

ДААННЫЕ СО СПУТНИКОВ ТН-1-01 И SPOT 5. СРАВНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

А.В. Солюшкин (ИТЦ «СКАНЭКС»)

В 2000 г. окончил факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова по специальности «почвоведение». После окончания университета работал в Институте почвоведения МГУ-РАН. С 2000 г. работает в ИТЦ «СКАНЭКС», в настоящее время — руководитель департамента обработки изображений и разработки программного обеспечения.

24 августа 2010 г. с космодрома Цзюцюань (Китай) на орбиту был выведен спутник дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) Tianhui-1-01 (ТН-1-01), а 6 мая 2012 г., с того же космодрома, — его «брат-близнец» Tianhui-1-02 (ТН-1-02). Основные характеристики космических аппаратов (КА) приведены в табл. 1 [1, 2].

Оба КА оборудованы тремя камерами, основные характеристики которых приведены в табл. 2.

Оператором данных является компания Beijing Space Eye Innovation Technology Co., Ltd (BSEI, Китай), которая предоставляет конечному пользователю

спутниковые снимки следующих уровней обработки [3, 4]:

— Level-1A — данные, прошедшие только радиометричес-

кую коррекцию. В состав поставки входит изображение, файл метаданных и файл с RPC-коэффициентами (с коэффици-

Основные характеристики КА ТН-1-01 и ТН-1-02

Таблица 1

Название спутника	ТН-1-01	ТН-1-02
Дата запуска	24.08.2010	06.05.2012
Срок службы	3 года	3 года
Вес, кг	1000	1000
Высота орбиты, км	487/504	490/506
Наклонение орбиты, °	97,35	97,37
Тип орбиты	Солнечно-синхронная	Солнечно-синхронная
Период обращения, мин	94,53	94,58
Возможность повторной съемки, дней	9	9
Орбитальный цикл, дней	58	58

Характеристики съемочной аппаратуры КА ТН-1-01 и ТН-1-02

Таблица 2

Название камеры	GFB	DGP	SXZ
Тип съемки	Панхроматическая	Мультиспектральная	Сtereo-триплет
Размер пикселя на местности, м	2	10	5
Полоса обзора, км	60	60	60
Спектральный диапазон, мкм	0,51–0,69	0,43–0,52 0,52–0,61 0,61–0,69 0,76–0,90	0,51–0,69
Радиометрическое разрешение, бит/пиксель	8	8	8
Возможность отклонения от надира, °	10	10	10
Плановая точность по критерию СЕ90%, м	25	25	25
Высотная точность по критерию СЕ90%, м	—	—	10

ентами рационального многочлена третьей степени);

— Level-1B — данные уровня 1А, прошедшие процедуру уточнения параметров внешнего и внутреннего ориентирования. В состав поставки входит изображение, файл метаданных и файл с уточненными RPC-коэффициентами;

— Level-2 — данные уровня 1А, прошедшие процедуру геометрической коррекции и трансформированные в картографическую проекцию, без использования опорных точек и цифровой модели рельефа (ЦМР). В состав поставки вхо-

дит изображение и файл метаданных;

— Level-3А — данные уровня 1А, прошедшие процедуру геометрической коррекции и трансформированные в картографическую проекцию, с использованием опорных точек. В состав поставки входит изображение и файл метаданных;

— Level-3В — данные уровня 1В, прошедшие процедуру ортотрансформирования. В состав поставки входит изображение и файл метаданных.

Согласно [4], эти спутниковые снимки вызывают большой интерес и фактически являются конкурентами европейской программы SPOT (Франция), представленной КА SPOT 5 и SPOT 6, которая в ближайшее время должна пополниться новым аппаратом SPOT 7. Исходя из этого, важно провести тестирование данных с КА ТН-1-01 и ТН-1-02 и сравнить их со снимками программы SPOT.

В рамках предложения о партнерских отношениях между компаниями BSEI и ИТЦ «СКАНЭКС», последней были переданы тестовые спутниковые данные с КА ТН-1-01 уровнями Level-1А и Level-1В, полученные 26 апреля 2012 г. В состав тестовых данных вошла информация, полученная камерами GFB, DGP и SXZ. Для сравнения был выбран космический снимок с КА SPOT 5, полученный 11 сентября 2012 г. одной из станций приема данных ДЗЗ, входящей в состав сети ИТЦ «СКАНЭКС». Схема перекрытия снимков ТН-1-01 и SPOT 5 показана на рис. 1.

