

УПРАВЛЕНИЕ БЫТОВЫМИ И ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ

УДК 528.8, 504.064.47

Г.М. Батракова, О.В. Ивенских

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

А.И. Пономарчук

Пермский государственный национальный
исследовательский университет

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИЙ СКЛАДИРОВАНИЯ ОТХОДОВ

Проанализированы возможности применения средств и методов дистанционного зондирования Земли для обнаружения и экологической оценки территорий складирования отходов. Рассмотрены вопросы детектирования, оценки объема и площади свалок, изучена динамика территории свалок, выявлены стихийные и несанкционированные свалки, явления самовоспламенения мусора.

Ключевые слова: мониторинг, дистанционное зондирование Земли, отходы, космические снимки, пространственное разрешение, спутники, излучение, стихийные и несанкционированные свалки, дешифрирование, спектральные характеристики.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) имеет важное прикладное применение в оценке и прогнозах проявления природных процессов и явлений, угрожающих безопасности регионов планеты и государств. Космические снимки широко используются для решения федеральных задач мониторинга состояния лесов, сельскохозяйственных угодий, прогноза паводков, распространения лесных пожаров и др. Космический мониторинг заключается в непрерывном многократном получении информации о качественных и количественных характеристиках природных и антропогенных объектов и процессов с точной географической привяз-

кой за счет обработки данных, получаемых со спутников. Получение регулярной и сопоставимой информации для обширных территорий практически невозможно при наземных обследованиях.

Расширение задач территориального управления требует современных способов представления пространственно-распределенных данных, в этой связи российские операторы космических услуг постоянно расширяют сферы возможного применения информации ДЗЗ. Перспективным является использование дешифрованных материалов космической съемки и для решения вопросов безопасности природопользования в масштабах муниципальных образований, локальных территорий в черте населенных пунктов и отдельных природно-техногенных объектов.

Одной из актуальных экологических проблем краев и областей почти во всех субъектах РФ является увеличение площадей для размещения отходов производства и потребления, твердых бытовых отходов (ТБО) и неопасных промышленных отходов, в том числе строительных. Объекты для захоронения малоопасных отходов (полигоны, свалки) являются источником химического загрязнения природных ландшафтов и геологической среды. Продукты разложения ТБО оказывают влияние на компоненты окружающей среды – почвенно-растительный слой, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, ведут к техногенной миграции химических элементов и нарушению геохимического равновесия. Эксплуатируемые и законсервированные полигоны и свалки обладают потенциальной опасностью для здоровья людей, являясь источником распространения патогенных микроорганизмов, долговременного химического загрязнения и социальной напряженности.

Некоторые физико-химические показатели, характеризующие параметры объектов размещения отходов, используются в аэрокосмических наблюдениях для выявления несанкционированных свалок и оценки экологической ситуации в зоне действующих объектов размещения отходов.

Современные методы ДЗЗ основаны на регистрации излучений посредством цифровых фотокамер, оптико-электронных сканеров, микроволновых приемников, радиолокаторов и других приборов, установленных на космических аппаратах. С помощью регистрирующего прибора, обеспечивающего регистрацию в аналоговой или цифровой форме отраженного или собственного электромагнитного излучения, получают снимок участков поверхности в широком спектральном диапазоне (видимом, ин-

фракрасном и микроволновом). Результаты съемки – снимки различного разрешения, которые проходят первичную обработку и дешифрирование – придание снимку вида, по которому можно определить площадь объекта и описать состояние участков прилегающей территории.

Объекты складирования и захоронения отходов видны на снимках, полученных при аэросъемке и с космических аппаратов NOAA, TERRA/AQUA (для крупных свалок), Landsat, SPOT-2, 4/5, IRS, IKONOS, QuickBird, GeoEye, WorldView-2 и др. Выбор спутниковых систем обусловлен не только оперативностью получения снимков наземными пунктами приема, но и доступностью архивных данных.

Для обнаружения используют данные со спутников TERRA (Aster) (США, пространственное разрешение 15–90 м), Landsat-5 и Landsat-7 (США, 80 м), которые дают снимки среднего и низкого пространственного разрешения. Оценить параметры экологического состояния объектов захоронения отходов можно с космических снимков высокого (2–10 м) и сверхвысокого (0,5–2 м) разрешения. Высокодетальную съемку обеспечивают спутники IRS-P5 (разрешение 2,5 м), EROS A (1,9 м), Cartosat-2 (0,8 м), EROS B (0,7 м).

