

И. В. Оньков (ЗАО «Мобиле», Пермь)

В 1970 г. окончил МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». В настоящее время — научный консультант ЗАО «Мобиле» (Пермь). Кандидат технических наук, доцент.

Исследование геометрической точности продукта РПД10

Компания «Совзонд» продолжает выпуск продукта на базе космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения — наборы региональных пространственных данных (РПД), к основным преимуществам которого можно отнести низкую стоимость, отсутствие необходимости дальнейшей фотограмметрической обработки и ограничений на лицензирование использования данных [1].

Предлагаются два вида продукта — РПД10 и РПД25, соответствующие по точности в плане топографическим картам масштаба 1 : 10 000 и 1 : 25 000 соответственно на равнинные территории.

Исходные данные для создания РПД — космические снимки Земли высокого и сверхвысокого разрешения (0,5–5 м), ортотрансформированные с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР) Земли SRTM.

В данной работе выполнено исследование геометрической точности продукта РПД10 на территорию города Перми, созданного на основе космического снимка со спутника WorldView-2. В комплект поставки входят два растровых RGB- и PAN-изображения в формате JPEG2000 с размером пикселя на местности 0,5 м в системе координат WGS-84 и проекции UTM-40 (рис. 1).

Геометрическая точность продукта оценивалась по трем показателям:

- параметры сдвига, разворота и масштаба изображения относительно системы координат WGS-84;
- ошибки координат контрольных точек относительно системы координат WGS-84;
- ошибки взаимного положения ближайших контуров зданий и строений.

В качестве наземных контрольных точек принимались контуры местности, хорошо опознаваемые на изображении, геодезические координаты которых определялись с использованием двухчастотных GPS-приемников с опорой на пункты триангуляции 2–3 классов в системе координат СК42 и Балтийской системе высот.

Преобразование координат контрольных точек из системы СК-42 в WGS-84 выполнялось в соответствии с ГОСТ Р 51794-2008 [2].

Всего для исследования точности было принято 60 контрольных точек, общее пространственное расположение которых показано на рис. 2. Характерные примеры выбора контуров наземных контрольных точек показаны на рис. 3.

Измерение координат контрольных точек на RGB- и PAN-изображениях РПД10 г. Перми проводилось в программном комплексе ENVI 4.8 с дискретностью 0,2 пикселя растра (0,1 м на местности).

Исходными данными для оценки точности продукта служили отклонения измеренных на изображениях координат контрольных

