

УДК 528.7

ВЫБОР СКАНЕРНЫХ СНИМКОВ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ И ПЛАНОВ РАЗНЫХ МАСШТАБОВ

канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА
(Полоцкий государственный университет)

В последнее время для обновления топографических карт и планов широко используют материалы цифрового спутникового сканирования. Сканированные снимки имеют различное пространственное разрешение и важно выбрать такую величину разрешения, чтобы обеспечить точность обновляемой карты. В разных литературных источниках встречаются противоречивые сведения о самом крупном масштабе, который можно обновить по сканерным снимкам. Большинство сканерных систем имеют не только малый размер разрешения на местности, но и малый охват снимаемой территории. Для обновления мелкомасштабных карт целесообразно выбирать сканерные системы, имеющие больший размер разрешения. Такими сканерами будет снята большая часть территории при меньших затратах. В данной работе предложена методика выбора разрешения сканерных снимков, которая позволит обеспечить точность обновления топографических карт и планов разных масштабов.

В последнее время для обновления топографических карт и планов широко используют материалы цифрового спутникового сканирования. При выборе сканерных снимков большое значение имеет пространственное разрешение. Разрешение снимка l характеризует размер минимального, еще отдельно изображающегося на снимке объекта [1]. Применительно к сканерной съемке l – размер детектора на линейке ПЗС. Реальный объект имеет размер L [1]:

$$L = lm, \quad (1)$$

где m – знаменатель масштаба съемки, вычисляется по формуле [2]:

$$m = \frac{H}{f}. \quad (2)$$

Здесь H – высота съемки; f – фокусное расстояние камеры.

С учетом формулы (2) формула (1) имеет вид:

$$L = \frac{lH}{f}. \quad (3)$$

Возможно, величину L также назвали пространственным разрешением, потому что размер детектора на линейке ПЗС для многих сканерных систем является коммерческой тайной.

Для обновления топографических карт и планов в работе [3] предлагают использовать изображения очень высокого и сверхвысокого разрешения. К снимкам высокого разрешения относят изображения с разрешением 10...30 м, очень высокого $L = 1...10$ м и сверхвысокого $L < 1$ м [2; 3]. В работе [3] рекомендовано изображения относительно высокого разрешения ($L = 30...100$ м) и высокого использовать для тематического картографирования.

Некоторые характеристики, представленных различными странами спутников и съемочного оборудования, расположенного на них, приведены в таблице 1 [4 – 11].

Однако, как нам представляется, и снимки с разрешением 10...30 м также вполне можно использовать при обновлении мелкомасштабных карт по следующим причинам [4; 12]:

1) снимки с разрешением 10...30 м имеют больший охват снимаемой территории и стоят они значительно дешевле;

2) при использовании снимков с разрешением 10...30 м для мелкомасштабного картографирования не требуется дополнительных работ по генерализации.

В работе [13] отмечается, что с появлением спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) гражданского и двойного назначения, оборудованных оптико-электронными сенсорами высокого разрешения, сканерные космические снимки смогли составить конкуренцию аэрофотоснимкам в качестве исходного материала для крупномасштабного картографирования.

Согласно исследованию и прогнозу развития рынка данных ДЗЗ на ближайшие 10 лет, опубликованному американским обществом фотограмметрии и дистанционного зондирования (ASPRS) [5; 13], в настоящее время не удовлетворен спрос на снимки разрешением от 1 м и лучше; прогнозируется устойчивый рост продаж материалов ДЗЗ (включая аэрофотосъемку), третью часть которых составят космические снимки.