Обработка результатов ДЗЗ предоставляет возможность:

- обнаружения нелегальных свалок мусора, в том числе стихийных, возникающих вблизи дачных и курортных поселков, на обочинах сельских дорог, в овражной сети и т.п.;
- выявления типов отходов (пищевые, строительные, химические, металлические, др.);
- решения измерительных задач, таких как оценка объема отходов, площадь захоронений отходов, удаленность от жилых массивов, гидрографической сети, охраняемых территорий и т.д.;
- изучения динамики изменения территорий складирования отходов, внутренней структуры и состояния отдельных участков (карт) полигонов;
- распространения шлейфа дыма при крупном пожаре и самовозгораниях отходов.

В целях оценки экологического состояния территорий, используемых для размещения отходов, ДЗЗ в настоящее время еще не широко применяется. Использование возможностей дистанционного метода мониторинга изучено на материале обзоров инженерно-технологического центра «СканЭкс» (Россия) [4], ком-

пании «Совзонд» (Россия) [5], Геоинновационного агентства «Иннотер» (Украина) [6].

Обнаружение свалок. При тематической обработке снимков (по спектральным характеристикам) получают изображение с выделением мест, предположительно занятых свалками. На снимках также могут выделяться ложные объекты, интерпретируемые как свалки: карьеры, выемки, участки с деградировавшим почвенным покровом, склады сыпучих материалов и т.п. Для обнаружения стихийных и несанкционированных свалок используют также сравнение разновременных космоснимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, – 1 м и менее. Такими снимками могут обеспечить спутники: QuickBird (США, 0,6–2,4 м), IKONOS (США, 1–4 м), SPOT-5 (Франция, 2,5–10 м), GeoEye (США, 0,5–2 м).

По данным Геоинновационного агентства «Иннотер» (Украина) [6], методами ДЗЗ на территории Киевской области выявлено более 30 свалок, в АР Крым – 15, в Сумской области – 10.

Объекты размещения отходов в Пермском районе выявлены с помощью данных, предоставленных ГИС центром ПГНИУ (рис. 1). На общем фоне объектов оба полигона выделяются как «засвеченные» объекты, их яркость существенно выше, чем территории населенных пунктов, сельскохозяйственных территорий и др.

Особое значение приобретают данные космических наблюдений для мониторинга закрытых рекультивированных полигонов, на которые в ряде случаев продолжают складировать отходы, тем самым превращая территорию в несанкционированный объект размещения отходов.

Небольшие свалки также поддаются дешифрированию. Их высокая концентрация на окраинах населенных пунктов, вблизи дачных кооперативов, баз отдыха характеризует сложную экологическую ситуацию данных территорий. Разнос легких фракций мусора, случаи возгорания и размывания временными водными потоками – типичные экологические проблемы этих объектов. Анализируя место расположения свалки в системе водораздел – склон, можно прогнозировать миграцию поверхностных потоков (талых и ливневых вод). Расположение свалок и полигонов на склонах эрозионных форм недопустимо, тем не менее до 15 % стихийных необорудованных свалок располагается таким образом, занимая склон оврага или речной долины.



a



b



Рис. 1. Объекты размещения ТБО, выполненные SPOT-5 (разрешение 2,5 м на пиксел):
a – г. Пермь, полигон п. Софроны; *b* – п. Звездный

Морфология отходов в основном выявляется по изменению спектральных характеристик складированных отходов, которые характеризуются высокой степенью изменчивости в зависимости от влажности, измельченности, времени хранения отходов [1, 2, 6]. Свалки, сформированные строительными отходами, имеют характерные спектральные свойства. Отражательная способность (альbedo) смеси бетонных обломков, строительного мусора, щебня, цементной пыли и т.п. оценивается на уровне 25–30 %. В видимом диапазоне строительные отходы имеют более высокую яркость, чем естественный покров (растительность, открытая почва), а также водные поверхности и искусственные покрытия (асфальт, гравий и т.п.). Бытовые отходы характеризуются не столь яркими, но выраженными спектральными признаками, отличающимися по яркости от других материалов.

