

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОРТОСНИМКОВ WORLDVIEW-2

И.В. Оньков («Мобиле», 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 «ПериНИПинефть», с 2006 г. — в ООО «Тримм». С 2011 г. работает в ЗАО «Мобиле», в настоящее время — научный консультант. Кандидат технических наук.

▼ Общие положения

Геометрическая точность ортофотопланов, созданных по космическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения, является определяющим фактором при оценке возможности их применения при решении задач крупномасштабного картографирования, создания и обновления топографических и кадастровых планов. К наиболее распространенным данным дистанционного зондирования Земли, используемым в настоящее время, можно отнести снимки со спутников WorldView-2 с разрешением 0,5 м, подходящие для целей картографирования в масштабах 1:5000–1:2000. Снимки с этих космических аппаратов (КА) стандартного уровня обработки (Ortho Ready Standard) поставляются с данными RPC-коэффициентов, позволяющими самостоятельно выполнять их ортотрансформирование, имея внешнюю цифровую модель рельефа (ЦМР) и наземные опорные точки.

Наиболее распространенным исходным материалом для создания ЦМР в нашей стране служат топографические карты масштаба 1:25 000 с высотой сечения рельефа 5,0 м, которые

в большинстве случаев обеспечивают необходимую точность вычисления поправок за рельеф при ортотрансформировании снимков. Ошибки матрицы высот ЦМР, созданной по таким картам (Торо25), составляют, в зависимости от характера рельефа, примерно 1,5–2,0 м (одна треть высоты сечения рельефа).

Аналогичную точность высот для открытой равнинной и слабобересеченной местности с редкой растительностью и малоэтажной застройкой, как показали исследования [1], имеет и общедоступная модель рельефа Земли SRTM, свободно распространяемая в Интернет. В связи с этим возможность использования SRTM для целей ортотрансформирования космических снимков высокого разрешения весьма привлекательна, так как полностью исключает трудозатраты на создание внешней ЦМР по картографическим материалам.

Цель данной работы — выполнить сравнительную оценку геометрической точности ортоснимков WorldView-2, ортотрансформированных с использованием матрицы высот SRTM и матрицы высот Торо25, на примере территории г. Перми и пригородной зоны.

ЦМР Торо25 была создана путем оцифровки элементов рельефа топографической карты масштаба 1:25 000 с высотой сечения рельефа 5 м и представляет собой регулярную матрицу высот с шагом сетки узлов 20 м в проекции UTM.

Модель рельефа SRTM с шагом сетки 3'x3' на эллипсоиде WGS-84 загружена с сайта <http://dds.cr.usgs.gov/srtm> в виде 16-битных растровых файлов. В системе прямоугольных координат проекции UTM размер сетки SRTM на широте г. Перми равен примерно 90x50 м.

Два снимка с КА WorldView-2 стандартного уровня обработки на данную территорию предоставлены компанией «Совзонд» для выполнения работ исследовательского характера. Основные характеристики снимков и условия съемки приведены в табл. 1.

В программу работ входило определение координат и высот наземных опорных точек с помощью GPS-измерений, ортотрансформирование снимков (без опорных точек), геометрическая коррекция и оценка точности ортоснимков по опорным и контрольным точкам.

Ортотрансформирование снимков (PAN-канал) выполня-

лось в программном комплексе ENVI 4.8 дважды: с использованием ЦМР Торо25 и SRTM. При ортотрансформировании были приняты следующие параметры: эллипсоид — WGS-84, проекция — UTM, геоид — EGM96, метод интерполирования ЦМР — бикубическая интерполяция (cubic convolution).

Координаты наземных опорных точек (опознаков) определялись с помощью двухчастотных приемников GPS с опорой на шесть пунктов триангуляции городской геодезической сети. В качестве опознаков использовались хорошо отображавшиеся на снимках четкие контуры местности, погрешность опознавания которых не превышала 1–2 пикселя раstra (рис. 1).

Средние квадратические погрешности плановых координат опознаков по результатам уравнивания GPS сети не превысили 0,05 м, погрешности высот — 0,1 м. Всего было определено 122 опознака, общая схема расположения которых показана на рис. 2.

