

Б.С. БУСЫГИН, д-р техн.наук, проф., И.Н. ГАРКУША, канд.техн.наук, доц.,
Е.П. ЗАЦЕПИН, асп. (Национальный горный университет)

ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ АНОМАЛИЙ ПО ДАННЫМ СЪЕМКИ СКАНЕРА ASTER

В статье представлены элементы технологии выявления и картирования зон с повышенным тепловым фоном территории города Донецка по данным космической съемки сканера ASTER (космический аппарат Terra).

Введение

Проблема экологической безопасности регионов Украины становится все более острой. Особенно она актуальна для центральных и восточных областей, где расположено большое количество крупных металлургических, химических, горнорудных и других предприятий. Как правило, к сфере деятельности предприятий относят различные полигоны захоронения отходов, склады, отработанные карьеры, отвалы, закрытые и подтопленные шахты. Являются актуальными задачи мониторинга, анализа и прогноза опасных экологических ситуаций на таких предприятиях.

Мировой опыт показывает, что в настоящее время наиболее эффективными для решения задачи экологического мониторинга являются геоинформационные технологии обработки и интегрированного анализа разнородных и разноуровневых данных, в том числе материалов космических съемок [1–5]. В процессе получения информации обрабатываются данные из ближнего, среднего и теплового инфракрасных (ИК) поддиапазонов электромагнитного спектра, а также данные радарной съемки. На сегодняшний день пространственное разрешение сканеров дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) гражданского назначения колеблется в диапазоне от сотен метров до 50 см в надире (существуют и более точные сканеры, предназначенные для военных целей). Например, съемка со спутников WorldView, QuickBird, Ikonos предназначена для проведения таких работ, как дешифровка объектов местности, определение изменения границ объектов, корректировка планов городской застройки, точные измерения площадей земельных участков. Так, пространственное разрешение панхроматического сканера QuickBird-2 составляет 60 см и вполне удовлетворяет перечисленным задачам. Съемка со спутников Landsat, SPOT, Terra, IRS, EO-1 и подобных, актуальна для решения широкого круга задач землепользования, мониторинга окружающей среды, оценки и прогноза фитомассы зеленой растительности. Пространственное разрешение съемочной аппаратуры таких систем колеблется в диапазоне от 15 до 90 м в зависимости от поддиапазона фиксируемого электромагнитного излучения и ряда других факторов.

Из перечисленных спутниковых систем ДЗЗ для решения задач выявления тепловых аномалий следует выделить систему Terra, включающую:

- сканирующий радиометр среднего разрешения MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), выполняющий съемку в 36 каналах в диапазоне длин волн от 0,4 до 14,4 мкм;
- сканирующий радиометр ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), выполняющий съемку в 14 каналах (табл. 1).

Как MODIS, так и ASTER позволяют проводить съемку одновременно в нескольких коротковолновых ИК (SWIR) и тепловых ИК (TIR) поддиапазонах электромагнитного спектра, что дает возможность выявления аномалий на земной поверхности. Перспективным для этих целей является сканер ASTER, поскольку имеет

более высокое по сравнению с MODIS пространственное разрешение съемки – 30 м для SWIR и 90 м для TIR каналов (у MODIS – 500 м и 1000 м соответственно).

Цель работы

По данным съемки SWIR и TIR каналов сканера ASTER разработать фрагменты технологии выявления тепловых аномалий или зон с повышенным тепловым фоном.

Исходные данные

Выделяют снимки ASTER двух основных уровней обработки: L1A и L1B. Продукция ASTER L1A (Reconstructed Unprocessed Instrument Data) состоит из восстановленных необработанных цифровых данных, полученных по каналам телеметрии 3-х телескопов в соответствии с их наземным разрешением (табл. 1). Коэффициенты геометрической и радиометрической калибровки у таких распакованных и перегруппированных цифровых данных приложены, но не учтены. Продукция ASTER L1B (Registered Radiance at the Sensor) включает в себя радиометрически откалиброванные и геометрически исправленные данные для всех каналов, полученные предварительно по каналам телеметрии 3-х разных телескопов на уровне L1A.