По результатам обработки изображений космической системы Landsat территории Северо-Запада России и по данным полевого многоканального фотометра сделаны следующие выводы о спектрально-яркостных характеристиках отходов и мест их размещения:

- свалки бытовых отходов, металла, строительных отходов обладают различными отражательными свойствами;
- наиболее информативные отражательные свойства свалок наблюдаются в интервале 550–780 нм;
- увеличение значений яркостных контрастов свалки с фонами (лес, трава, болото, грунт, асфальт, бетон, песок) наблюдается в интервале длин волн 600–700 нм;
- наименьший яркостный контраст имеют свалки с песчаными и грунтовыми объектами;
- наибольший яркостной контраст имеют свалки с фоном «лес» и «трава»;
- чем больше степень измельчения отходов, тем больше значения коэффициентов интервальной яркости;
- с ростом степени увлажнения отходов, отражающие свойства уменьшаются [1].

Мониторинг *динамики изменения территорий* складирования отходов основан на сравнении разновременных космических снимков высокого (2–10 м) и сверхвысокого (0,5–2 м) пространственного разрешения, где хорошо видны отработанные, закрытые и действующие очереди свалок. Особое значение име-

ет мониторинг закрытых полигонов и контроль рекультивации территорий после ликвидации стихийных свалок. Для этого используют спутники: QuickBird (0,6–2,4 м), IKONOS (1–4 м), IRS-P6 (5,8 м).

Настоящим бедствием для территорий, расположенных рядом с крупными свалками, являются *пожары*. Горючих материалов в структуре бытовых отходов достаточно – бумага, ткани, полиэтилен и др., поэтому случаи самовозгорания мусора не редки. Причиной является нерегулярное перекрывание отходов слоями грунта или процесс разложения органических веществ с выделением метана и тела в законсервированных грунтом слоях. Очень сложно ликвидировать тление мусора, которое может продолжаться неделю и больше.

Самовозгорание отходов хорошо фиксируется тепловизионной съемкой, проводимой на самолетах. Результаты исследований в Германии установили высокую контрастность распределения температур в толще накопленного мусора и подтвердили наличие температурных аномалий, связанных с интенсивными процессами преобразования (биоразложения) отходов, сопровождающимися эмиссией биогаза.

Космическими снимками фиксируются лишь крупные пожары. При этом точно установить площадь горения невозможно. Локальный характер пожаров на площади 2–3 га требует для выявления космические снимки с разрешением в тепловом диапазоне не менее 50–60 м, в видимом диапазоне – 5 м. По направлению ветра можно зафиксировать направление дымового шлейфа и определить территории, попадающие под действие токсичных веществ (рис. 2).

На космических снимках хорошо различается внутренняя «структура» полигонов, особенно крупных:

- обработанные участки, закрытые слоем почвы;
- участки, где в настоящее время складировются отходы;
- подъездные пути, каналы, которые использовались в разное время;
- изменения растительности на окружающей территории.

Результатами обработки космических снимков являются не только параметры площади и нарушенность земель, а также показатели, характеризующие состояние растительности и почвенного покрова, данные о рельефе территории, позволяющие учесть поверхностный сток. К параметрам, характеризующим

загрязнение окружающей среды на территории размещения отходов, относятся следующие: коэффициенты спектральной яркости, температурные контрасты, радиационная температура, индексы вегетации растительности, площадные характеристики (форма, размер).



Рис. 2. Пожар на полигоне твердых бытовых отходов вблизи г. Белая Церковь. Снимок QuickBird [6]

В таблице представлены требования к сбору информации о загрязнении земной поверхности отходами производства и потребления и изменении состояния сопряженных сред, например, загрязнением атмосферного воздуха аэрозолями, являющимся косвенным признаком загрязнения при открытых пожарах и самовозгорании отходов.

ДЗЗ является современным и перспективным методом мониторинга состояния окружающей среды, и в России космический мониторинг начинает активно вводиться в разные сферы деятельности. Для получения экономического эффекта при использовании разновременной спутниковой информации необходимо: повышать уровень всего комплекса космических и web-технологий, расширять знания о возможностях космического мониторинга и оперативности передачи информации, готовить специалистов данных областей.

