплуатации и рекультивированных свалок. Как правило, такие объекты эксплуатируются десятки лет, население и местные хозяйственные объекты привыкают использовать объект и даже после закрытия продолжают свозить на объект отходы. Использование БПЛА позволяет не только определить участки несанкционированного

складирования, но и определить основные подъездные пути (рис. 7). Последнее особенно важно для организации технических решений по ограничению доступа населения на выведенные из эксплуатации объекты.

Рис. 6. Несанкционированная свалка ТКО вдоль дороги и неучтенные в инвентаризации участки захламления на прилегающей территории

Рис. 7. Закрытая свалка ТКО и формирование несанкционированных навалов отходов на территории и за пределами объекта

Контроль за рекультивированными участками. Обработка ортофотопланов позволяет значительно расширить круг решаемых задач в области визуального обследования объектов, одной из задач которого является наблюдение за рекультивированными поверхностями закрытых свалок и полигонов.

Использование штатной RGB камеры на БПЛА с последующей обработкой изображений позволяет найти участки с нарушенной растительностью. Для этих целей используется видимый атмосферостойчивый вегетационный индекс (Visible Atmospherically Resistant Index, VARI), который измеряет коэффициент отражения растительности по сравнению с почвой [15]. На участках растительности VARI является мерой «зеленого цвета» изображения. Преимущество использования VARI заключается в том, что индекс был разработан и протестирован для работы с сенсора-

ми RGB. Это позволяет создавать цифровые карты индекса на основе обработки ортофотоплана, снятого RGB камерой.

Построение цифровых карт индекса VARI рекультивированных объектов захоронения отходов (рис. 8) позволяет найти участки с нарушенной растительностью и области несанкционированного захламливания рекультивированных территорий.

Рис. 8. Цифровая карта индекса VARI рекультивированной свалки ТКО

Выводы и рекомендации. Результаты использования БПЛА для визуального обследования свалок и полигонов захоронения ТКО показали, что применение высокотехнологичных методов съемки объектов с воздуха и последующая обработка материала позволяют решить целый ряд задач, связанных с обеспечением безопасной эксплуатации объектов. Основное преимущество использования БПЛА заключается в оперативности получения детальной информации о ситуации на объекте, возможности проведения сложно выполнимых наблюдений, зачастую невозможных при наземном обследовании объектов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-45-590858 p_a.

Библиографический список

1. Кортаев А.А., Новопашин Л.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга сельскохозяйственных угодий и посевных площадей в аграрном секторе // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 12. – С. 38–42.
2. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельскохозяйственном производстве / А.С. Сметнев, В.К. Зимин, Ю.Б. Юдин, И.Н. Скобеев // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2015. – № 18 (23). – С. 51–56.
3. Мониторинг посевов озимой пшеницы с применением беспилотной аэрофотосъемки и оптического датчика GREENSEEKER® RT200 / С.В. Железова, А.А. Ананьев, М.В. Вьюнов, Е.В. Березовский // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2016. – № 6 (194). – С. 56–61.
4. Фахрутдинов Р.Р., Барышников Н.А., Гусева С.А. Опыт применения мультиспектральной съемки в области сельского хозяйства. – URL: http://prom.aero/files/uploads/opyt_primeneniya_multispektralnoy_semki_v_oblasti_selskogo_khozyaystva.pdf (дата обращения: 19.10.2017).