Табл. 1. Характеристики сканера ASTER спутника Terra

Поддиапазон съемки	Границы спектральных зон съемки, мкм	Пространственное разрешение съемки, м	Ширина полосы обзора съемки, км
VNIR	0,52–0,60; 0,63–0,69; 0,78–0,86	15	60
SWIR	1,60–1,70; 2,145–2,185; 2,185–2,225; 2,235–2,285; 2,295–2,365; 2,360–2,430	30	
TIR	8,125–8,475; 8,475–8,825; 8,925–9,275; 10,25–10,95; 10,95–11,65	90	

Предложенные в работе этапы технологии отрабатывались на космоснимках города Донецка (уровень обработки L1A) и его окрестностей, полученных сканером ASTER 29.07.2005 (рис. 1).

Выбор территории для исследования обусловлен ее повышенной насыщенностью техногенными объектами – шахтными отвалами горных пород, крупными предприятиями металлургической и химической промышленности, непосредственно соседствующими с жилой городской застройкой, рекреационными парковыми зонами отдыха и водными объектами.

Снимок на рис. 1 представлен в синтезе 9-2-1 (RGB-компоненты цветного отображения соответствуют 9-му, второму и первому каналам сканера ASTER).

Тепловое поле поверхности определяется внутренними и внешними источниками тепла, тепловыми свойствами горных пород. Факторами формирования региональных и локальных аномалий температур поверхности могут быть:

- эндогенное тепло Земли;
- региональные и локальные условия инсоляции;
- проявления современного вулканизма и тектонических движений;
- многолетнемерзлые породы, т.е. мощные (до сотен метров) толщи пород с отрицательными температурами;

- циркуляция подземных, в том числе термальных вод;
- наличие пород и руд с повышенной радиоактивностью;
- химические и биохимические процессы (экзотермические и эндотермические), происходящие в нефтегазоносных горизонтах, залежах угля, сульфидных и других рудах, почвах, а также антропогенных отложениях.



Рис. 1. Фрагмент снимка ASTER территории города Донецка (дата съемки 29.07.2005)

В соответствии с вышеперечисленными факторами, неоднородность распределения теплового поля может являться индикатором объектов, процессов и явлений имеющих на исследуемой территории.

Выявление аномалий по данным космической съемки

Наиболее известные технологии выявления аномалий основаны на использовании инструментов таких систем обработки данных, как ENVI и ERDAS Imagine.

Система ENVI версии 4.3 включает инструмент *RX Anomaly Detection*, обрабатывающий снимок на основе классического алгоритма RXD (Reed-Xiaoli Anomaly Detection), используемый для обнаружения аномальных объектов на спектральных изображениях, отличающихся по своим спектральным характеристикам от общего фона изображения [6]. Результаты обработки сцены (рис. 1) в SWIR-диапазоне представлены на рис. 2.

Инструменты спектрального анализа системы ERDAS Imagine версии 9.1 используют метод OSP (Orthogonal Subspace Projection). Анализ и результаты обработки изучают в среде Spectral Analysis Workstation [7].