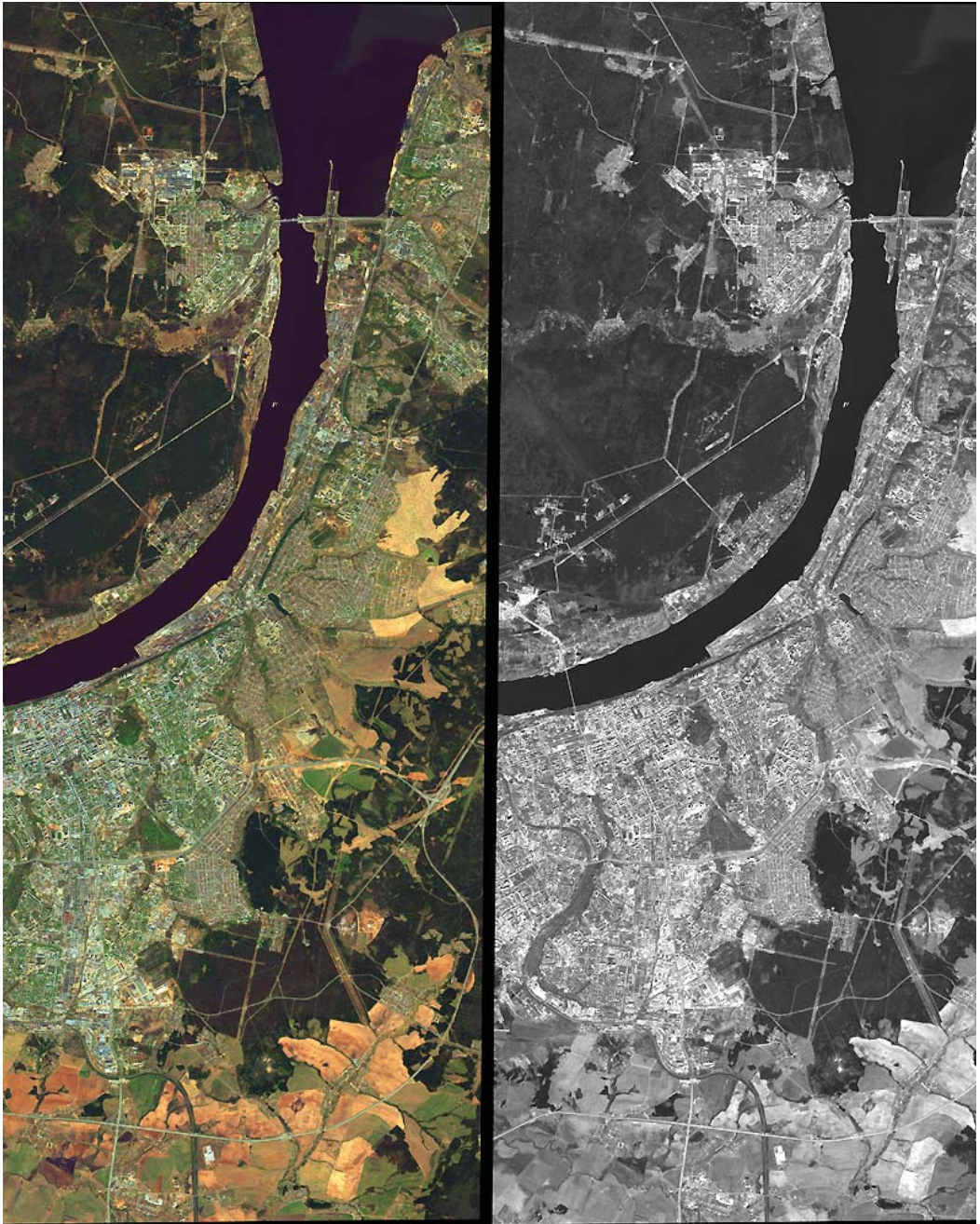


Рис. 1. Растровые RGB- и PAN-изображения продукта РПД10 на г. Пермь

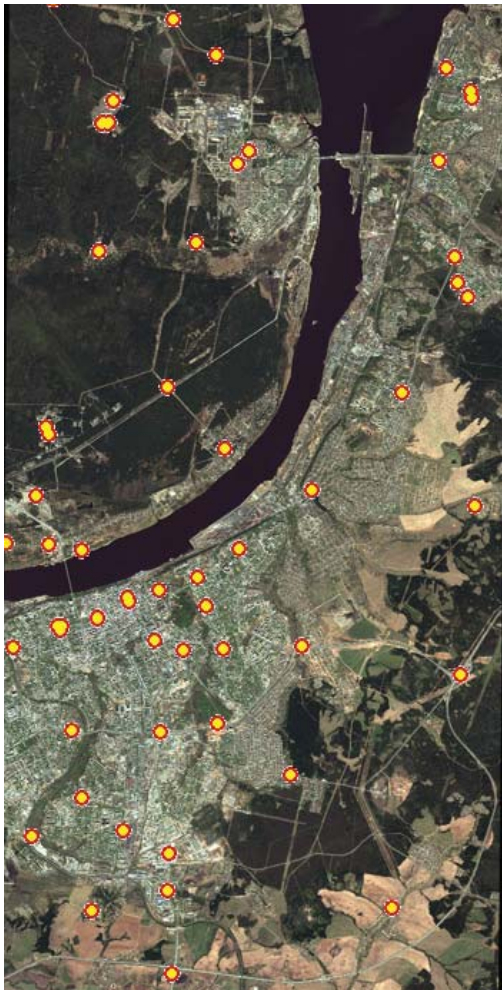


Рис. 2. Схема расположения наземных контрольных точек

точек X_i, Y_i от их значений X_i^0, Y_i^0 , определенных на местности геодезическими методами: $\Delta X_i = X_i - X_i^0, \Delta Y_i = Y_i - Y_i^0$, и модуль отклонения (радиальная ошибка положения):

$$\Delta R_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}$$

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СДВИГА, РАЗВОРОТА И МАСШТАБА ИЗОБРАЖЕНИЯ РПД10 ОТНОСИТЕЛЬНО СИСТЕМЫ КООРДИНАТ WGS-84

Величины четырех параметров преобразования координат растрового изображения РПД10 — сдвига, угла разворота и масштабного коэффициента относительно системы координат WGS-84 — оценивались из преобразования Гельмерта в геометрической форме по координатам контрольных точек.