Переданные тестовые данные покрывают участок между географическими координатами $55^{\circ}42' - 56^{\circ}17'$ с. ш. и $88^{\circ}8' - 89^{\circ}5'$ в. д., расположенный на границе Кемеровской области и Республики Хакасия (рис. 2).

Данная территория характеризуется преимущественно холмистым рельефом, средняя аб-

солютная высота местности составляет 220 м, минимальная — 120 м, а максимальная — 360 м. В качестве источника информации о рельефе использовалась общедоступная цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM с сеткой, размером $3 \times 3''$. Абсолютная вертикальная точность модели в соответствии со спецификацией не хуже 16 м по критерию LE90% (Linear Error), а абсолютная плановая точность не превышает 20 м по критерию CE90% (Circular Error) [5]. Однако, согласно дополнительно проведенным исследованиям [6], вертикальная точность модели для территории Евразии не превышает 10 м по критерию LE90%.

В качестве источника плановой опорной информации использовался высокоточный ортотрансформированный космический снимок территории РФ с КА GeoEye-1, с точностью привязки не хуже 10 м по критерию CE90%. Доступ к данному космическому снимку возможен благодаря партнерской программе ИТЦ «СКАНЭКС» — «Экспресс.Космоснимки.Про» [7].

Была проведена оценка геометрических свойств спутниковых данных с КА ТН-1-01 с уровнями обработки Level-1А и Level-1В, а также их сравнение с результатами аналогичных исследований, выполненных по данным с КА SPOT 5 уровня обработки Level-1А. Для этого были выбраны панхроматические снимки, полученные камерой GFB (ТН-1-01) с пространственным разрешением 2 м на пиксель, и панхроматические снимки, полученные камерой HRG (SPOT-5) с пространственным разрешением 2,5 м на пиксель. Основные характеристики использованных при тестировании снимков приведены в табл. 3.

При исследовании точности ориентирования снимков для каждого изображения было из-

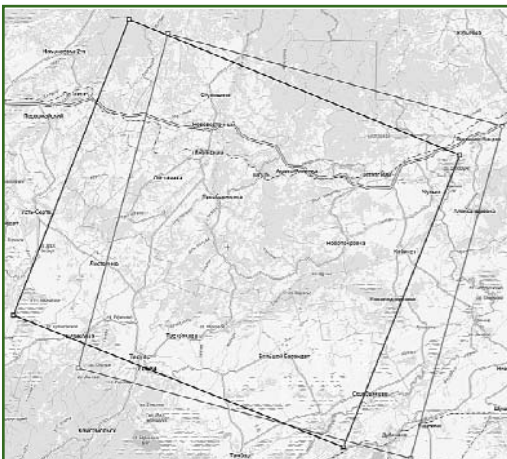


Рис. 1

Взаимное положение снимков ТН-1-01 и SPOT 5. Серым цветом показан контур снимка ТН-1-01, черным — SPOT 5

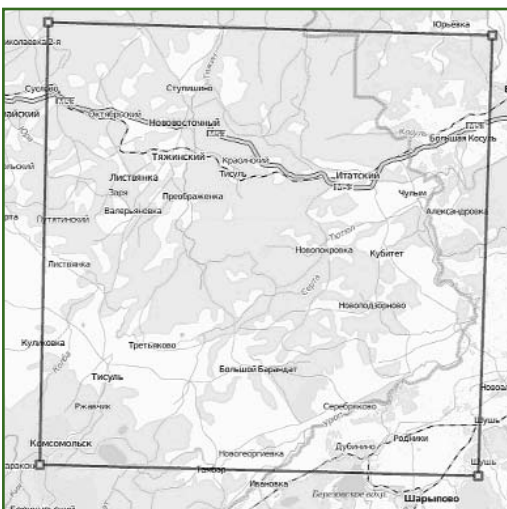


Рис. 2

Географическое положение исследуемой территории

мерено по 16 точек (рис. 3, 4). В качестве исходных плановых координат использовались координаты снимка с КА GeoEye-1, а высот — матрицы SRTM.