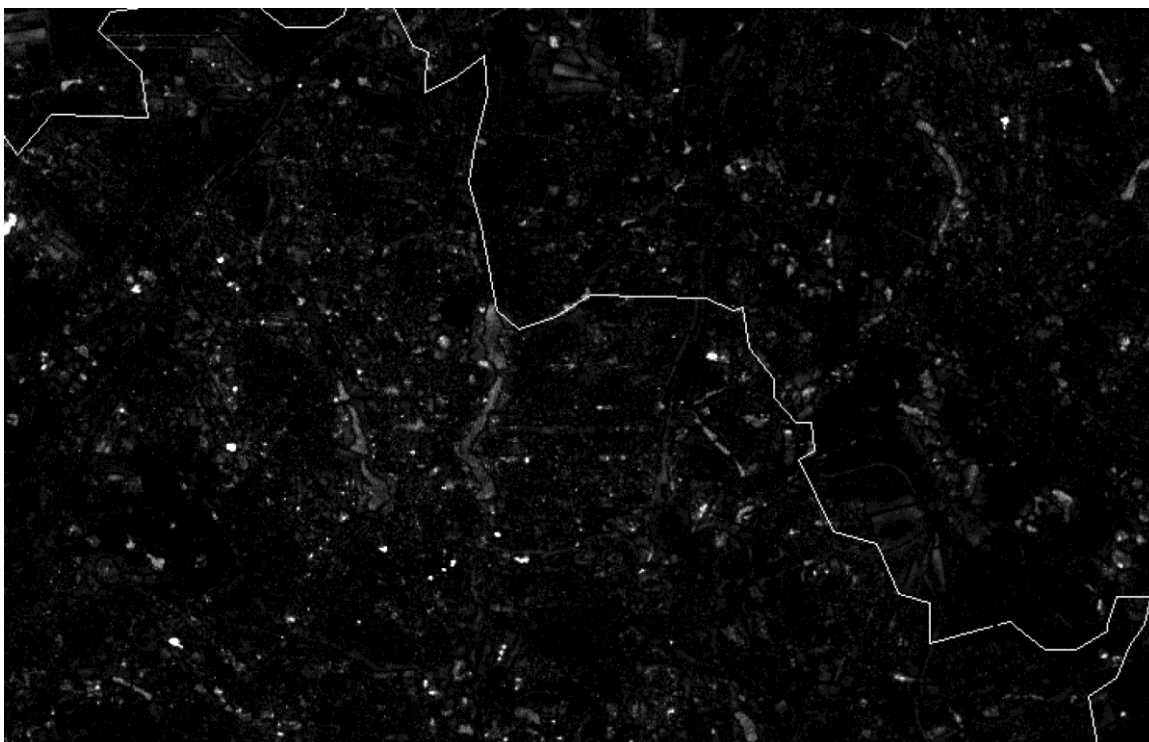


Рис. 2. Результат выделения аномалий части города Донецка (показана граница города) на снимке ASTER при помощи алгоритма RXD: яркие белые области – выделенные аномалии по данным канала SWIR

В ходе исследования результатов обработки снимков ASTER инструментом RX Anomaly Detection (ENVI) и сопоставления их с картой города Донецка, были отмечены аномальные области, выявленные по данным SWIR-каналов. Обработка TIR-каналов к удовлетворительным результатам не привела. Таким образом, рассмотренные методы обработки требуют явных улучшений или же использование иного подхода к обработке снимков.

С целью выявления зон с повышенным тепловым фоном предлагаются следующие шаги обработки снимков ASTER.

1. Географическая привязка карт, планов местности исследуемого участка к космоснимку.

2. Определение уровня теплового фона, при котором объект исследуемого участка снимка сцены будет определен как аномальный.

3. Нелинейные преобразования яркости изображений тепловых каналов сканера ASTER с целью усиления определенных групп пикселей, относящихся к аномальному тепловому фону.

4. Сопоставление результатов вычислений с картами, планами исследуемого участка и их последующий анализ.

Авторами статьи экспериментально установлено, что для выделения аномальных зон является полезным применение нелинейного преобразования (1) яркости пикселей $b_i(x, y)$ i -го канала снимка [8]:

$$b'_i(x, y) = (L - 1) \frac{\left(\frac{b_i(x, y)}{L - 1}\right)^r}{\left(\frac{S}{L - 1}\right)^{r-1}} \quad \text{для } 0 \leq b_i(x, y) \leq S, \quad (1)$$

$$b'_i(x, y) = (L - 1) - \frac{(L - 1 - b_i(x, y))^r}{(L - 1 - S)^{r-1}} \quad \text{для } S \leq b_i(x, y) \leq (L - 1)$$

где $b_i(x, y)$, $b'_i(x, y)$ – значения пикселей исходного и выходного изображений соответственно; L – максимальное значение спектрального отклика в канале изображения сканера; S – значение точки перегиба; r – показатель степенной функции преобразования.

Для определения спектральных отражательных особенностей объектов космической съемки, в частности носящих техногенный характер и возможно являющихся аномальными зонами (например, терриконами), строят спектральные профили. Каждый пиксель мультиспектрального космоснимка кодируется вектором значений, представляющих некоторый уровень регистрируемого отраженного солнечного или генерируемого с земной поверхности электромагнитного излучения. Схематически процесс построения спектрального профиля представлен на рис. 3.