Преобразование значений измеренных координат наземных опорных точек из СК-42 в систему прямоугольных коор-

Основные характеристики снимков и условия съемки		Таблица 1
Параметр	Значение параметра	
Условный номер снимка	1	2
Дата/время съемки	22.07.2010/07:42	17.05.2011/08:02
Азимут Солнца, °	165,0	176,7
Высота Солнца над горизонтом, °	51,8	51,4
Азимут направления на спутник, °	57,8	231,8
Средний угол возвышения спутника, °	77,7	77,5
Облачность, %	0,5	0,0
Размер PAN-изображения, пиксель	58 496x34 543	64 772x34 564

динат проекции UTM на эллипсоиде WGS-84 выполнялось по общим формулам проекции Гаусса-Крюгера с коэффициентом масштаба на осевом меридиане 0,9996 и формул преобразования геодезических координат с эллипсоида Красовского на эллипсоид WGS-84, приведенных в ГОСТ Р 51794-2008 [2].

▼ **Оценка геометрической точности ортоснимков по опорным точкам**

Исходными данными для оценки геометрической точности ортоснимков служили координаты опорных точек, определенные на ортоснимках, и координаты этих точек, полученные по наземным GPS-измерениям.



Рис. 1
Пример выбора опознака на снимке — разметка теннисного корта

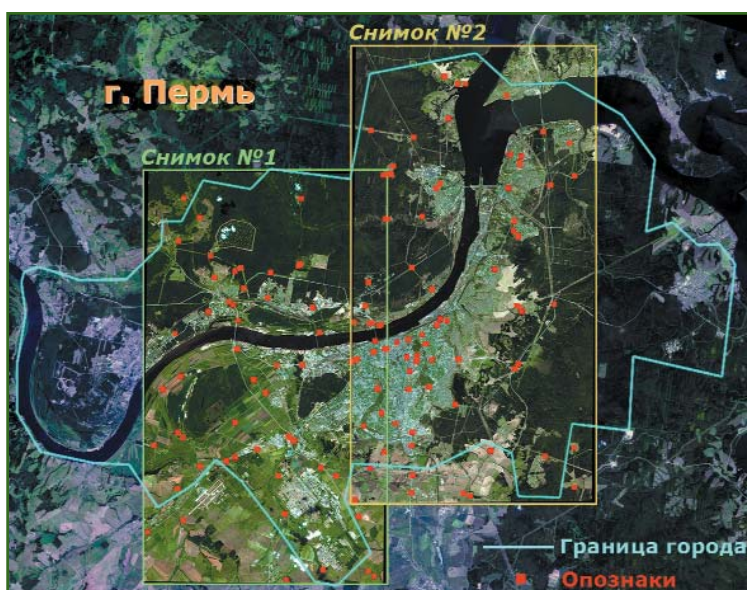


Рис. 2
Общая схема покрытия снимками WorldView-2 территории г. Перми и расположения опознаков

Разности этих координат рассматривались в виде суммы систематических ошибок геометрического характера и случайных ошибок, возникающих из-за погрешностей измерения координат опорных точек на снимке, погрешностей матрицы высот ЦМР, ошибок RPC-коэффициентов и т. д.

Для оценки и коррекции систематических ошибок геометрического характера использовалась линейная модель аффинного преобразования плоскости вида:

$$\begin{aligned} X &= a_{1x} + a_{2y} + a_3 \\ Y &= a_{4x} + a_{5y} + a_6, \end{aligned} \quad (1)$$

Значения шести коэффициентов (a_1 – a_6) определялись по координатам опорных точек методом наименьших квадратов (МНК).

Геометрическая точность ортоснимков оценивалась по остаточным отклонениям измеренных на ортоснимках координат опорных точек от их уравненных значений при оценке коэффициентов (a_i) по МНК.

В качестве показателей точности были приняты наиболее часто употребляемые в практике выборочные оценки:

— средняя квадратическая погрешность MRSE;

— средняя радиальная погрешность MRE;

— круговая вероятная погрешность CE90;

— максимальная радиальная погрешность Rmax.

Для наглядной геометрической интерпретации и анализа пространственного распределения погрешностей вычислялись параметры эллипса ошибок 90% доверительной вероятности: большая (a) и малая (b) полуоси, их отношение (a/b) и направление большой полуоси (θ).