В состав поставки данных с КА TH-1-01 и TH-1-02 входит файл с RPC-коэффициентами, являющимися аппроксимацией строгой модели. Они позволяют определить зависимость нормированных пиксельных координат изображения от нормированных географических координат и высоты, взятых, как правило, относительно эллипсоида WGS-84.

Данные с КА SPOT 5 RPC-коэффициентов не имеют. Поэтому для их фотограмметрической обработки необходимо применять строгий подход, позволяющий, используя информацию о траектории движения КА и углах ориентации камеры, выполнить трассировку совокупности лучей, формирующих изображение, и найти их пересечение с земной поверхностью. Вся необходимая для этого информация хранится в файле метаданных DIM, входящем в состав поставки снимка.

Качество ортотрансформирования космических изображений зависит от точности измерения положения космического аппарата и углов ориентации камеры,

которые, к сожалению, не всегда достоверны, и для достижения требуемой точности ортотрансформированных изображений необходимо осуществлять их коррекцию. В случае использования строгой модели можно, используя опорные точки, итерационно выполнить коррекцию орбитальных параметров и, если необходимо, углов ориентации камеры. Чаще всего используются модели коррекции в виде RPC-коэффициентов, предложенные в работах [8, 9], суть которых сводится к применению полиномиальных поправок, как правило, нулевой или первой степени, после выполнения преобразования по предварительно рассчитанным коэффициентам рационального многочлена.

Для оценки точности ориентирования снимков было проведено несколько экспериментов, используя различные виды преобразований и соотношения опорных и контрольных точек. Первоначально все измеренные точки (рис. 3) применялись в качестве контрольных, и выполнялось ортотрансформирование снимков с уровнем обработки Level-1A и Level-1B с использованием RPC-коэффициентов и ЦМР SRTM. Затем все измеренные точки использовались в качестве опорных, и про-

водилось ортотрансформирование с использованием RPC-коэффициентов, ЦМР SRTM, а также полиномиальных поправок нулевой степени (простой сдвиг), первой степени (аффинная коррекция) и проективных поправок.

В следующем эксперименте количество опорных точек уменьшили до 9, в качестве контрольных выбрали точки с номерами 1, 2, 12, 13, 14, 15 и 16 (рис. 3) и выполнили ортотрансформирование по тем же моделям, что и в первом эксперименте.

В третьем эксперименте количество опорных точек уменьшили до 5, в качестве контрольных точек выбрали точки с номерами 1, 2, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15 и 16 (рис. 3) и выполнили аналогичные предыдущим экспериментам преобразования.

При оценке точности данных с уровнем обработки Level-1A также было проведено несколько тестов. Сначала все измеренные 16 точек (рис. 4) выбрали в качестве контрольных и выполнили ортотрансформирование по строгой модели, при этом коррекция орбитальных параметров и углов ориентации камеры не проводилась. Затем все измеренные точки выбрали в качестве опорных и провели ор-

Характеристики использованных при тестировании снимков

Таблица 3

Название камеры	GFB	HRG
Уровень обработки	Level-1A, Level-1B	Level-1A
Формат изображения	TIFF	TIFF
Формат метаданных	XML	DIMAP
Модель ортотрансформирования	RPC	Строгая модель
Размер пикселя на местности, м	2	2,5
Полоса обзора, км	60	60
Радиометрическое разрешение, бит/пиксель	8	8
Спектральный диапазон, мкм	0,51-0,69	0,48-0,71
Дата съемки	26.04.2012	11.09.2012
Угол отклонения от надира, °	0	18,7
Идентификационный номер	TH01-01_P201205280502948, TH01-01_P201302050000085	SP5_209236_1209110533078_2A_1T