5. Экологический мониторинг линейного промышленного объекта методом дистанционного зондирования земли / Ю.В. Царев, С.А. Царева, С.А. Буймова, Н.А. Кувькин, О.В. Беляева, М.А. Сысуйев, Е.Ф. Ванцова // Экология и промышленность России. – 2014. – № 5. – С. 56–61.
6. S. Smith Nash Drones and UAVs for Methane Emissions Detection, Monitoring, and Regulatory Compliance // IJRDO-Journal of Biological Science. – 2017. – Vol. 3, iss. 1. – P. 17–26. – URL: <http://www.ijrdo.org/International-Journal-of-Research-&-Development-Organisation-pdf/Biological%20Science/January-2017/Bio-2017-January-2.pdf> (accessed 19 October 2017).
7. Корниенко С.Г. Оценка трансформации природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // География и природные ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 67–73.
8. Drones in Construction: Improving Commercial Inspections and Jobsite Safety with UAVs. – URL: <https://blogdronedeploy.com/drones-in-construction-improving-commercial-inspections-and-jobsite-safety-with-uavs-76143c656a86> (accessed 19 October 2017).
9. Пируева Т.Г., Скловский С.А. Тепловая инфракрасная аэросъемка как инструмент контроля дистанционного состояния тепловых сетей. – URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2883 (дата обращения: 19.10.2017).
10. Тепловизионная съемка с БПЛА. – URL: <http://unmanned.ru/service/irvideo.htm> (дата обращения: 19.10.2017).
11. Тепловая инфракрасная аэросъемка. Газо- и нефтепроводы. – URL: <http://www.teposcan.ru/index.php/monitoring-ob-ektov-kommunalnogo-khozyajstva/gazo-i-nefteprovody> (дата обращения: 19.10.2017).
12. Заверткин С.А. Маркшейдерское обеспечение с высоты птичьего полета // Уголь. – 2017. – № 5. – С. 88–91.
13. Тимофеева С.С., Шешукова Л.В., Охотин А.Л. Мониторинг свалок твердых бытовых и промышленных отходов в Иркутском районе по данным космических снимков // Вестник ИргТУ. – 2012. – № 9. – С. 76–81.
14. Гарифзянов Р.Д., Батракова Г.М. Идентификация и оценка экологического состояния территорий размещения отходов методом дешифрирования космических снимков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 3. – С. 86–95.
15. Identifying Crop Variability with Drones. – URL: <https://blog.dronedeploy.com/identifying-crop-variability-whats-the-difference-between-ndvi-false-ndvi-and-vari-plant-health-98c380381a33> (дата обращения: 19.10.2017).

References

1. Korotaev A.A., Novopashin L.A. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlja monitoringa sel'skhozajstvennyh ugodij i posevnyh ploshhadej v agrarnom sektore [The use of unmanned aerial vehicles for monitoring of agricultural land and acreage in the agricultural sector]. *Agrarnyj vestnik Urala*. 2015, no. 12, pp. 38–42.
2. Smetnev A.S., Zimin V.K., Judin Ju.B., Skobeev I.N. Ispol'zovanie bespilotnyh letatel'nyh apparatov v sel'skhozajstvennom proizvodstve [The use of unmanned aerial vehicles in agriculture]. *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta*, 2015, no. 18 (23), pp. 51–56.
3. Zhelezova S.V., Anan'ev A.A., V'junov M.V., Berezovskij E.V. Monitoring posevov ozimoy pshenicy s primeneniem bespilotnoj ajerofotos"jomki i opticheskogo datchika GREENSEEKER® RT200 [Monitoring of winter wheat crops with the use of unmanned aerial photography and optical sensor GREENSEEKER® RT200]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 6 (194), pp. 56–61.
4. Fahrutdinov R.R., Baryshnikov N.A., Guseva S.A. Opyt primeneniya mul'tispektral'noj s"emki v oblasti sel'skogo hozjajstva. [Experience in the application of multispectral imagery in agriculture]. URL: http://prom.aero/files/uploads/opyt_primeneniya_multispektralnoy_semki_v_oblasti_selskogo_khozyaystva.pdf (accessed 19 October 2017).
5. Carev Ju.V., Careva S.A., Bujmova S.A., Kuvykin N.A., Beljaeva O.V., Sysuev M.A., Vancova E.F. Jekologicheskij monitoring linejnogo promyshlennogo ob"ekta metodom distancionnogo zondirovaniya zemli [Environmental monitoring of linear industrial facility using remote sensing]. *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, 2014, no. 5, pp. 56–61.