Таблица 1

Характеристики спутников и сканерных систем

Носитель	Съемочная система	Страна	Год запуска	Разрешение, м/охват, км (в панхром.)	MAX отклонение от надира	Высота съемки, км	Масштаб картографирования	Орбита/ /угол поля зрения, град	Наклонение i , град
EROS-A	PAN	Израиль	2000	1,1...1,9/ /9,5...14	$\pm 45^\circ$	480	1:25000 1:10000	С.с	97,8
IKONOS-2	PAN	США	1999	0,8/11	$\pm 45^\circ$	680	1:25000 1:10000	С.с/0,9	98,2
QUICK Bird	–	США	2001	0,6/16,5	$\pm 30^\circ$	450	1:25000 1:10000	С.с/0,7	97,2
OrbView-3	OHRIS	США	2003	1/8	$\pm 50^\circ$	470	1:25000 1:10000	С.с	97,25
IRS-P5	Cartosat-1	Индия	2005	2,5/30	–	618	1:25000 1:10000	С.с	97,9
Landsat-7	ETM+	США	1999	15/185	$\pm 45^\circ$	705	–	С.с	98,2
ALOS	PRISM	Япония	2006	2,5/70	$\pm 24^\circ$	690	1:25000	С.с	98,2
Worldview-1	–	США	2007	0,5/16	$\pm 40^\circ$	450	–	С.с	–
IRS-1	PAN	Индия	1997	5,8/70	–	820	1:50000	С.с	98,7

В работе [13] говорится, что современные сканерные снимки пригодны для создания и обновления карт масштабов 1:5000 и мельче, а в работе [14] говорится о масштабе картографирования, который можно обеспечить по точности 1:2000.

Из таблицы 1 следует, что декларируемый масштаб картографирования 1:М – 1:10000 и мельче.

Как видим, нет единого мнения, какой самый крупный масштаб картографирования.

Фирмы-распространители сканерных снимков предлагают продукты разных уровней обработки. При наличии соответствующего программного обеспечения желательно приобретать продукты низких уровней обработки [13]. В зависимости от уровня обработки цена различная. Кроме того при более высоких уровнях обработки требуется предоставить опорные точки, координаты которых в большинстве стран являются коммерческой тайной.

Как утверждают авторы работ [2; 13], применяемые для фотограмметрической обработки снимки, пригодные для обработки с точностью, сопоставимой с их разрешением, можно разделить на три группы:

- строгие, предполагающие восстановление связки проектирующих лучей по орбитальным, телеметрическим данным или по опорным точкам на основе точной физической модели съемочной системы;
- параметрические методы, основанные на перспективных или аффинных преобразованиях, без использования физической модели съемочной системы, имеющие название DLT;
- аппроксимационный метод, основанный на замене модели съемочной системы, обобщенной с набором заранее вычисленных коэффициентов, называемых RPC.

Наиболее точный метод – строгий. Коэффициенты, входящие в уравнения параметрического метода имеют аппроксимационный, а не моделирующий характер. В общем виде им сложно дать физическую интерпретацию. Вычисление входящих в них коэффициентов на основании только набора опорных точек, во-первых, потребует очень большого их числа (минимальный набор без избыточных измерений состоит из 39 точек) [2; 13], и, во-вторых, справедливость полученных соотношений на участках, не обеспеченных точками полевой подготовки, будет весьма сомнительна [13].

Коэффициенты RPC определяют на основании геометрической модели сенсоров, и как утверждают представители Space Imaging, Digital Globe и их дистрибьюторы, применение RPC обеспечивает получение продуктов практически такой же точности, как и при использовании строгой модели [13].

На предприятии «РАКУРС» разработчиками программного комплекса Photomod были проведены исследования по оценке точности различных алгоритмов.

Оценивались цифровая модель рельефа (ЦМР) и ортоизображение, созданные по сканерным снимкам. Получены изображения со спутника IRS-P5 съемочной системой Cartosat-1 (Индия), которые предназначались для решения картографических задач. Две панхроматические линейки ПЗС, формирующие изображение с пространственным разрешением 2,5 м. Направление обзора одного сенсора вдоль направления полета на 26° вперед, другого – на 5° назад. Имеется возможность изменения направления обзора перпендикулярно полету [13]. Одновременно работающие сенсоры получают стереопару изображений (ширина полосы захвата в надире ≈ 26 км) [13].

Использовалась стереопара, полученная на одном витке, которая была в стадии обработки Ortho Kit, т.е. к ней применялась только радиометрическая коррекция. Имелись также коэффициенты RPC. Снимки получены 25 февраля 2006 года при отклонении оптической оси от надира перпендикулярно направлению полета на угол 2° [13].