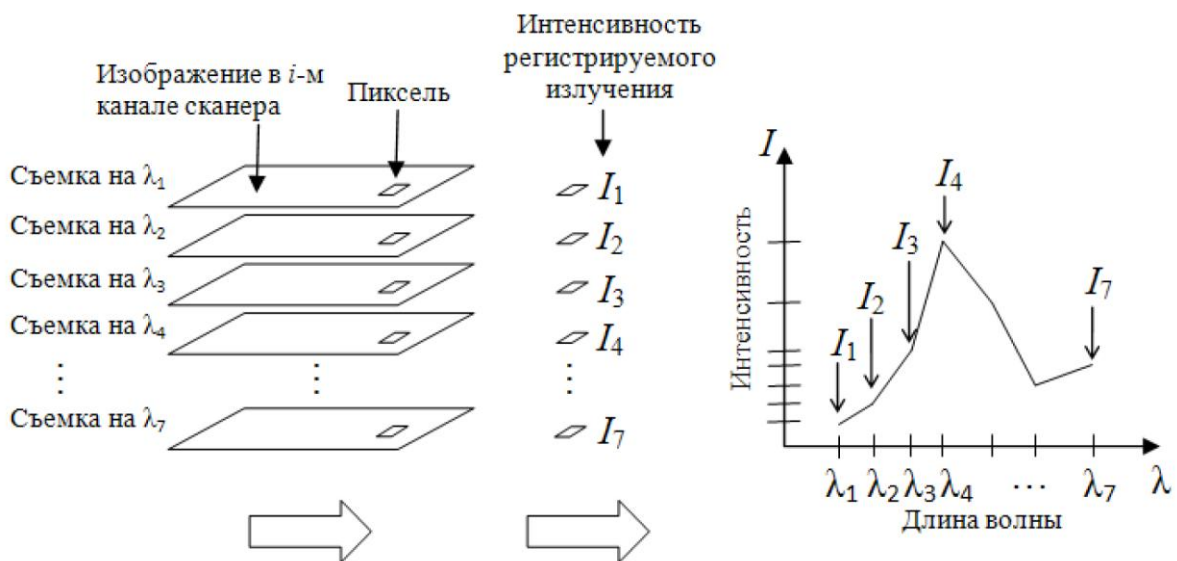


Рис. 3. Пример процедуры построения спектрального профиля для элемента 7-и канального космоснимка

Таким образом, имея построенные спектральные профили объектов, можно анализировать их особенности на определенных длинах волн, что дает возможность автоматизации определения типов земного покрытия и выявления аномальных зон (в частности, тепловых). На рис. 4 представлен график спектрального профиля одного из терриконов города Донецка по данным съемки от 29.07.2005 (рис. 1), построенный инструментами ERDAS Imagine.

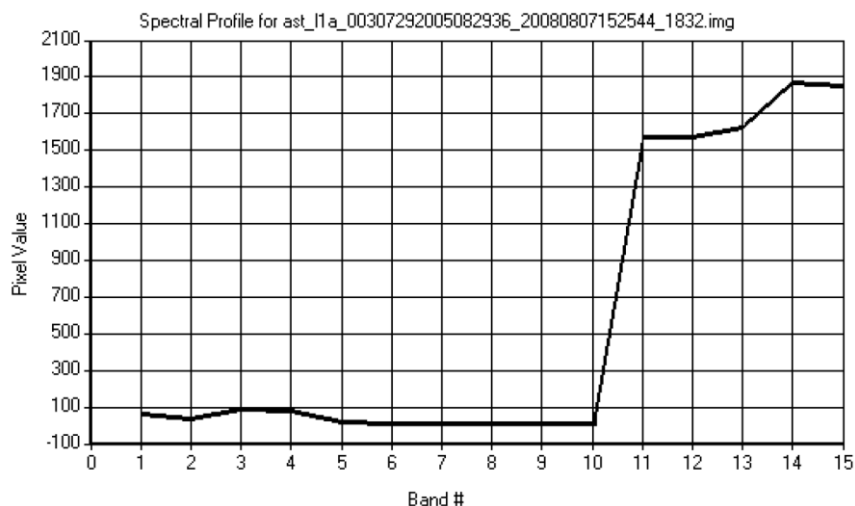


Рис. 4. График спектрального профиля одного из терриконов города Донецка, полученный по данным съемки 29.07.2005 (уровень обработки L1A)