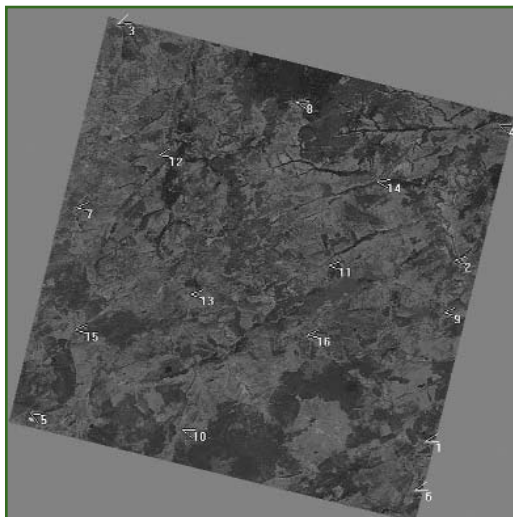


Рис. 3
Расположение точек на снимке с КА ТН-1-01

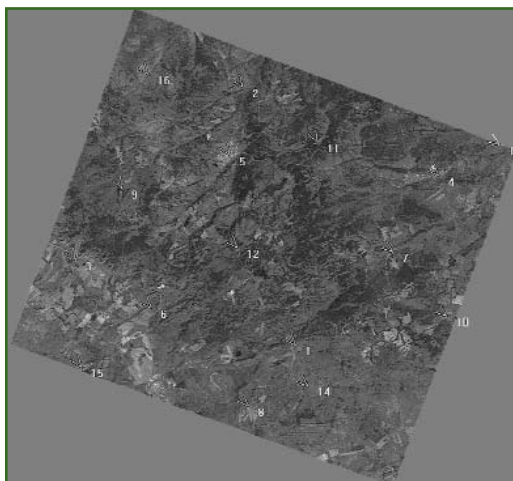


Рис. 4
Расположение точек на снимке с КА SPOT 5

тотрансформирование с линейной коррекцией векторов скорости и положения КА (эфемерид), а затем с линейной коррекцией эфемерид и углов ориентации камеры.

В следующем эксперименте для коррекции параметров модели использовалось 9 точек с номерами 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 (рис. 4). Были выполнены те же преобразования, что и в предыдущем эксперименте.

Поле этого, количество опорных точек уменьшили до 5, выбрав точки с номерами 12, 13, 14, 15, 16 (рис. 4), и выполнили аналогичную предыдущим экспериментам коррекцию.

В последнем эксперименте в качестве опорной выбрали точку 12 (рис. 4), а все остальные точки использовали в качестве контрольных точек. Затем выполнили линейную коррекцию эфемерид.

В результате проведенных экспериментов номинальная точность в плане снимков GFB Level-1A (ТН-1-01) без использования опорных точек составила: среднее квадратическое отклонение (СКО) — 333,5 м и отклонение по критерию СЕ90% — 715,8 м. Эти величины не соответствуют заявленной точности — по критерию СЕ90% она должна составлять 25 м [3]. Кроме того, согласно проведенным экспериментам, максимальная точность ортотрансформирования этих снимков составила: СКО — 23 м и отклонение по критерию СЕ90% — 49,9 м. Данные значения были получены при использовании 16 опорных точек. При этом существенного изменения параметров точности при снижении количества опорных точек не прослеживалось. Это позволяет сделать вывод о существенных недостатках строгой модели камеры GFB, по которой осуществлялся расчет RPC-коэффициентов для снимков с уровнем обработки Level-1A.

Номинальная точность снимков GFB Level-1B (ТН-1-01) составила: СКО — 40,1 м и отклонение по критерию СЕ90% — 86,1 м, что также не соответствует точности, заявленной оператором КА ТН-1-01. Максимальная точность ортотрансформирования составила: СКО — 6,2 м и отклонение по критерию СЕ90% — 13,5 м. Она также была достигнута при использовании 16 опорных точек. Учитывая, что снимки были получены в надир, это наводит на мысль о недостатках строгой модели, используемой при генерации RPC-коэффициентов для снимков с уровнем обработки Level-1B.

Таким образом, можно сделать вывод, что при достаточном количестве опорных точек (не менее 9, равномерно распределенных по снимку) и использовании метода проективных поправок исходных RPC-коэффициентов, снимки с уровнем обработки Level-1B по своим геометрическим характеристикам могут быть использованы для создания ортофотопланов масштаба 1:25 000. В то же время стоит обратить внимание, что при тестировании обрабатывался снимок, полученный в надир, и при использовании снимков с отклонением от надира их параметры точности существенно ухудшатся.

Снимки HRG Level-1A (SPOT-5) характеризуются более высокой номинальной точностью: СКО — 24 м и отклонение по критерию СЕ90% — 51,5 м. Однако они также не укладываются в заявленные компанией Astrium величины — отклонение по критерию СЕ90% <30 м [10]. Максимальная точность ортотрансформирования снимков этого уровня обработки была получена с 9 опорными точками при использовании линейной коррекции эфемерид и углов ориентации камеры и составила: СКО — 3,5 м и отклонение по критерию СЕ90% — 7,5 м. В то же время применение всего одной опорной точки и линейной коррекции эфемерид позволило получить снимок, пригодный для создания ортофотопланов масштаба 1:25 000 и мельче.