В табл. 2 приведены значения оценок, полученные по остаточным отклонениям координат

на опорных точках. Соответствующие им диаграммы рассеяния остаточных отклонений, эллипсы ошибок, окружности радиуса CE90 (пунктирные линии) и направления на КА показаны на рис. 3.

Анализируя полученные результаты, следует отметить два основных момента.

1. Во всех четырех сериях расчетов пространственное распределение остаточных погрешностей достаточно сильно отличается от кругового распределения, и направления больших полуосей эллипсов ошибок близки к направлениям на КА. Это свидетельствует о преобладающем влиянии погрешностей высот ЦМР над остальными источниками погрешностей измерения координат точек на ортоснимках.

2. Показатели точности каждого из двух ортоснимков практически не зависят от выбора моделей рельефа (Торо25 или SRTM), используемых для орто-трансформирования. Принимая во внимание отмеченное выше преобладающее влияние погрешностей высот ЦМР на точность ортоснимков, можно сделать вывод, что высоты ЦМР Торо25 и SRTM на данном участке территории имеют примерно одинаковый порядок точности.

▼ Оценка геометрической точности ортоснимков по контрольным точкам

Оценка точности выполнялась по разностям измеренных на ортоснимках координат контрольных точек, скорректированных в соответствии с принятой линейной моделью аффинного преобразования, и координат (1), полученных из GPS-измерений.

В работе [3] показано, что для надежной геометрической коррекции ортоснимков с КА WorldView-2 достаточно 4–6 опознаков. В соответствии с этими рекомендациями, на каж-

Показатели точности ортоснимков по остаточным отклонениям координат на опорных точках

Таблица 2

Параметр выборки	Значение параметра			
Условный номер ортоснимка	1	2		
Число опорных точек	71	78		
Тип модели ЦМР	Торо25	SRTM	Торо25	SRTM
MRSE, м	0,62	0,65	0,69	0,72
MRE, м	0,54	0,57	0,61	0,64
CE90, м	0,93	0,99	1,05	1,09
Rmax, м	1,50	1,47	1,89	1,50
a, м	1,18	1,19	1,32	1,33
b, м	0,59	0,74	0,69	0,76
a/b	1,99	1,62	1,91	1,75
θ , °	72,9	59,6	53,3	53,5

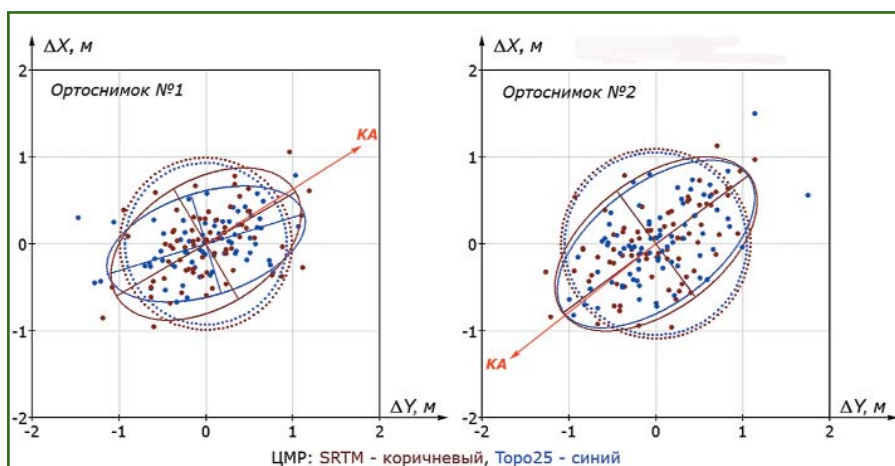


Рис. 3

Графическая интерпретация оценки точности ортоснимков по остаточным ошибкам координат на опорных точках

дом снимке было выбрано 6 опорных точек, по которым оценивались коэффициенты соотношения (1), а остальные опознаки использовались в качестве контрольных точек.

В табл. 3 приведены значения оценок, вычисленные по расхождениям значений координат на контрольных точках, а на рис. 4 — соответствующие им диаграммы рассеяния и эллипсы ошибок. Дополнительно к показателям точности, рассмотренным выше, введен модуль систематического сдвига d .

Результаты оценки точности ортоснимков по контрольным точкам достаточно хорошо согласуются с данными, полученными выше по остаточным отклонениям координат на всех опорных точках, и, в основном, подтверждают сделанные выводы.

