

И.В. Оньков (ООО «Тримм», Пермь)

В 1970 г. окончил МИИГАиК по специальности «астроном-геодезист». В настоящее время — научный консультант ООО «Тримм». Кандидат технических наук.

Исследование точности измерения координат точек на ортоснимках RapidEye в зависимости от их геометрического типа

ВВЕДЕНИЕ

При решении задач картографирования по материалам космической съемки определяющим фактором является геометрическая точность ортоснимков. Некоторые результаты экспериментальных исследований геометрической точности ортоснимков космического аппарата (КА) RapidEye, выполненных в ООО «Тримм» и предприятии «Уралгеоинформ», отражены в работах [1-3].

Основной задачей данных исследований является оценка точности измерений координат точек на ортоснимках и ортомозаике RapidEye в зависимости от их геометрического типа.

Решение этой задачи необходимо для обоснованного выбора типа опорных точек при ортотрансформировании и геометрической коррекции снимков RapidEye, а также при оценке реальной точности оцифровки точечных, линейных и площадных объектов местности при создании (обновлении) топографических и специальных карт и планов.

СОЗДАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЯ ОРТОСНИМКОВ

Для выполнения исследований были использованы два мультиспектральных снимка RapidEye на территорию г. Перми и прилегающих районов, предоставленные компанией «Совзонд» для выполнения тестовых исследований (табл. 1).

Ортотрансформирование исходных снимков было выполнено в программе ENVI 4.6 с использованием коэффициентов рациональных полиномов RPC, включенных в файлы снимков формата NITF, и цифровой модели рельефа Земли SRTM. Выходная проекция ортоснимков — Гаусса-Крюгера, система координат — СК-42. Средняя высота геоида над эллипсоидом принималась равной нулю, размер пикселя выходного ортоизображения — 6,5 м. Наземные опорные точки при ортотрансформировании не использовались. Ортомозаика была создана в графическом редакторе по координатам угловых точек растра, полученных в результате ортотрансформирования снимков RE4 и RE5.

Таблица 1

Основные характеристики снимков и условий съемки

Номер продукта	Номер (имя) спутника	Уровень обработки	Дата съемки	Надирный угол (град.)	Высота Солнца (град.)
ID1331830	RE4 (Choros)	1B	13.07.09	6,5	54,0
ID1331952	RE5 (Trochia)	1B	14.07.09	3,0	53,7



Рис. 1.
Определение геодезических координат измеряемых точек на ортоснимке RapidEye по ортофотоплану IKONOS

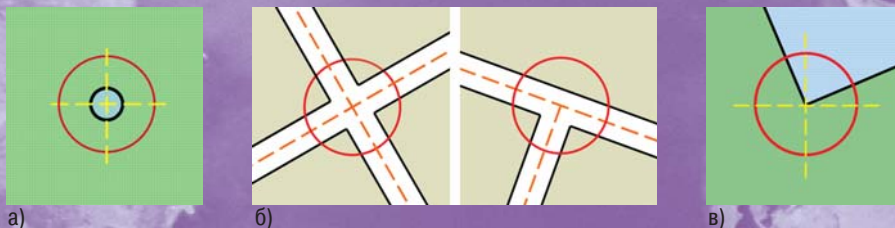


Рис. 2.
Геометрические типы измеряемых точек

Выбор измеряемых точек был ограничен территорией г. Перми в его административных границах, на которую были созданы в ООО «Тримм» ортофотопланы города по снимкам КА IKONOS с разрешением 1 м в рамках муниципальной программы по мониторингу городской территории.

Измерения координат опорных и контрольных точек на ортоснимках выполнялись в растровом редакторе с дискретностью 0,2 пикселя (1,3 м на местности). Геодезические координаты этих же точек измерялись на ортофотопланах города с ошибкой не более 2 м (средняя радиальная ошибка измерения координат составила 0,8–1,0 м). Это позволило рассматривать их как «истинные координаты» и использовать для оценки и анализа точности ортоснимков RapidEye (рис. 1).

В общей сложности на ортоснимках и ортомозаике было измерено и принято в обработку 900 точек. Все измеряемые точки были разделены на три основных геометрических типа:

1. Центры объектов круглой формы (в основном резервуары для хранения нефтепродуктов); далее в таблицах обозначены символом «О» (рис. 2а).
2. Примыкания и пересечения осевых линий линейных объектов (в основном автодороги и улицы в населенных пунктах); далее в таблицах обозначены символом «Т» (рис. 2б).
3. Угловые точки объектов прямоугольной формы (в основном углы зданий и сооружения, площадки); далее в таблицах обозначены символом «Г» (рис. 2в).
Примеры выбора основных типов измеряемых точек на ортоснимках приведены на рис. 3а-е.