Требования к средствам сбора информации для оценки значимости экологического события и факта загрязнения

Экологически значимое событие	Индикаторные признаки		Способ определения	Средство регистрации и сбора ДЗЗ
	прямые	косвенные		
Загрязнение почвы отходами	Форма неопределенная для несанкц., компактная прямоугольная для полигонов, размеры от 2 м ² до 0,5 км ² Спектральные признаки зависят от морфологии отходов – выделяется светлым и светло-серым фототонном, структура – пятнисто-зернистая	Приурочены к населенным пунктам, рекреационным зонам, воинским частям. Возможна деградация растительного покрова по периметру свалки	Видео- и фотосъемка, ИК-радиометрия	Цифровая фотокамера, ИК-сканер
Загрязнение (деградация) земель	Форма геометрически неопределенная, компактная. Цвет зависит от подстилающей поверхности. Структура однородная, котловинообразная	Приурочены к населенным пунктам, аномальные физические изменения поверхности почв и растительного покрова	Видео- и фотосъемка	Цифровая фотокамера
Загрязнение атмосферного воздуха аэрозолями	Форма дымового шлейфа вытянутая, выделяется сплошной структурой, полностью закрывая изображение территории или размытостью, частично нарушающей изображение. Выделяется светлым или светло-серым фототонном на цифровых цветных и тепловых изображениях, темным – на изображениях в ИК-диапазоне	Приурочены к промышленным и жилым застройкам, деградация повреждение лесного покрова по направлению дымового шлейфа, изменение отражательной способности снежного покрова	Видео- и фотосъемка, ИК-радиометрия	Цифровая фотокамера, ИК-сканер

Примечание: спектральный диапазон – 0,45–0,65 мкм; рекомендуемое линейное разрешение местности – до 1 м.

Библиографический список

1. Бровкина О.В. Автоматическая идентификация свалок по разномасштабным аэрокосмическим данным // Исследования Земли из космоса. – 2007. – № 6. – С. 22–28.

2. Бровкина О.В. Дистанционный мониторинг антропогенных нарушений таежной зоны Северо-Запада России: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – СПб., 2001.

3. Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса для прогнозного моделирования экологической обстановки / С.А. Втюрин, Н.А. Князев, Ю.А. Палатов, С.Н. Романенко // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2007. – № 4. – С. 111–118.

4. Изображение Земли из космоса: метод. пособие / Компания «СканЭкс». – М., 2010. – 85 с.

5. Кастаньельский Д.И. Применение ДЗЗ для экологического мониторинга и детектирования свалок твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] / Компания «Совзонд». – URL: http://www.sea.gov.ru/files/kostalskiy_10.11.2011.pdf (дата обращения: 20.09.2012).

6. Аристов М. Мониторинг полигонов ТБО и обнаружение стихийных мусоросвалок по данным космической съемки // Геопрофиль. – 2009. – № 2. – С. 34–41.

7. Управление отходами. Полигоны захоронения твердых бытовых отходов: учеб. пособие / Я.И. Вайсман [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 464 с.

Получено 21.10.2012

G. Batrakova, O. Ivenskih, A. Ponomarchuk

USAGE OF REMOTE SENSING OF EARTH FOR AN ECOLOGICAL ASSESSMENT OF TERRITORIES OF WAREHOUSING OF A WASTE

This article is devoted to analyzing the possible use means and methods of remote sensing for detection and environmental assessment of waste disposal areas. In work questions of the detection, assessment of volume and area landfills, dumps study the dynamics of the territory, the identification spontaneous and illegal dumping, expos phenomena ignition debris.

Keywords: monitoring, remote sensing of Earth, waste, space pictures, spatial resolution, satellites, radiation, spontaneous and unauthorized dumps, decoding, spectral characteristics.

Батракова Галина Михайловна (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: 14gala@eco.pstu.ac.ru).

Ивенских Ольга Вячеславовна (Пермь, Россия) – магистрант I курса, кафедра охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ivenskih_olga@yandex.ru).

Пономарчук Алексей Иванович (Пермь, Россия) – канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ГИС центра Пермского государственного национального исследовательского университета (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: gis@psu.ru).

Batrakova Galina (Perm, Russia) – Professor of Department of Environmental Protection Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol av., 29, e-mail: gala@eco.pstu.ac.ru).

Ivenskih Olga (Perm, Russia) – Graduate student, Department of Environmental Protection Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol av., 29, e-mail: ivenskih_olga@yandex.ru).

Ponomarchuk Alexey (Perm, Russia) – Candidate of Physics and Mathematics, Senior GIS Center, Perm State National Research University (614990, Perm, Bukireva st., 15, e-mail: gis@psu.ru).