

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ КА «КАНОПУС-В» И БКА В КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

**В.В. Некрасов**, *ОАО «Корпорация ВНИИЭМ»*  
*E-mail: vinek@list.ru*

**Введение.** В 2012 г. в России ожидается запуск двух новых космических аппаратов (КА) типа «Канопус» для дистанционного зондирования Земли [1]. Первый аппарат — «Канопус-В» будет принадлежать Российской Федерации, а второй — «БКА» создается по заказу Белоруссии. Запуск аппаратов будет произведен одной ракетой-носителем. КА «Канопус-В» предназначен в первую очередь для мониторинга и позволяет решать следующие задачи:

мониторинг техногенных и природных чрезвычайных ситуаций;

обнаружение очагов лесных пожаров, крупных выбросов загрязняющих веществ в природную среду;

регистрация аномальных явлений для исследования возможности прогнозирования землетрясений;

мониторинг сельскохозяйственных угодий, водных и прибрежных ресурсов;

оценка состояния землепользования;

оперативное наблюдение заданных районов земной поверхности.

КА «БКА» кроме решения перечисленных задач должен позволять решать и картографические задачи — обновление и создание картографической и геоинформационной продукции. Поскольку состав и параметры бор-

товой аппаратуры обоих космических аппаратов идентичны, то и данные КА «Канопус-В» позволяют решать картографические задачи. Целью данной статьи является определить условия и технологии для использования данных КА «Канопус-В» и «БКА» в картографических целях, то есть для получения метрически корректного покрытия. Основные задачи, которые решаются в данной работе — это разработка технологии получения:

корректного и точного описания микрокадров камер ПСС и МСС с помощью коэффициентов рациональных полиномиальных функций (RPC);

уровненного блока микрокадров для маршрутной съемки КА «Канопус-В»;

синтезированного и метрически корректного покрытия для маршрута размером не менее 23×10 км с геопривязкой по RPC;

цифровой модели рельефа по данным мультиспектральной камеры КА «Канопус-В».

### ***Технология обработки снимков КА «Канопус-В».***

**Особенности космической системы «Канопус-В»** (рис. 1). КА будет выведен на солнечно-синхронную орбиту, высотой 510 км. Схема съемки этим спутником показана на рис. 2. Благодаря большим углам разво-

рота КА полоса обзора составит 920 км. Зона радиовидимости при данных параметрах орбиты — 1200 км.

*Основные технические характеристики КА «Канопус-В»:*

тип орбиты .....	круговая солнечно-синхронная
высота орбиты, км .....	510
наклонение .....	97,447°
масса, кг .....	400
масса полезной нагрузки, кг .....	110
срок активного существования, лет .....	5-7
точность ориентации .....	не более 5'
углы отклонения по крену и тангажу при проведении съемки .....	± 40°
точность ориентации .....	5"
период повторного наблюдения, сут .....	15

*Характеристики целевой аппаратуры:*

разрядность квантования выходного сигнала .....	12
объем памяти, Гбайт .....	24
время хранения информации, сут .....	не менее 5
передача информации в целевую радиолинию, бит .....	8
количество каналов передачи данных .....	2
скорость передачи данных, Мбит/с .....	61,44 или 122,88
максимальная погрешность привязки информации к бортовой шкале времени, мс .....	не более 0,1
время работы ЦА на витке в режиме съемки и передачи целевой информации, с .....	до 700

Комплекс целевой аппаратуры включает в себя две съемочные системы — панхроматическую (ПСС) и многозональную (МСС), обеспечивающую получение изображения в четы-



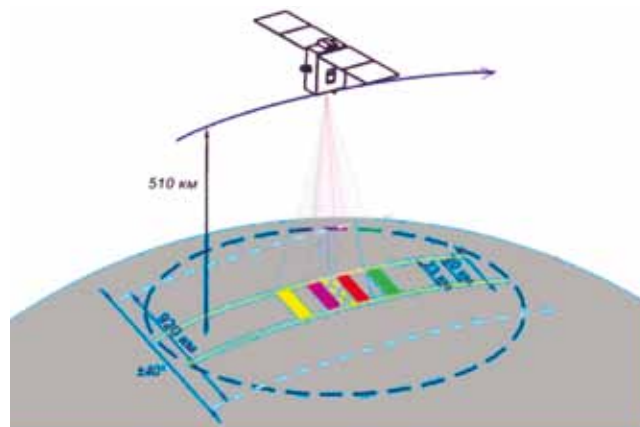
**Рис. 1. Общий вид КА «Канопус-В» и ориентация осей аппарата**

рех зонах спектра. Съемка может проводиться одновременно в панхроматическом и многозональном режимах, а также при различных комбинациях отдельных спектральных зон вплоть до съемки в одной спектральной зоне.