На исследуемую территорию имелась ЦМР, созданная по снимкам, полученным фотографической камерой ТК-350. Средняя квадратическая ошибка (СКО) определения высот ЦМР составляла 1...2 м. Эти данные использовались для оценки точности ЦМР, построенной по стереопаре Cartosat-1 [13].

По углам располагались четыре опорные точки, всего было 36 опорных точек, распределенных равномерно по всей области перекрытия снимков стереопары. Координаты опорных точек были заданы в системе координат WGS-84(φ , λ , h).

Были исследованы методы RPC, DLT и параллельно-перспективный, который является разновидностью метода DLT. Обобщенные результаты исследований, при которых получили удовлетворительную точность, приведены в таблице 2 [13].

Таблица 2

Результаты исследований

№ эксперимента	Геометрическая модель	Наземные точки		СКО, м		
		характер точек	число точек	m_x	m_y	m_z
1	RPC и аффинные поправки	Опорные	4	0,2	0,4	0,2
		Контрольные	32	1,5	1,3	2,7
2	DLT	Опорные	10	1,0	0,9	3,7
		Контрольные	26	1,5	1,5	4,0
3	Параллельно-перспективный	Опорные	10	1,4	1,4	7,5
		Контрольные	26	2,6	1,6	7,3

Авторы работы [13] пришли к следующим выводам: применение коэффициентов RPC без введения поправок дают значительные ошибки, которые имеют систематический характер. Введение поправок только за сдвиг координат недостаточно для обработки снимков.

В эксперименте 1 было четыре опорные точки, расположенные по углам области перекрытия снимков стереопары, остальные точки были приняты в качестве контрольных. И как видно по результатам, четырех надежно опознанных и хорошо расположенных опорных точек достаточно для достижения высокой точности при использовании метода RPC.

В экспериментах 2 и 3 изучались свойства параметрических методов (DLT и параллельно-перспективного), насколько близки используемые модели к геометрии снимков Cartosat-1 и степень практической пригодности этих моделей к обработке данных.

Эксперименты 2 и 3 показывают, что параметрические модели (DLT и параллельно-перспективного) обеспечивают плановую точность, близкую к достигаемой с использованием RPC, однако погрешности определения высот в несколько раз больше. Минимальное число опорных точек для достижения высокой точности в этих случаях должно быть не менее десяти.

Метод DLT обеспечивает получение более высоких по точности результатов по изображениям Cartosat-1, чем метод параллельно-перспективная модель.

В ходе эксперимента оценивалась также точность построения матрицы высот в варианте с использованием четырех опорных точек, расположенных по углам стереопары.

В автоматическом режиме с использованием коррелятора была построена ЦМР в виде TIN (Triangulated Irregular Network), которая была отредактирована вручную. По созданной ЦМР построена матрица высот с размером ячейки 20×20 м [13]. Построенная и контрольная матрицы высот совпали с высокой точностью, СКО составила 2,3 м. Число проверенных узлов матрицы высот равнялось 1 985 266. При декларируемой СКО контрольной матрицы высот 1...2 м, точность построенной ЦМР получилась не хуже 3 м [13].

Результирующее плановое смещение точек на ортоизображении, вызванное совместным влиянием погрешностей ориентирования и ЦМР, незначительно превышает 3 м, что удовлетворяет требованиям точности топографических карт масштабов 1:10000 и мельче [13] при разрешении на местности $L = 2,5$ м.

Большинство литературных источников [2; 3; 7; 13] утверждает, что можно достичь среднюю квадратическую ошибку (СКО) планового положения точек, примерно равную разрешению и, как показывают исследования методов RPC и DLT, представленные в таблице 2, такую точность обеспечить возможно. Для метода «Параллельно-перспективная модель» результаты получились несколько грубее. Исследователи, несомненно, приложили значительные усилия для достижения подобной точности.

В таблице 1 очень осторожно говорится о масштабах картографирования и не указывается самый крупный масштаб. И это справедливо, так как при выборе сканерного снимка необходимо учитывать имеющееся программное обеспечение, используемое для обновления, какого качества будут опорные точки и цифровая модель рельефа.

