

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОРТОСНИМКОВ RAPIDEYE, ALOS И ALOS + RAPIDEYE

И.В. Оньков («Тримм», Пермь)

В 1970 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в Степногорском управлении строительства, с 1974 г. — в Пермском политехническом институте, с 1989 г. — в Горном институте УрО АН (Пермь), с 1993 г. — в Частном предприятии по созданию цифровых карт, с 1995 г. — в филиале «Госземкадастръемка» — ВИСХАГИ (Пермь), с 2000 г. — в Пермском филиале ООО «Недра» (Челябинск), с 2002 г. — в ООО «ПермНИПИнефть». С 2006 г. по настоящее время — научный консультант ООО «Тримм». Кандидат технических наук.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемые с группировки из пяти космических аппаратов (КА) RapidEye, стали доступны пользователям в конце 2008 г. Эти космические снимки предназначены для решения широкого круга задач в таких отраслях, как сельское и лесное хозяйство, нефтегазовый комплекс, энергетика, телекоммуникации, экология, охрана окружающей среды, управление чрезвычайными ситуациями. Возможность ежедневной съемки одной и той же территории делают использование данных, полученных со спутников RapidEye, особенно перспективными для задач мониторинга [1]. Кроме того, входящие в комплект поставки снимков начального уровня обработки (1B) коэффициенты рациональных полиномов (RPC), позволяют самостоятельно ортотрансформировать снимки RapidEye и решать на их основе задачи как по топографическо-

му и тематическому картографированию местности, так и различного рода картометрические задачи (определение координат точек, площадей, длин линий и пр.).

Космические снимки, получаемые картографической стереокамерой PRISM с КА ALOS японского аэрокосмического агентства JAXA, доступны пользователям с 2006 г. Панхроматические снимки имеют разрешение до 2,5 м, что дает возможность использовать их для создания и обновления топографических и специальных карт мелких масштабов, включая масштаб 1:25 000. Снимки ALOS/PRISM начального уровня обработки 1B1 поставляются с данными RPC, что также позволяет самостоятельно выполнять их ортотрансформирование, имея соответствующую по точности цифровую модель рельефа местности и наземные опорные точки [2, 3].

В данной статье приведены результаты исследований гео-

метрической точности ортотрансформированных снимков RapidEye, ALOS, ALOS + RapidEye, созданных на основе материалов космической съемки г. Перми и прилегающих территорий, предоставленных компанией «Совзонд» (табл. 1).

▼ Создание ортоснимков RapidEye, ALOS и ALOS + RapidEye

Ортотрансформирование снимков выполнялось в программном комплексе (ПК) ENVI 4.6 с использованием коэффициентов рациональных полиномов RPC в проекции Гаусса-Крюгера (система геодезических координат СК-42, 10 зона). Размер пикселя ортоизображения на местности для снимков RapidEye задавался равным 6,5 м, для снимка ALOS/PRISM — 2,5 м. Высота геоида над эллипсоидом принималась равной нулю. Единая ЦМР на территорию, покрываемую снимками, была создана из одноградусных блоков гло-

Основные характеристики исходных космических снимков и условий съемки

Таблица 1

Номер снимка	Номер (имя) КА и камеры	Уровень обработки	Дата и время съемки	Отклонение от надира, ^o	Высота Солнца, ^o
ID1331830	RE4 (Choros)	1B	13.07.09, 08:20	6,5	54,0
ID1331952	RE5 (Trochia)	1B	14.07.09, 08:21	3,0	53,7
ALPSMN089162425	ALOS/PRISM	1B1	27.09.07, 07:37	1,4	30,2
ALPSMN118482420*	ALOS/PRISM	1B1	15.04.08, 07:37	1,4	41,1

* Снимок использовался только для оценки точности по разностям двойных измерений.

бальной цифровой модели рельефа Земли SRTM, используя процедуру Mosaicking ПК ENVI. Ортотрансформирование снимков RapidEye выполнялось отдельно для каждого канала без использования опорных точек с целью обеспечения точного совпадения растров при создании композитных RGB-изображений. На рис. 1 показана мозаика из цветных 8-битных RGB-изображений ортоснимков RapidEye.