*Основные характеристики панхроматической и многозональной съемочных систем*

	ПСС	МСС
Количество спектральных каналов .....	1	4
Спектральные диапазоны (по уровню 0,5), мкм:		
панхроматический .....	0,52–0,85	
синий .....		0,54–0,60
зеленый .....		0,63–0,69
красный .....		0,69–0,72
ближний ИК .....		0,75–0,86
Фокусное расстояние, мм .....	1797,5	359,5
Относительное отверстие .....	1:10,3	1:5,6
Светопропускание .....	0,7	0,6–0,8
Размер матрицы, пиксель ..	1920×985	1920×985
При съемке в надир: .....		
полоса захвата, км .....	23,3	20,1
геометрическое разрешение, м .....	2,1	10,5
линейное разрешение на местности в зачетных условиях, м .....	2,7	12
Снимаемая одномоментно площадь, км <sup>2</sup> .....	45,3 (6 195 фрагментов кадра)	

Геометрия камеры МСС представляет собой камеру центральной проекции, особенностью ее является разнесение приемных матриц различных спектральных диапазонов в фокальной плоскости, благодаря чему получение мультиспектральных снимков возможно



**Рис. 2. Схема съемки КА «Канопус-В»**

только за счет перекрытия областей съемки по мере движения КА. Рассмотрение технологии синтеза мультиспектральных изображений является темой другой работы. В данной работе основное внимание будет уделено обработке данных камеры ПСС.

Главная особенность камеры ПСС – построение её из отдельных микроматриц. Схема расположения матриц в фокальной плоскости по паспортным данным микросборки дана на рис. 3. Проекция снимков МСС и ПСС на земную поверхность при съемке представлена на рис. 4.

*Моделирование исходных данных.* Для разработки технологии исходные данные были получены путем моделирования съемочных систем и собственно процесса съемки КА «Канопус-В» [2]. Создание модельных снимков производилось по следующей технологии [3]. На территорию экспериментального тестового полигона, перепады высот на котором достигают 400 м, был получен снимок высокого разрешения КА «Ресурс-ДК-1». По снимку с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР), полученной по данным SRTM (Shuttle radar topographic mission), был создан ортофотоплан. При этом размер пикселя ортофотоплана составил 1 м, а средняя квадратическая ошибка (СКО) трансформирования — 2,11 м. Ортофотоплан и ЦМР послужили основой для создания модельных снимков КА «Канопус-В». Ориентирование модельных снимков задается с помощью коэффициентов рациональных полиномиальных функций, которые были вычислены с учетом ошибок, вносимых навигационной системой, для моделирования реальных условий съемки.

*Методы, алгоритмы обработки.* RPC основаны на соотношениях, связывающих нормированные геодезические координаты точки местности с нормированными координатами её изображения на снимке:

$$l_N = \frac{\hat{f}_l(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{g_l(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}; \quad s_N = \frac{\hat{f}_s(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{g_s(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}.$$

Числители и знаменатели этих соотношений представляют собой полиномы третьей степени:

$$\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 d_{ijk} \varphi_N^i \lambda_N^j h_N^k.$$

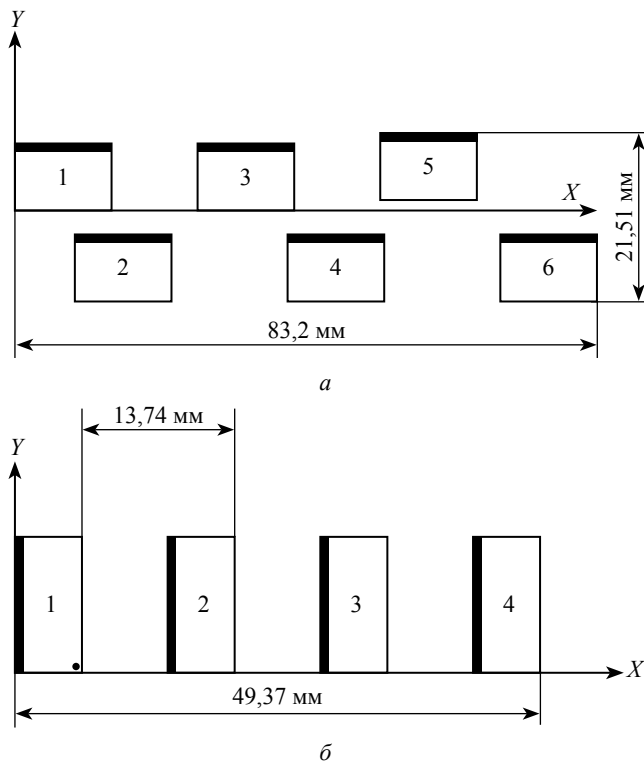


Рис. 3. Расположение матриц ПСС (а) и МСС (б)