Таким образом, номинальная точность в плане снимков GFB Level-1A (ТН-1-01), GFB Level-1B (ТН-1-01), а также HRG Level-1A (SPOT-5), участвовавших в тестировании, не соответствует точности, заявленной компаниями BSEI и Astrium. Причем, для снимков GFB Level-1A она хуже в 28 раз, для снимков GFB Level-1B — более чем в 3 раза, а для снимка HRG Level-1A — в 1,5 раза. Тем не менее, данные с раз-

мером пикселя на местности около 2 м можно считать потенциальным источником для создания картографических материалов масштаба 1:25 000. В связи с этим можно сделать вывод о потенциальной пригодности снимков GFB Level-1B для изготовления ортофотопланов масштаба 1:25 000 (для равнинных и холмистых территорий), при условии использования не менее 9 контрольных точек и проективного метода коррекции RPC-коэффициентов.

Данные HRG Level-1A пригодны для создания картографических материалов масштаба 1:25 000 (для равнинных и холмистых территорий), при условии использования одной надежной опорной точки, и масштаба 1:10 000, при использовании 5 равномерно распределенных опорных точек и метода линейной коррекции эфемерид и углов ориентации камеры.

Снимки GFB Level-1A, на наш взгляд, малоприспособлены для фотограмметрической обработки,

и могут представлять интерес только в случае предоставления оператором телеметрической информации, позволяющей выполнить фотограмметрическую обработку по строгой модели.

В заключение следует отметить, что дешифровочные характеристики снимков в рамках этой работы не оценивались, и вывод о пригодности данных для создания картографических материалов масштаба 1:25 000 и крупнее основывается исключительно на полученных оценках геометрических характеристик снимков.

▼ Список литературы

1. <http://satellites.findthedata.org/l/935/Tianhui-1-01>.
2. <http://satellites.findthedata.org/l/936/Tianhui-1-02>.
3. http://en.bsei.com.cn/a/TH_product.
4. Profile of the TH-1 Satellite Imagery.
5. Farr, Tom G., Paul A. Rosen at all. The Shuttle RadarTopography Mission. http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_paper.pdf.

6. E. Rodriguez, C.S. Morris at all. An Assessment of SRTM Topographic Products. http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_D31639.pdf

7. <http://express.kosmosnimki.ru>.
8. G. Dial, J. Grodecki. Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials. Photogrammetric engineering & remote sensing, 2003.

9. G. Dial, J. Grodecki. Block adjustment with rational polynomial camera models. 2002. http://geo-eye.com/CorpSite/assets/docs/technical-papers/2002/D_DialGene_JacekGrodecki_2002.pdf.

10. <http://www.astrium-geo.com/en/4388-spot-1-to-spot-5-satellite-images>.

RESUME

Satellite images acquired by the TH-1 space system (China) are of great interest to users and actually compete with the data obtained within the framework of the European program SPOT. The article presents the comparison results for the geometric characteristics of the images taken by spacecraft TH-1-01 and SPOT 5.



Ключевые вопросы:

- Космические технологии для экологических проектов
- Открытые данные для гражданского общества
- Космическая съемка для управления территориями и отраслями
- Средства обработки спутниковых данных
- Космическое приборостроение для микроспутников
- Лесное хозяйство, землепользование, мониторинг ЧС: практика работы с данными ДЗЗ
- Современные технологии в школах и вузах
- Инвестиции в космическую отрасль

И многое другое

Организаторы и оргкомитет



142784, Москва, пос. Румянцово, стр. 1, БИЗНЕС-ПАРК «Румянцово», 8 подъезд, 8 этаж, офис: 819а, Тел./факс: +7 (495) 739-7385 e-mail: conference@scanex.ru

www.conference.scanex.ru

2003 2005 2007 2009 2011 2013 2015
10 лет проведения

ШЕСТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ЗЕМЛЯ ИЗ КОСМОСА
НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

1–3 октября 2013

Подмосковный оздоровительный комплекс «Ватутинки»

До 10 сентября
принимаются тезисы
15 сентября — окончание
регистрации участников

Принять участие в конференции
может каждый желающий!

Информационные партнеры