Следует также отметить, что значение средней радиальной погрешности MRE, оцениваемое по контрольным точкам, не превышает предельно допустимой величины 1,0 м, установленной инструкцией [4] для фотопланов масштаба 1:2000, и не зависит от выбора ЦМР для ортотрансформирования снимков.

Таким образом, результаты выполненных экспериментальных исследований геометрической точности двух ортоснимков с КА WorldView-2 территории г. Перми, показывают возможность использования общедоступной цифровой модели рельефа SRTM для ортотрансформирования одиночных космических снимков высокого разрешения с небольшими углами отклонения от надира с целью создания ортофотопланов крупных масштабов (вплоть до масштаба 1:2000). Очевидно, что это позволит полностью исключить затраты на построение ЦМР по топографическим картам и, тем самым, существенно сократить время и стоимость создания ортофотопланов.

Показатели точности ортоснимков по расхождениям координат на контрольных точках

Таблица 3

Параметр выборки	Значение параметра			
Условный номер ортоснимка	1	2		
Число контрольных точек	65	72		
Тип модели ЦМР	Топо25	SRTM	Топо25	SRTM
Систематический сдвиг d , м	0,14	0,09	0,31	0,20
MRSE, м	0,67	0,71	0,83	0,75
MRE, м	0,58	0,61	0,71	0,67
CE90, м	0,98	1,08	1,27	1,16
Rmax, м	1,60	1,55	1,88	1,73
a, м	1,27	1,24	1,50	1,33
b, м	0,61	0,87	0,74	0,83
a/b	2,10	1,43	2,02	1,59
θ , °	75,1	65,2	60,9	55,0

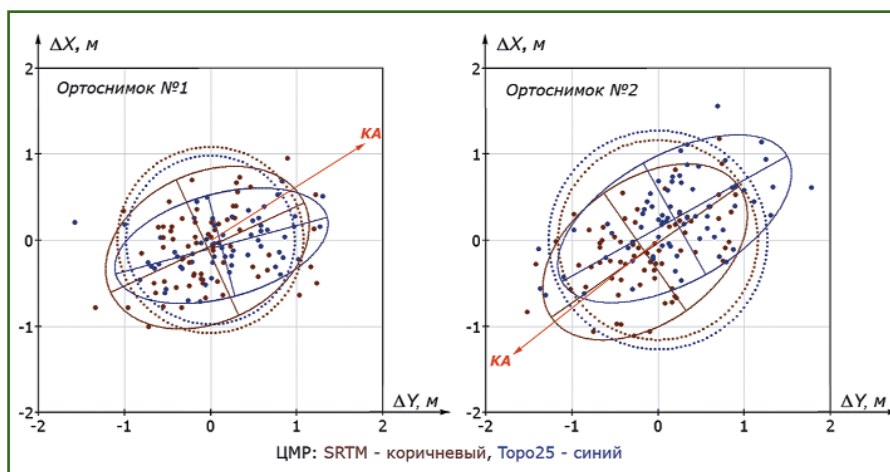


Рис. 4

Графическая интерпретация оценки точности ортоснимков по ошибкам координат на контрольных точках

▼ Список литературы

1. Оньков И.В. Оценка точности высот SRTM для целей ортотрансформирования космических снимков высокого разрешения // Геоматика. — 2011. — № 3. — С. 40–46.
2. ГОСТ Р 51794–2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. — М.: Стандартинформ, 2009. — 19 с.
3. Оньков И.В. Исследование геометрической точности ортоснимков WorldView-2, созданных с использованием цифровой модели рельефа SRTM // Геоматика. — 2011. — № 4. — С. 48–55.
4. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании циф-

ровых топографических карт и планов. — М.: ЦНИИГАиК, 2002. — 48 с.

RESUME

A comparison is fulfilled for the accuracy of the two images of the Perm city territory obtained from the WorldView-2 spacecraft and orthorectified using the two digital elevation models — Topo25 and SRTM. It is shown that the orthophotos' accuracy is almost independent on the choice of DEM. A conclusion is done on the both possibility and economic efficacy of using the SRTM DEM for processing the WorldView-2 images with the small off-nadir angles for creating large scale orthophotoplans.