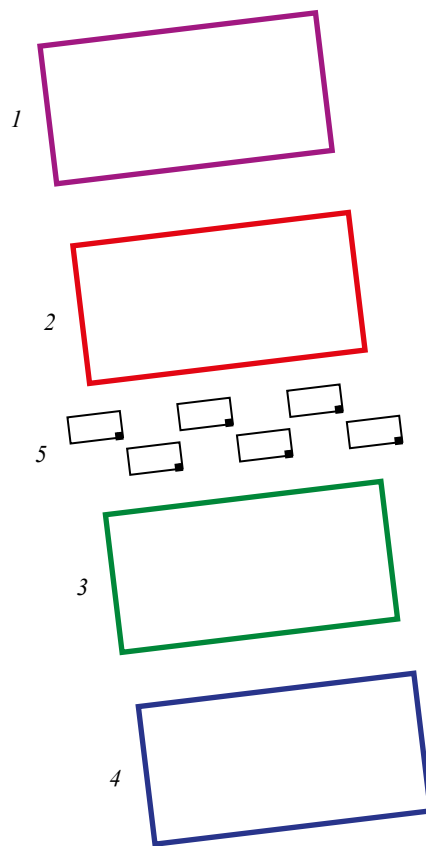


Рис. 4. Проекция снимков на земную поверхность: 1–4 — МСС (IR, Red, Green, Blue); 5 — ПСС

Нормировка пиксельных и геодезических координат производится так, чтобы их нормированные значения по модулю не превосходили единицы, и выполняется по следующим формулам:

$$l_N = \frac{l - O_l}{S_l}; \quad s_N = \frac{s - O_s}{S_s}; \quad \varphi_N = \frac{\varphi - O_\varphi}{S_\varphi};$$

$$\lambda_N = \frac{\lambda - O_\lambda}{S_\lambda}; \quad h_N = \frac{h - O_h}{S_h}.$$

В комплект поставки изображения включаются коэффициенты полиномов  $a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk}$ , а также параметры нормировки  $O_p, O_s, O_\varphi, O_\lambda, O_h$  (Offset) и  $S_p, S_s, S_\varphi, S_\lambda, S_h$  (Scale).

Расчет коэффициентов рациональных функций производится следующим образом:

1) определяются элементы внешнего ориентирования снимка в соответствии со строгой моделью сенсора по опорным точкам (либо используются элементы внешнего ориентирования, полученные по навигационным данным);

2) по всему полю изображения и всему диапазону высот данной территории равномерно вычисляются опорные точки  $(x_p, y_p, X, Y, Z)$  с использованием строгой модели сенсора;

3) составляется система уравнений и методом наименьших квадратов (МНК) вычисляются коэффициенты рациональных полиномов.

Поиск связующих точек осуществляется по зонам перекрытий микрокадров. Первые строки видеоданных в матрицах расположены так, что каждый третий кадр последующей матрицы совпадает с первым кадром предыдущей матрицы. Кадр содержит 985 строк видеоданных. Каждый последующий кадр в МСС имеет с предыдущим кадром перекрытие в 57 строк. В ПСС каждый последующий кадр имеет с предыдущим кадром перекрытие в 80 строк. Между кадрами, полученными разными матрицами, перекрытие составляет 70 пикселей.

Для поиска связующих точек используется комбинация алгоритмов площадной корреляции и алгоритма SURF. Уравнивание блока снимков осуществляется с учетом разбиения снимка на микроматрицы и с использованием RPC. При уравнивании по связующим точкам в качестве дополнительной информации привлекаются данные о высоте подстилающей

поверхности в виде ЦМР или средней высоты. Для повышения производительности обработки используют синтезированное покрытие района съемки размерами от  $23 \times 10$  до  $23 \times 20$  км. Синтез полного пиксельного покрытия области съемки осуществляется по данным уравненного блока с учетом перекрытий микрокадров. Для полного покрытия также вычисляются RPC.

Поскольку при движении КА по орбите возникает перекрытие одной и той же области различными кадрами мультиспектральной камеры МСС, то возникает возможность путем их совместной обработки получать цифровую модель рельефа на область перекрытия. Особенность данной обработки состоит в том, что корреляция точек в области перекрытия осуществляется по данным различных спектральных диапазонов.