6. S. Smith Nash Drones and UAVs for Methane Emissions Detection, Monitoring, and Regulatory Compliance // IJRDO-Journal of Biological Science. 2017. vol. 3, iss. 1, pp. 17-26. URL: <http://www.ijrdo.org/International-Journal-of-Research-&-Development-Organisation-pdf/Biological%20Science/January-2017/Bio-2017-January-2.pdf> (accessed 19 October 2017).
7. Kornienko S.G. Ocenka transformacii prirodnyh landshaftov Tazovskogo poluoostrova po dannym kosmicheskoy s"emki [Evaluation of the transformation of natural landscapes of the Taz Peninsula based on satellite imagery]. *Geografija i prirodnye resursy*, 2011, no. 1, pp. 67-73.
8. Drones in Construction: Improving Commercial Inspections and Jobsite Safety with UAVs. URL: <https://blog.droneDeploy.com/drones-in-construction-improving-commercial-inspections-and-jobsite-safety-with-uavs-76143c656a86> (accessed 19 October 2017).
9. Pirueva T.G., Sklovskij S.A. Teplovaja infrakrasnaja ajeros"emka kak instrument kontrolja distancionnogo sostojanija teplovyh setej [Thermal infrared aerial photography as a monitoring tool remote state of calorific nets]. URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2883 (accessed 19 October 2017).
10. Teplovizionnaja s"emka s BPLA [Thermal imaging UAV]. URL: <http://unmanned.ru/service/irvideo.htm> (accessed 19 October 2017).
11. Teplovaja infrakrasnaja ajeros"emka. Gazo- i nefteprovody [Thermal infrared aerial photography. Gas and oil pipelines]. URL: <http://www.teploscan.ru/index.php/monitoring-ob-ektov-kommunalnogo-khozyajstva/gazo-i-nefteprovody> (accessed 19 October 2017).
12. Zavertkin S.A. Markshejderskoe obespechenie s vysoty ptich'ego poleta [Surveying software from height of bird's flight]. *Ugol'*. 2017, no. 5, pp. 88-91.
13. Timofeeva S.S., Sheshukova L.V., Ohotin A.L. Monitoring svalok tverdyh bytovykh i promyshlennykh othodov v Irkutskom rajone po dannym kosmicheskikh snimkov [Monitoring of dumps of solid household and industrial wastes in the Irkutsk area according to satellite images]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, no. 9, pp. 76-81.
14. Garifzjanov R.D., Batrakova G.M. Identifikacija i ocenka jekologicheskogo sostojanija territorij razmeshhenija othodov metodom deshifirovaniya kosmicheskikh snimkov [Identification and assessment of the ecological status of the territories on waste using method of interpreting space images]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*, 2014, no 3, pp. 86-95.
15. Identifying Crop Variability with Drones. URL: <https://blog.droneDeploy.com/identifying-crop-variability-whats-the-difference-between-ndvi-false-ndvi-and-vari-plant-health-98c380381a33> (accessed 19 October 2017).

Получено 18.10.2017

N. Sliusar, V. Korotaev, Y. Kulikova

VISUAL MONITORING OF WASTE DISPOSAL SITES WITH THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Landfills monitoring is a complex task. In addition to the environmental monitoring analysis and data about atmospheric air, soils, surface and underground water, landfill monitoring includes the control of technological operations on waste disposal site, as well as technical inspection and control of the engineering system. Such tasks as technical inspection and control of waste disposal sites can be managed by a visual monitoring approach, i.e. inspection, observation of visible changes with the following analysis of the information received. For this purpose, unmanned aerial vehicles equipped with regular photo and video cameras can be used. The use of drones facilitates the task of visual monitoring of objects, allows to save time and to get quality detailed images. Drone visual monitoring algorithms were tested on municipal solid waste landfills and dumps. Studies have shown its effective-

tiveness in searching illegal waste dumpsites, landfill monitoring, in searching of waste fires. Software processing of orthophotos allows expanding a range of monitoring tasks, for example, to control covered areas of old closed landfills and dumps. The main advantage of drone landfill monitoring is the receipt of detailed and up-to-date information and the possibilities to run complex investigation in the areas, which are often not available in the ground survey.

Keywords: waste, monitoring, landfills, remote-sensing technologies, unmanned aerial vehicles, drones.

Слюсарь Наталья Николаевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: nnslyusar@gmail.com).

Коротяев Владимир Николаевич (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, проректор по науке и инновациям, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: korotatev@pstu.ru).

Куликова Юлия Владимировна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kulikova.pnpu@gmail.com).

Sliusar Natalia (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: nnslyusar@gmail.com).

Korotaev Vladimir (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector on science an innovation, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: korotatev@pstu.ru).

KulikovaYulia (Perm, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: kulikova.pnpu@gmail.com).