Полученные значения геометрических параметров преобразования Гельмерта для RGB- и PAN-изображений приведены в табл. 1.

Параметры	Значения параметров	
	RGB	PAN
Сдвиг ΔX , м	2,14	2,29
Сдвиг ΔY , м	-1,72	-1,62
Модуль сдвига, м	2,75	2,81
Угол разворота φ , с. дуги	-1,2	-3,7
Коэффициент масштаба, m	1,000013	1,000013

Табл. 1. Геометрические параметры преобразования Гельмерта



Рис. 3. Примеры выбора контуров наземных контрольных точек

Оценки параметров преобразования выполнялись по методу наименьших квадратов. Остаточные средние квадратические ошибки по результатам обработки составили 0,53 м и 0,55 м для RGB- и PAN-изображений соответственно.

Отклонения полученных значений параметров разворота и масштаба от их номинальных значений ($\varphi = 0$; $m = 1,0$) находятся на уровне ошибок измерения снимка и свидетельствуют об очень высокой точности ориентирования и масштабирования продукта РПД10 относительно системы координат WGS-84 в проекции UTM-40.

ОЦЕНКА ОШИБОК КООРДИНАТ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК ОТНОСИТЕЛЬНО СИСТЕМЫ КООРДИНАТ WGS-84

Основными показателями точности служили следующие статистические характеристики:

- средние квадратические ошибки $RMSE$ (Root Mean Square Error) по осям координат $RMSE_X$, $RMSE_Y$ и в плане $RMSE_{XY}$:

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i^2}; \quad RMSE_Y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta Y_i^2};$$

$$RMSE_{XY} = \sqrt{RMSE_X^2 + RMSE_Y^2};$$

- средняя радиальная ошибка (Mean Radial Error):

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta R_i;$$

- максимальная радиальная ошибка ΔR_{max} ;
- круговая вероятная ошибка $CE90$ (Circular Error).

Полученные значения ошибок РПД10 относительно системы координат WGS-84, проекции UTM-40 приведены в табл. 2.

Ошибки	Значения ошибок	
	RGB	PAN
Средние квадратические:		
$RMSE_X, м$	2,22	2,36
$RMSE_Y, м$	1,76	1,71
$RMSE_r, м$	2,83	2,92
Средняя радиальная MRE, м	2,80	2,89
Круговая CE90, м	3,49	3,60
Максимальная радиальная $\Delta R_{max}, м$	4,10	4,51

Табл. 2. Показатели геометрической точности

На рис. 4 приведена геометрическая интерпретация ошибок контрольных точек для RGB (красный цвет) и PAN (черный цвет) и соответствующие им окружности радиусом $CE90$.

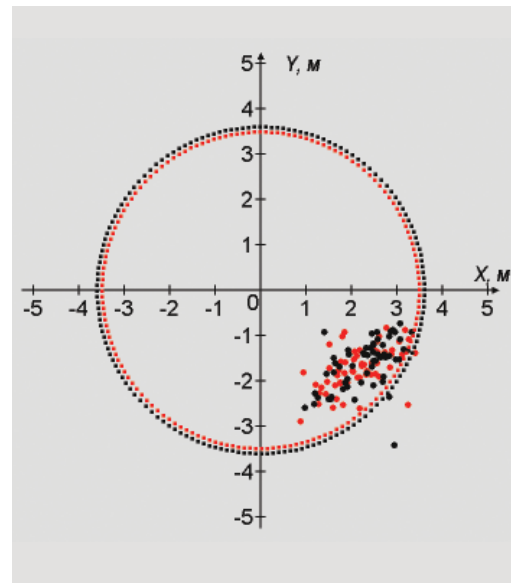


Рис. 4. Геометрическая интерпретация ошибок контрольных точек

В соответствии с инструкцией по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов средние величины погрешностей в плановом положении

контрольных точек не должны превышать в масштабе создаваемого фотоплана 0,5 мм в равнинных и всхолмленных районах [3].