Для создания синтезированных цветных ортоснимков



Рис. 1
Ортомозаика из космических снимков RapidEye



Рис. 2
Синтезированный цветной ортоснимок ALOS + RapidEye

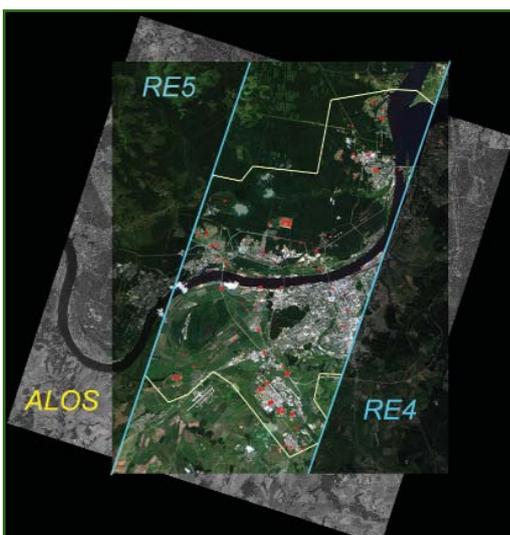


Рис. 3
Расположение опорных точек (показаны красным цветом) в полосе взаимного перекрытия ортоснимков

ALOS + RapidEye использовалась процедура Pansharpening ПК ENVI. На рис. 2 приведена мозаика, составленная из двух синтезированных ортоснимков ALOS + RE4 и ALOS + RE5.

▼ Оценка точности ортоснимков

Оценка геометрической точности ортоснимков RapidEye (RE4, RE5), ALOS и синтезированных цветных ортоснимков ALOS + RapidEye (ALOS + RE4, ALOS + RE5) выполнялась по измерениям координат 154 опорных точек, расположенных в полосе взаимного перекрытия трех снимков (рис. 3) и границ ортофотоплана (линия желтого цвета).

В качестве опорных точек принимались, в основном, пересечения осевых линий дорог, геометрические центры резервуаров и фундаменты опор линий уличного электроосвещения, хорошо опознаваемых на ортоснимках (рис. 4а, 4б, 4в).

Измерения на снимках выполнялись строго по одним и тем же опорным точкам. Геодезические координаты опорных точек измерялись по цифровому ортофотоплану г. Перми, созданному по материалам съемки с КА IKONOS в 2008 г. с размером пикселя 1 м (рис. 4г), и принимались за истинные (безошибочные), так как результаты ранее выполненных исследований показали, что средняя квадрати-

ческая ошибка определения координат четких контуров по ортофотоплану города составляет в среднем 0,6–0,8 м, т. е. в 2–3 раза меньше, чем предполагаемые ошибки оцениваемых ортоснимков.

Оценка точности выполнялась, основываясь на предположении, что разности между значениями геодезических координат опорных точек на плане и на ортоснимках содержат систематические и случайные составляющие. Для математического описания систематической составляющей используется наиболее простая модель преобразования подобия (2D-преобразование Гельмерта), включающая два параметра сдвига, угол разворота осей и масштабный коэффициент, а для случайной составляющей — модель двумерного нормального закона распределения ошибок.

Систематическая составляющая складывается в основном из методических погрешностей, обусловленных применением коэффициентов RPC, погрешностей параметров преобразования координат из системы WGS-84 в СК-42, систематических ошибок цифровой модели рельефа, ошибки в принятой при ортотрансформировании высоте геоида. В свою очередь, случайная составляющая образуется, главным образом, вследствие ошибок измерения коор-