На производстве, как правило, опорные точки и ЦМР будут определяться по обновляемым картам, в лучшем случае по картам более крупного масштаба. Поэтому для производства, как мы полагаем, целесообразно принять среднюю квадратическую ошибку планового положения примерно в два-три раза грубее.

Рассмотрим методику выбора разрешения сканерных снимков для обеспечения плановой точности обновляемых карт.

Плановое положение точек согласно инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов должно быть определено со средней погрешностью $v_d = 0,3$ мм [14] в масштабе обновляемой или создаваемой карты или плана, что на местности составит:

$$V_d = v_d \cdot M = 0,3 \cdot M, \quad (4)$$

где M – знаменатель масштаба обновляемой карты или плана.

Переход от средней ошибки V_d к СКО планового положения m_d нами был осуществлен по формуле [15]:

$$m_d = 1,25 \cdot V_d. \quad (5)$$

Так как мы приняли, что СКО планового положения m_d будут в два-три раза грубее разрешения на местности, то для обновления карт и планов разных масштабов необходимо выбрать сканерный снимок с меньшим разрешением. Величину разрешения целесообразно принять равной от $L = m_d/2$ и до $L = m_d/3$ (здесь коэффициент 2 или 3 выбирается в зависимости от квалификации персонала и имеющегося программного обеспечения). Результаты расчета средних ошибок V_d , СКО m_d и величин разрешения L в зависимости от принятого коэффициента (2 или 3) для карт и планов разных масштабов представим в таблице 3.

Таблица 3

Величины ошибок и размер разрешения для обеспечения точности карт и планов разных масштабов

M	1000	2000	5000	10000	25000	50000	100000
V_d , м	0,3	0,6	1,5	3,0	7,5	15	30
m_d , м	0,38	0,75	1,88	3,75	9,38	18,75	37,5
$L = m_d / 2$, м	0,19	0,38	0,94	1,88	4,69	9,38	18,8
$L = m_d / 3$, м	0,13	0,25	0,63	1,25	3,13	6,25	12,5

Расчеты (см. табл. 3) показывают, что обновление планов масштабов 1:2000 и крупнее необходимо проводить только по материалам аэросъемки, а для планов и карт масштабов 1:5000 и мельче можно использовать сканерные снимки.

Для проверки правильности сделанных выводов обратимся к опыту использования сканерных снимков в РУП (Республиканское унитарное предприятие) «Белгеодезия».

В 2003 году РУП «Белгеодезия» приобрело один сканерный снимок, покрывающий площадь размером 70×70 км на территорию Минска и Минской области. Снимок получен сканирующей системой PAN с разрешением 5,8 м, спутник IRS-1 (Индия). Снимок предполагалось использовать для обновления карт масштаба 1:100000.

Для удобства опознавания опорных точек сканерное изображение было выведено на печать и выбрано 279 точек (59 из них было в дальнейшем отбраковано). Точки опознавались на картах масштаба 1:25000. Выбирались точки на хорошо опознаваемых пересечениях дорог и просек. Для каждой из них с карт были сняты координаты. Полученные координаты использовались для уравнивания сканерного снимка по методу «Параллельно-перспективная модель» на ЦФС Photomod, версия 3.5. Результаты оценки точности приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты оценки точности

Число точек	Разрешение L , м	$L = m_d / 3$, м	m_d , м	$m_{d \text{ доп}}$, м
220	5,8	12,5	27,3	37,5

В таблице 4 допустимая СКО m_d доп. вычислена по формуле:

$$m_d \text{ доп.} = 1,25 v_d M. \quad (6)$$

Как видим, получили более высокие по точности результаты, но и пространственное разрешение сканерного снимка было равным 5,8 м. Если бы выбрали пространственное разрешение 12,5 м, согласно нашим расчетам могли бы и не получить требуемую точность. Учитывая, что это был первый опыт обработки сканерных снимков, применили при расчете коэффициент 3.