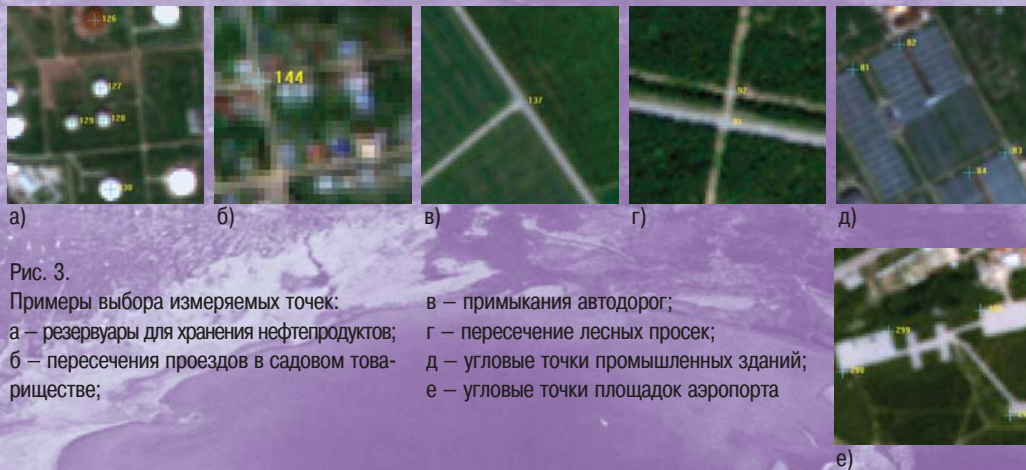


Рис. 3.

Примеры выбора измеряемых точек:

а – резервуары для хранения нефтепродуктов;

б – пересечения проездов в садовом товариществе;

в – примыкания автодорог;

г – пересечение лесных просек;

д – угловые точки промышленных зданий;

е – угловые точки площадок аэропорта

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ОРТОСНИМКОВ

Геометрическая коррекция ортоснимков выполнялась для устранения остаточных систематических ошибок ортоснимков, возникающих в основном вследствие ошибок коэффициентов рациональных полиномов (RPC), ошибок параметров преобразования систем координат (WGS-84 СК-42) и ошибок в высоте геоида над эллипсоидом относимости.

В совокупности эти ошибки (в линейном приближении) приводят к сдвигу, изменению масштаба и развороту осей растровой системы координат ортоснимков относительно геодезической системы координат.

Оценка указанных параметров сдвига, масштаба и разворота выполнялась с использованием конформного преобразования Гельмерта

$$X = a_0 + a_1x - b_1y$$

$$Y = b_0 + b_1x + a_1y,$$

которое в эквивалентной геометрической форме имеет вид

$$X = X_0 + s \cdot (\cos \varphi \cdot x - \sin \varphi \cdot y)$$

$$Y = Y_0 + s \cdot (\sin \varphi \cdot x + \cos \varphi \cdot y),$$

где: X_0, Y_0 – координаты начала системы координат oxy в системе координат OXY ,

s – масштабный коэффициент;

φ – угол поворота системы координат oxy

относительно системы OXY .

Соотношения между двумя системами параметров выражаются формулами

$$a_0 = X_0, b_0 = Y_0; a_1 = s \cdot \cos \varphi,$$

$$b_1 = s \cdot \sin \varphi; \varphi = \arctg \frac{b_1}{a_1},$$

$$s = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}. \quad (1)$$

В табл. 2 приведены значения геометрических параметров преобразования Гельмерта X_0, Y_0, φ, s , вычисленные по МНК-оценкам коэффициентов a_0, a_1, b_0, b_1 с использованием соотношений (1).

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ОРТОСНИМКОВ ПО ОСТАТОЧНЫМ ОТКЛОНЕНИЯМ

Полученные в результате обработки по методу наименьших квадратов (МНК) остаточные отклонения измеренных координат опорных точек от уравненных

Таблица 2

Оценки параметров преобразования Гельмерта

Ортоснимок	Тип объекта	Объем выборки n	X ₀ , м	Y ₀ , м	φ''	s
RE4	О	82	6415192,14	433178,63	7,3	0,999886
	Т	67	6415190,32	433178,51	4,4	0,999947
	Г	112	6415092,89	433174,32	37,5	0,999850
RE5	О	92	6408789,10	428384,47	-1,5	0,999939
	Т	58	6408790,20	428383,46	10,9	0,999960
	Г	127	6408793,28	428381,91	21,1	0,999927
Mosaic	О	128	6417045,56	438437,67	9,8	0,999838
	Т	98	6417045,90	438437,46	22,6	0,999874
	Г	130	6417049,17	438434,70	50,6	0,999810

рассматривались как случайные ошибки, обусловленные в основном ошибками измерений координат точек на растре (опознавания и наведения), ошибками дискретизации растра и методическими ошибками принятой математической модели преобразования.