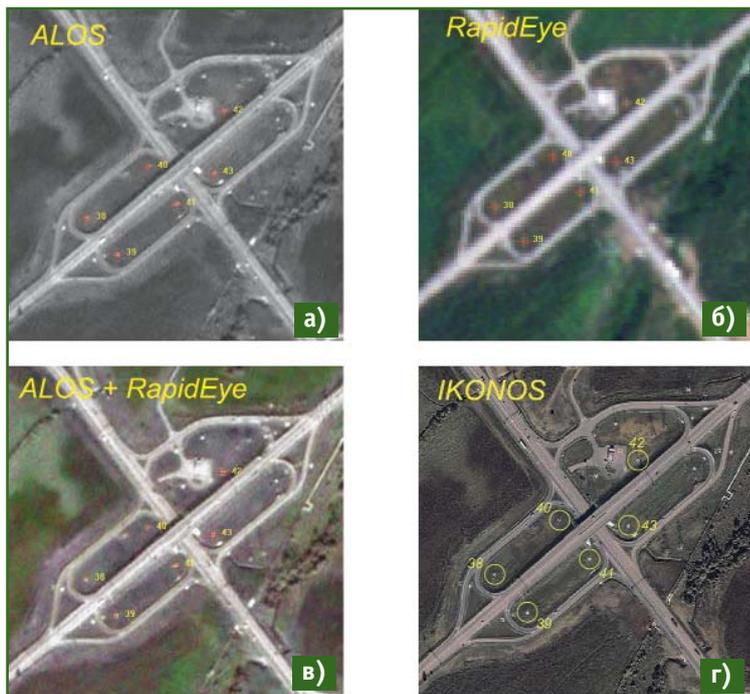


Рис. 4

Пример выбора в качестве опорных точек фундаментов опор уличного освещения

динат точек на растре, т. е. ошибок дискретизации растра и опознавания опорных точек, а также остаточных ошибок коэффициентов RPC и цифровой модели рельефа, которые условно можно рассматривать как случайные.

В качестве показателей точности ортоснимков принимались следующие показатели.

Для систематической составляющей:

- оценки сдвига по осям координат ΔX и ΔY ;
- угол разворота ϕ ;
- нормированный (безразмерный) коэффициент масштаба m .

Для случайной составляющей:

- стандартные среднеквадратические ошибки (СКО) σ_x , σ_y , σ ;
- средняя радиальная ошибка **MRE** (Mean Radial Error) и максимальная радиальная ошибка **REmax** (Radial Error maximum), которые традиционно используются в отечественных нормативных документах по геодезии и фотограмметрии.

Для удобства сравнения с зарубежными данными вычислялись также круговые ошибки (Circular Error) CE90, CE95, принятые в международной практике.

Результаты оценки параметров принятой модели по методу наименьших квадратов представлены в табл. 2.

Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что систематические ошибки ортоснимка ALOS в несколько раз меньше ошибок ортоснимков RapidEye, что свидетельствует об относительно высокой точности коэффициентов RPC, поставляемых со снимками этого спутника. Следует отметить, что эта точность «наследуется» и для синтезированных цветных снимков ALOS +

RapidEye, т. е. операция Pansharpening, выполняемая средствами ПК INFO, не ухудшает точность ортоснимков, несмотря на достаточно большую разницу в датах съемки и условий солнечного освещения (табл. 1).

Случайные ошибки ортоснимков оценивались по остаточным отклонениям координат опорных точек при оценке коэффициентов модели Гельмерта по методу наименьших квадратов (табл. 3).

Результаты, приведенные в табл. 3, получились достаточно неожиданными. Случайные ошибки ортоснимков ALOS и RapidEye оказались практически одинаковыми, несмотря на то, что размер пикселя ортоснимка RapidEye в два с лишним раза больше размера пикселя ортоснимка ALOS.

Для проверки этого факта была выполнена независимая оценка точности по разностям двойных измерений растровых координат идентичных точек в области взаимного перекрытия ортоснимков RapidEye (RE4, RE5) и ALOS (ALPSMN089162425, ALPSMN118482420). Значения средней квадратической разности координат измеряемых точек, выраженные в пикселях и метрах, представлены в табл. 4.

Из данных табл. 4 следует, что случайная ошибка измерения координат точек, выраженная в пикселях на ортоснимках RapidEye, более чем в два раза меньше, чем на ортоснимках ALOS. Но с учетом размера пикселя (2,5 м и 6,5 м) эти ошибки, выраженные в метрах, становятся примерно равными, что сог-

Оценки систематических составляющих ошибок ортоснимков

Таблица 2

Ортоснимок	ΔX , м	ΔY , м	ϕ , рад	m
RE4	-30,57	18,04	0,000062	-0,000113
RE5	-27,04	13,81	0,000058	-0,000029
ALOS	4,12	-4,46	0,000009	-0,000036
ALOS + RE4	3,93	-4,38	0,000017	-0,000016
ALOS + RE5	4,17	-4,71	0,000012	-0,000020

Оценки случайных ошибок ортоснимков

Таблица 3

Ортоснимок	СКО, м			MRE, м	REmax, м	CE90, м	CE95, м
	σ_x	σ_y	σ				
RE4	1,81	1,66	1,74	2,21	5,12	3,73	4,26
RE5	1,89	1,69	1,80	2,23	5,87	3,88	4,43
ALOS	1,76	1,75	1,76	2,13	5,48	3,78	4,31
ALOS + RE4	1,72	1,85	1,79	2,22	5,21	3,84	4,38
ALOS + RE5	1,78	1,73	1,76	2,16	5,19	3,79	4,32

Оценка точности ортоснимков по разностям двойных измерений

Таблица 4

КА	Наименование ортоснимка	Число разностей	Средняя квадратическая разность	
			пиксель	м
RapidEye	RE4, RE5	154	0,25	1,64
ALOS	ALPSMN089162425, ALPSMN118482420	120	0,65	1,62

ласуется с данными, приведенными в табл. 3.