**Экспериментальные результаты.** При вычислении RPC на микрокадры камеры ПСС точность (СКО) вычисления коэффициентов для данных тестового полигона находится в интервале от 0,000693 до 0,001306 пикселей для нормированных пиксельных координат. Поиск связующих точек производится для точек с коэффициентом корреляции не менее 0,9 и производится отбраковка связующих точек при уравнивании блока снимков (микрокадров) для получения субпиксельной точности уравнивания блока. Для тестового района получены точности уравнивания блока от 0,1 до 0,8 пикселей в зависимости от размера блока. Точность геопозиционирования блока для тестового полигона без использования опорных точек полностью определяется точностью навигационной системы КА и при моделировании была принята по положению на орбите 10 м и по точности углов ориентации  $10''$ , что на местности будет соответствовать 80–100 м. Использование дополнительных опорных точек резко улучшает точность геопривязки блока (рис. 5). Одна опорная точка улучшает точность геопривязки до 18 м, три опорные точки уменьшают ошибку до 4,3 м, что позволяет говорить о хорошем качестве уравнивания блока за счет использования связующих точек как вдоль, так и поперек маршрута.

Для синтезированного покрытия при использовании семи опорных точек получена

точность ориентирования 3,5 м. При взаимном ориентировании стереопары по мультиспектральным данным на тестовый полигон получена следующая точность ориентирования: СКО 0,464; средний модуль 0,397; максимальный 0,834; количество точек 30. Точность внешнего ориентирования стереопары с использованием семи опорных точек — 17,2 м.

Производилось сравнение исходной ЦМР, использованной для получения модельных снимков (по данным SRTM), и полученной ЦМР. Ошибки по высоте составили: СКО 21,2 м; максимальная 32,3 м.

**Обсуждение.** Полученные результаты могут служить ориентиром при использовании данных космических аппаратов «Канопус-В» и «БКА». Однако нельзя забывать, что эти результаты получены по модельным данным. Моделирование должно быть обязательным при проектировании новых космических аппаратов и создании технологий обработки полученных данных.

**Выводы.** Результаты моделирования и оценки точности показывают, что данные панхроматической камеры КА «Канопус-В» могут быть рекомендованы для обновления карт масштаба 1:25 000. Данные мультиспектральной камеры МСС могут быть использованы для создания и обновления карт масштаба 1:100 000. Использование блока уравненных микрокадров позволяет максимально корректно учесть особенности построения камеры «Канопус-В». Синтезированное покрытие с привязкой по RPC позволит значительно увеличить производительность обработки. Цифровая модель ре-

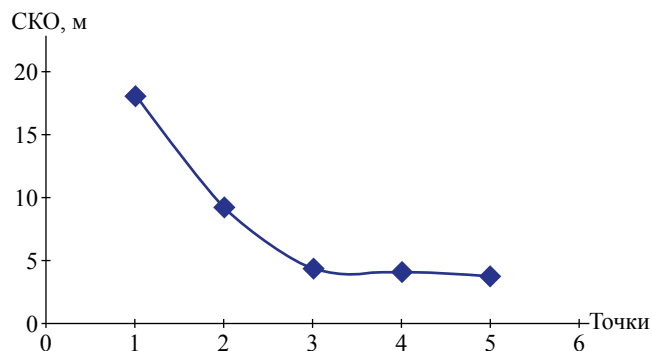


Рис. 5. Точность (СКО) геопривязки блока микрокадров

льефа, возможность получения которой была продемонстрирована в данной работе, в силу невысокого значения В/Н обладает низкой точностью, однако может быть рекомендована для ряда работ масштабов 1:100 000 и мельче.

**Благодарности.** Особая благодарность начальнику отдела дистанционного зондирования корпорации ВНИИЭМ — Никонову Олегу Анатольевичу, при активной поддержке которого была выполнена эта работа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Владимирова А.В., Салихов Р.С., Сеник Н.А., Золотой С.А. Космическая система оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций на базе КА «Канопус-В» и белорусского космического аппарата. // Вопросы электромеханики. 2008. — №105(1). — С. 49–57.
2. Макушева Е.В., Некрасов В.В. Разработка динамической геометрической модели съемки оптикоэлектронных съемочных систем для перспективных космических комплексов типа «Канопус-В» // Вопросы электромеханики. 2010. — №119(5). — С. 25–30.
3. Кравцова Е.В., Некрасов В.В. Технология обработки в ЦФС Photomod снимков перспективного КА «Канопус-В». // Геопрофи. 2011. — №5. — С. 49–52.