Оценка точности измерений выполнялась по остаточным отклонениям координат V_x, V_y для каждого типа измеряемых точек и каждого снимка отдельно. Вычислялись следующие основные показатели точности:

- стандартная среднеквадратическая ошибка σ_{xy} ;

$$\sigma_{xy} = \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) / 2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_x^2 + v_y^2) / 2(n - k)}$$

где n – объем выборки (число точек), k – минимально необходимое число точек (k = 2 – для преобразования Гельмерта);

- средняя радиальная ошибка MRE:

$$MRE = \frac{1}{(n - k)} \sum_{i=1}^n \sqrt{v_x^2 + v_y^2};$$

- максимальная радиальная ошибка R_{max} в выборке.

Результаты оценки точности измерения координат точек на ортоснимках и ортомозаике приведены в табл. 3.

На рис. 4 в качестве примера приведен график зависимости стандартной среднеквадратической

Таблица 3

Показатели точности измерения координат точек на ортоснимках

Ортоснимок	Тип объекта	Объем выборки n	σ_{xy} , м	MRE, м	R_{max} , м
RE4	О	82	1,63	2,08	4,84
	Т	67	1,85	2,41	4,71
	Г	112	2,79	3,57	7,93
RE5	О	92	1,53	1,95	4,36
	Т	58	1,70	2,16	4,59
	Г	127	2,59	3,26	7,78
Mosaic	О	128	1,60	2,04	4,22
	Т	98	1,74	2,31	4,44
	Г	130	2,83	3,61	7,81

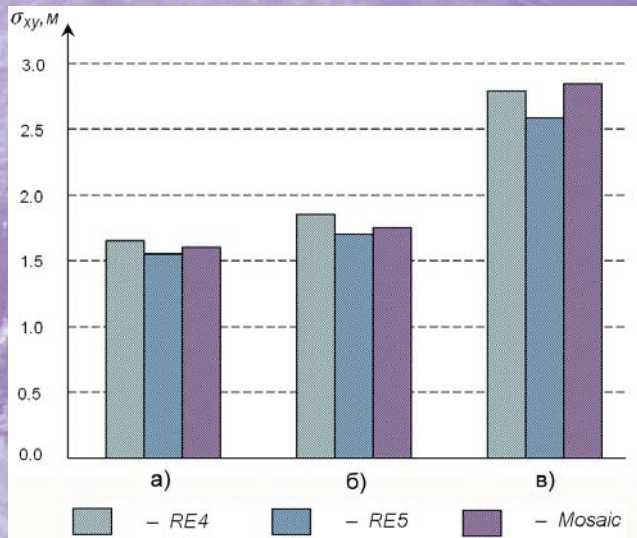


Рис. 4.

Зависимость стандартной среднеквадратической ошибки σ_{xy} от геометрического типа измеряемой точки:

- а – центры объектов круглой формы;
- б – пересечения и примыкания осевых линий линейных объектов;
- в – угловые точки объектов прямоугольной формы.

ошибки σ_{xy} от типа измеряемой точки для ортоснимков RE4, RE5 и ортомозаики по данным табл. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе достаточно большого статистического материала экспериментально выявлена зависимость точности измерения координат точек на ортоснимках RapidEye от их геометрического типа. Показано, что точность измерения координат точек объектов, обладающих определенной геометрической симметрией, в 1,5 – 1,7 раза выше, чем угловых точек прямоугольных объектов.

2. Точность измерения координат точек вне зависимости от их геометрического типа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к точности фотопланов масштаба 1:10 000: средняя радиальная ошибка (MRE) во всех сериях измерений не превосходит 4 м, максимальная ошибка – не более 8 м.

Результаты исследований могут быть использованы при выборе типа опорных точек при геометрической коррекции ортоснимков RapidEye, а также для оценки реальной точности оцифровки точечных, линейных и площадных объектов местности при создании (обновлении) топографических и специальных карт и планов.

Список литературы

1. Оньков И.В. Исследование геометрической точности ортотрансформированных снимков RapidEye // Геоматика. – 2009. – № 4(5). – С.21-27.
2. Оньков И.В. Исследование геометрической точности ортоснимков RapidEye, ALOS и ALOS+RapidEye // Геопроби. – 2009. – № 6. – С.48-51.
3. Кобзева Е.А. Обновление цифровых топографических карт по снимкам RapidEye: результаты исследования // Пространственные данные. – 2009. – №4. – С.47-50.