Таким образом, понижая уровень систематических ошибок ортоснимков RapidEye путем коррекции по наземным опорным точкам, можно существенно повысить их точность. Для подтверждения этого вывода были выполнены экспериментальные исследования зависимости точности ортоснимков RapidEye и ALOS от числа опорных точек, используемых при ортотрансформировании.

Исследование зависимости точности ортоснимков от числа опорных точек

Следуя принятому на практике подходу, все измеренные на снимке точки делились на две

непересекающиеся группы: опорные и контрольные. Из общего числа 154 измеренных на каждом снимке точек 48 рассматривались как опорные, а оставшиеся 106 — как контрольные.

Для повышения надежности статистических выводов для каждого варианта расчета выполнялось несколько серий обработки с различными наборами неповторяющихся опорных точек. При $n = 1$ оценивались только сдвиги по осям координат, при $n \geq 2$ оценивались четыре параметра преобразования Гельмерта. Радиальная ошибка рассчитывалась по расхождениям скорректированных координат контрольных точек с их геодезическими координатами. На рис. 5 показаны зависимости средней радиальной ошибки контрольных точек (усредненной по сериям и снимкам) от числа опорных точек.

Из приведенных на рис. 5 графиков следует, что при числе опорных точек более 4–8 точность ортоснимков RapidEye практически эквивалентна точности ортоснимков ALOS, и дальнейшее увеличение числа опорных точек при ортотрансформировании не приводит к существенному различию в их точности.

Результаты выполненных исследований точности ортотрансформированных по небольшому числу опорных точек космических снимков RapidEye, ALOS/PRISM и синтезированных цветных ортоснимков ALOS + RapidEye подтверждают возможность их использования для создания и обновления топографических и тематических карт мелких масштабов, включая масштаб 1:25 000, и, несомненно, должны заинтересовать пользователей, применяющих в своей практической деятельности ортомозаики ОРТОРЕГИОН и ОРТОРЕГИОН + МОНИТОРИНГ [3].

Список литературы

1. Дворкин Б.А. Новая перспективная группировка спутников ДЗЗ RapidEye // Геопрофи. — 2009. — № 3. — С. 14–18.
2. Беленов А.В., Болсуновский М.А. Возможности картографической стереокамеры PRISM спутника ДЗЗ ALOS // Геопрофи. — 2006. — № 6. — С. 28–30.
3. Абросимов А.В., Беленов А.В., Дворкин Б.А. ОРТОРЕГИОН и ОРТОРЕГИОН + МОНИТОРИНГ — продукция для картографирования и мониторинга земной поверхности // Геопрофи. — 2009. — № 4. — С. 9–15.

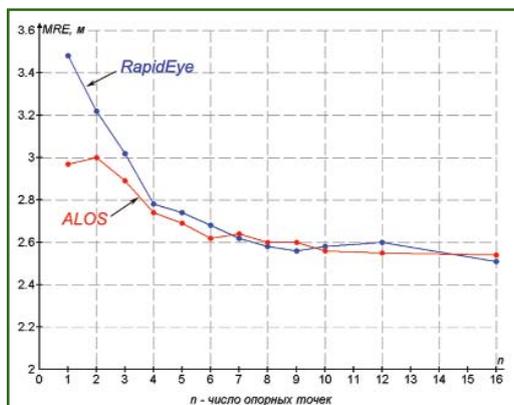


Рис. 5
Зависимость точности ортоснимков от числа опорных точек

RESUME

The studies fulfilled have shown that an approach of using a small number of the reference points for the geometric correction of orthoimages based on the Helmert transformation significantly improves their accuracy. A conclusion is made on the capabilities of using the orthoimages considered for the creation (update) of topographic and thematic maps on small scales including that of 1:25 000.