Поскольку сканер ASTER проводит съемку в третьем VNIR-канале (табл. 1) в двух режимах (съемка в надире – канал 3N и съемка вдоль трека назад – канал 3B) для получения стереосъемки с одного витка без перенацеливания сенсора [9], то общее количество изображений (каналов) в продукте L1A – 15. По кривой (рис. 4) видно, что наибольшие значения в тепловом диапазоне дает съемка TIR канала на длинах волн 10,25–10,95 мкм. Установлено, что спектральные отклики в этом канале для терриконов составляют более 1880 единиц.

Для усиления спектрального отклика указанного диапазона снимка выполнено преобразование (1) со значениями параметров $S=2000$, $L=2200$ и $r=30$. Кривая нелинейного преобразования значения пикселей с указанными параметрами представлена на рис. 5.

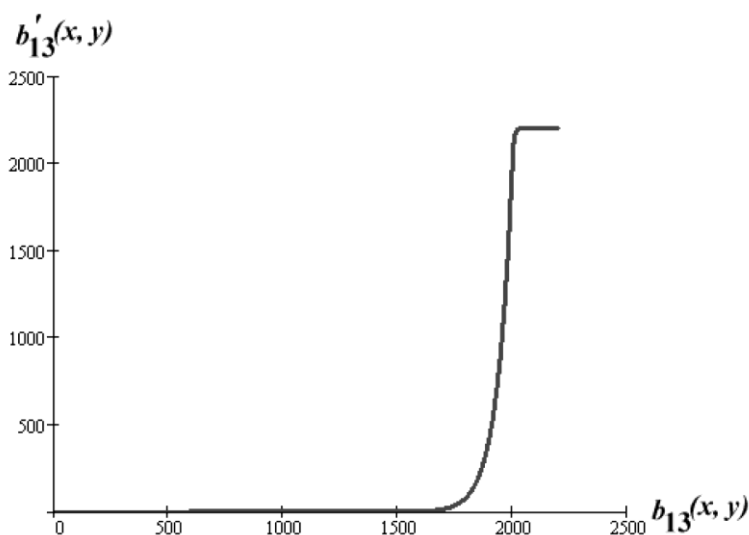


Рис. 5. Нелинейная характеристика преобразования значений пикселей изображения 13-го TIR-канала ASTER

Полученное изображение преобразованного TIR-канала сканера в синтезе с изображениями каналов 3N и 1 дало результат, представленный на рис. 6.

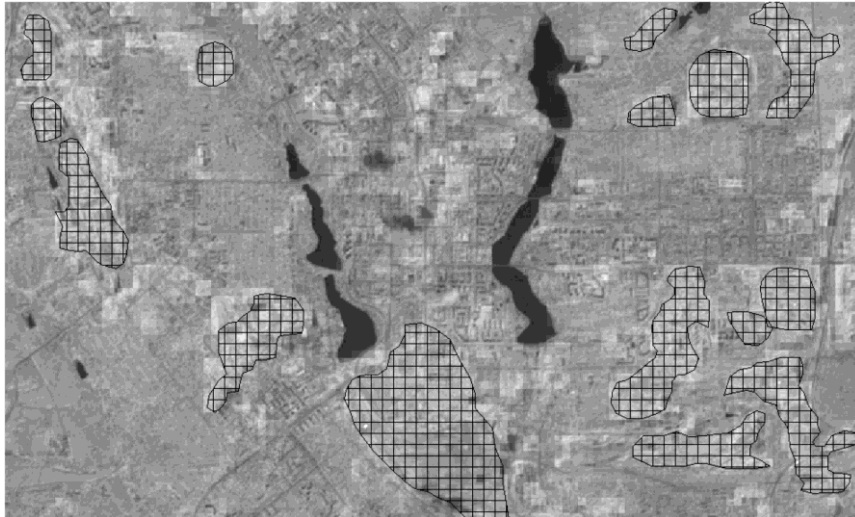


Рис. 6. Зоны с интенсивным выделением тепла центра г. Донецка

Зоны с наибольшим выделением тепла были оцифрованы в векторные полигональные слои и сопоставлены с отсканированным планом города (рис. 7). Точность привязки карты к снимку составляла 15-20 м.