Сопоставляя данные таблиц 4 и 3 в РУП «Белгеодезия», получены более грубые по точности результаты, однако следует отметить, что это был первый опыт использования данных оптико-электронных сканеров в Беларуси. У сотрудников предприятия не было опыта работы с космическими сканерными изображениями, поэтому возникали трудности при опознавании опорных точек на снимке. Кроме того метод «Параллельно-перспективная модель», как свидетельствуют данные таблицы 2, уступает по точности другим методам.

С 2003 года значительно улучшилось программное обеспечение, накоплен опыт работ, поэтому можно предположить, что рекомендованная нами методика выбора разрешения сканерного снимка обеспечит получение требуемых по точности результатов.

Следует согласиться с автором работы [13], что для получения качественного выходного продукта необходимы достаточно точные точки полевой подготовки и все три координаты точки должны быть известны с высокой точностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Живичин, А.Н. Дешифрирование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М.: Недра, 1980. – 253 с.
2. Назаров, А.С. Фотограмметрия / А.С. Назаров. – Минск: ТетраСистем, 2006. – 368 с.
3. Кравцова, В.В. Снимки сверхвысокого разрешения – новый компонент фонда цифровых космических снимков / В.В. Кравцова // Геодезия и картография. – 2004. – № 7. – С. 17 – 20.
4. Применение космических снимков МСУ-Э и SPOT для обновления цифровых карт масштаба 1:200000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web/db/msg.htm>.
5. Мельников, А.А. Обзор космических съемочных систем высокого разрешения / А.А. Мельников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vvhc.ru>.
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru-журнал по геодезии, картографии и навигации>.
7. Адров, В.Н. Критерии выбора данных ДЗЗ для топографического картографирования / В.Н. Адров, Ю.И. Карионов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vinek.narod.ru/satellites.htm> обзор космических систем.
8. Tempelmann, U., Burner, A., Chaplin, B., Hinsken, L., Mykhalevych, B., Miller, S., Recke, U., Reulke, R., Ubbing, R. (2000): Photogrammetric software for the LH Systems ADS40 airborne digital sensor, IAPRS, Vol. XXXIII, Part B1, Amsterdam. – P. 552 – 559.
9. Grodecki J., Dial G. IKONOS Geometric Accuracy // Proceedings of Joint Workshop of ISPRS Working Groups I/2, I/5 and IV/7 on High Resolution Mapping from Space 2001, University of Hannover, Germany, Sept. 19 – 21, 2001.
10. IKONOS Imagery Products and Product Guide. Space Imaging LLC, 2002.
11. Mondello C., Hepner G.F., Williamson R.A. 10-Year Industry Forecast. Phases I-III – Study Documentation // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – January 2004.
12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sovzond/news/6203.html>(Сообщение компании «Совзонд»).
13. Титаров, П.С. Практические аспекты фотограмметрической обработки сканерных космических снимков высокого разрешения / П.С. Титаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ra-curs.ru-сайт организации «Ракурс»>.
14. «Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов» ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. – М.: ЦНИИГАиК, 2002.
15. Чеботарев, А.С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятности / А.С. Чеботарев. – Геодиздат, 1958. – 606 с.
16. Гришанов, Н.Д. Классификация космических снимков / Н.Д. Гришанов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geodez.ru>.

Поступила 08.11.2011

CHOICE OF SCANNER PHOTOGRAPHS FOR CORRECTING OF TOPOGRAPHIC MAPS AND PLANS OF DIFFERENT SCALES

A. MICHEEVA

Lately the materials of numerical satellite scanning are widely used for correcting of topographic maps and plans. Scanner photographs have different space resolution so it is important to choose the right resolution quantity in order to secure the correctness of the map to be updated. Different literary sources contain contradictory information about the largest scale which can be amended by scanner photographs. Most of the scanner systems have small quantity of resolution on the ground but at the same time a small coverage of the territory being photographed. It is reasonable to choose scanner systems with high resolution for correcting of small-scale maps. With such scanners the larger parts of the territory will be photographed for lower price. In the present article we have made an effort to introduce a method of choice of scanner photographs resolution which will be able to provide the accuracy by correcting of topographic maps and plans of different scale.