Полученные по результатам выполненного исследования значения средней радиальной ошибки для RGB-изображения 2,8 м и PAN-изображения 2,89 м не превышают допустимого значения 5 м для масштаба 1:10 000, причем 90% радиальных ошибок контрольных точек не превышают 3,6 м, и по геометрической точности соответствует требованиям, предъявляемым к фотопланам масштаба 1:10 000.

Следует также отметить, что полученные величины круговых ошибок СЕ90 не превышают допустимого значения 6,5 м без коррекции по наземным опорным точкам, заявленного поставщиком снимков WorldView-2 [4].

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВЗАИМНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНТУРОВ

Основным критерием точности топографических планов (фотопланов) крупных масштабов на застроенных территориях является ошибка взаимного положения ближайших контуров с четкими очертаниями [5, 6].

Оценка точности взаимного положения контуров выполнялась по отклонениям измеренных на оцифрованном растре РГД10 $S_{РГД}$ расстояний между ближайшими контурными точками от их значений $S_{МАР}$, снятых с цифрового топографического плана города масштаба 1:1 000:

$$\Delta S = S_{РГД} - S_{МАР}.$$

В качестве контурных точек выбирались углы капитальных зданий и сооружений на участке территории города с многоэтажной застройкой. Примеры выбора контуров при оценке точности взаимных расстояний

на РГД10 и топографическом плане города приведены на рис. 5.

Показателями точности служили следующие ошибки:

- средняя квадратическая $RMSE_s$

$$RMSE_s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta S_i^2};$$

- средняя абсолютная MAE_s

$$MAE_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta S_i|;$$

- линейная LE90;
- максимальная $Max_{\Delta S}$.

Всего на RGB-изображении РГД10 и цифровом топоплане города Перми масштаба 1:1000 было измерено 113 взаимных расстояний между углами ближайших зданий и сооружений в интервале от 10 до 90 м.

Полученные значения ошибок взаимных расстояний приведены в табл. 3.

Ошибки	Значения ошибок, м
Средняя квадратическая $RMSE_s$	0,87
Средняя абсолютная MAE_s	0,71
Линейная LE90	1,53
Максимальная $Max_{\Delta S}$	1,84

Табл. 3. Ошибки взаимных расстояний

Примечание: величина систематической разности расстояний, равная 0,09 м, при подсчете ошибок не исключалась.

В соответствии с основными положениями по созданию топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 на территориях с капитальной и многоэтажной застройкой ошибки во взаимном положении на плане точек близлежащих важных контуров (капитальных сооружений, зданий и т. п.) не должны превышать 0,4 мм [5]. Аналогичные требования к точности взаимного положения



Рис. 5. Примеры выбора контуров при оценке точности взаимных расстояний

ближайших контуров на фотопланах застроенных территорий установлены и в инструкции по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 [6].

Полученное по результатам выполненного исследования значение максимальной по абсолютной величине ошибки 1,84 м не превышает допустимого значения 2 м для масштаба 1:5000, причем 90% ошибок взаимных расстояний не превышают 1,53 м, и по точности взаимного положения контуров соответствует требованиям, предъявляемым к фотопланам масштаба 1:5000.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предоставленный на исследование продукт РПД10-Пермь в виде двух растровых RGB- и PAN-изображений с разрешением 0,5 м в системе координат WGS-84 проекции UTM-40 соответствует по геометрической точности требованиям, предъявляемым к фотопланам масштаба 1:10 000 (по точности взаимного положения контуров — масштаба 1:5000) и может быть использован для составления и обновления контурной части планов и карт, а также

в качестве картографической основы ГИС соответствующего масштаба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С. В. Любимцева. *Наборы региональных пространственных данных – основа для использования в геоинформационной системе // Геоматика. – 2014. – №1. – С. 12–16.*
2. ГОСТ Р. 51794-2008 — *Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек.* – М.: Стандартинформ, 2009. – 19 с.
3. *Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов.* – М.: ЦНИИГАУК, 2002. – 48 с.
4. <http://www.digitalglobe.com>
5. *Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.* ГУГК при Совете министров СССР. – М.: Недра, 1979. – 21 с.
6. *Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.* ГУГК при Совете министров СССР. – М.: Недра, 1985. – 152 с.