Рис. 7. Оцифрованные по снимку зоны с интенсивным выделением тепла, сопоставленные с планом центра г. Донецка

Выводы

Как показал визуальный анализ сопоставленных с планом города Донецка оцифрованного результата выделения зон с повышенным тепловым фоном, они характерны не только для промышленных объектов города, но и для терриконов. Последнее свидетельствует о наличии активных термических процессов в недрах терриконов.

Наиболее перспективными в дальнейших исследованиях является составление карт распределения тепловых зон, их сопоставление с картами распределения нормализованного разностного вегетационного индекса. Зоны с высокими значениями нормализованного разностного вегетационного индекса и одновременно высокими значениями температурного показателя – аномальны.

Терриконы на снимках ASTER легко дешифрируются благодаря своей специфической форме в вертикальной перспективе. Термально опасные терриконы в

тепловых каналах сканера имеют повышенные значения. Таким образом, выявление тепловых аномалий на космоснимке с терриконами, позволяет не только их классифицировать, но и создать кадастр пожароопасных шахт и терриконов Донбасса.

Библиографический список

1. Пивняк Г.Г. ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных / Г.Г. Пивняк, Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин // Доповіді НАН України. – 2007. – Т 7. – С. 121–128.
2. Бусыгин Б.С. Геоинформационная система РАПИД как средство мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций / Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, В.А. Бойко // Сб. тр. 9 Междунар. конф. “Стихия-2006”. (Севастополь, сент., 2006). – Севастополь, 2006.
3. Busygin B., Nikulin S. The integrated analysis of geological-geophysical and remote sensing data at the gold prospecting in Western Uzbekistan // 67-rd EAGE Conf.: Extended Abstracts. (Madrid, Spain, June 2005). – Madrid, 2005. – 1.
4. Blaschke T., Conradi M., Lang S. Multi-scale image analysis for ecological monitoring of heterogeneous, small structured landscapes // Proceedings of SPIE, Toulouse. – 2001. – P. 35-44.
5. Kasischke ES, Melack JM, Dobson MC. The use of imaging radars for ecological applications – a review // Remote Sensing of Environment. – 1997. – 59. – P. 141-156.
6. Chang, Chein-I, and Shao-Shan Chiang, 2002. Anomaly detection and classification for hyperspectral imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 40, No. 6, pp. 1314-1325.
7. Leica Geosystems. IMAGINE Spectral Analysis Users Guide.
8. Бондарев В. Цифровая обработка сигналов: методы и средства : учеб. пособие для вузов. 2-е изд. / В. Бондарев, Г. Трестер, В. Чернега. – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
9. Критерии выбора данных ДЗЗ для топографического картографирования / Адров В.Н. и др. // [Электронный ресурс], URL - Режим доступа: http://www.racurs.ru/www_download/articles/remote_sensing_data_choice_criteria.pdf

Надійшла до редколегії 11.11.2009

Б.С. БУСИГІН, І.М. ГАРКУША, Є.П. ЗАЦЕПІН

ВИЯВЛЕННЯ ТЕПЛОВИХ АНОМАЛІЙ ЗА ДАНИМИ ЗЙОМКИ СКАНЕРА ASTER

У статті представлені елементи технології виявлення та картування зон з підвищеним тепловим фоном території міста Донецька за даними космічної зйомки сканера ASTER (космічний апарат Terra).

B. BUSYGIN, I. GARKUSHA, E. ZATSEPIN

IDENTIFYING THE THERMAL ANOMALY ON THE IMAGERY SCANNER ASTER

The article presents the elements of the technology of identifying and mapping areas with high thermal background of the city of Donetsk on the imagery scanner ASTER (spacecraft Terra).

© Б.С. Бусыгин, И.Н. Гаркуша, Е.П. Зацепин, 2010