

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ СВЕРХВЫСОКОДЕТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

THE AUTOMATED PROCESSING SYSTEM OF THE SUPER HIGHLY DETAILED SPACE PICTURES



М. В. Зимин,
ст. научный сотрудник географического факультета МГУ
им. М. В. Ломоносова,
канд. геогр. наук,
E-mail: ziminmv@mail.ru
M. V. Zimin



А. В. Сонюшкин,
руководитель деп. обработки данных ДЗЗ ООО ИТЦ «СКАНЭКС».
E-mail: a.sonyushkin@scanex.ru
A. V. Sonyushkin

Аннотация. В рамках работ по государственному контракту №157Д по теме: «Создание картографической основы государственного кадастра недвижимости и пересчет содержащихся в государственном кадастре недвижимости ...» одной из основных задач была задача по оперативному формированию актуальных ортофотопокровтий всей территории Российской Федерации, созданных на основе использования сверхвысокодетальных космических снимков с пространственным разрешением 0,5 м. Реализация подобных работ стала возможной благодаря высокой степени автоматизации отдельных процессов, увязанных в распределенную систему обработки.

Summary. Within the limits of works on the state contract №157D on subject matter: «Creation of a cartographical basis of the state real estate cadastre and recalculation occurring the state real estate cadastre ...» one of the primary goals, was a problem in operative formation actual orto-photo covering all territory of the Russian Federation, created on the basis of use super highly detailed space pictures with spatial permit of 0.5 m. Realization of similar works became possible owing to a high degree of automation of separate processes coordinated in the distributed processing system.

Ключевые слова: космическая съемка, автоматизированная обработка, улучшающие преобразования.

Keywords: the space photographing, the automated processing, improving transformations.

Создание автоматизированной системы обработки сверхвысокодетальных космических снимков в целях реализации программы по созданию картографической основы государственного кадастра недвижимости

Наряду с задачей по формированию актуальных ортофотопокровов всей территории Российской Федерации были выполнены работы по пересчету и оценке качества всей кадастровой информации, а также создана мультимасштабная топографическая карта. Все эти материалы предполагаются к открытой публикации на «Публичной кадастровой карте», портала услуг, Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии [4], а также геопортале Росреестра, что является одним из актуальных направлений развития современной геоинформатики и дистанционного зондирования [2]

Стоит отметить, что это крупнейший геопространственный, инфраструктурный проект за всю историю современной России. Подобного рода проектов, реализованных как на федеральном, так и общемировом уровне на сегодняшний день не существует. Проект, действительно, беспрецедентный, как по объему подготовленных данных и по срокам его реализации, так и в целом по ожидаемому результату. Целью выполненных данных работ являлось создание полного и достоверного источника информации об объектах недвижимости.

Основные задачи, решаемые Росреестром в рамках выполнения работ по данному контракту, обозначены как: сокращение временных издержек при государственном кадастровом учете объектов недвижимости, предоставлении сведений из государственного кадастра недвижимости и создание защищенной, надежной и стабильной инфраструктуры доступа к информационным ресурсам государственного кадастра недвижимости в условиях развития государственных услуг на основе Интернет- и Интранет-технологий.

Требования к исходным материалам космической съемки, вовлеченным в реализацию данного проекта, очень высоки и ориентированы на использование самых современных съемочных систем, яркими представителями которых являются данные со спутников GeoEye-1, WorldView-2 и Pleiades 1A/1B: пространственное разрешение панхроматических каналов космических снимков составляет 0,5 метра, многоспектральных каналов съемки составляет

2 метра; точность позиционирования исходных снимков на земной поверхности по критерию CE90, согласно спецификации поставщиков, 6,5 метра.

Также необходимо отметить, что, согласно государственному контракту, космическая съемка будет проведена в бесснежный период, с параметрами облачности не превышающими 15 % для межселенной территории и 5 % — для территорий населенных пунктов, а период реализации космической съемки ограничен 2009–2012 гг. [3].

Обеспечение полноценного покрытия всей территории Российской Федерации (площадь 17,1 млн кв. км) материалами космической съемки, отвечающим всем ранее описанным требованиям, задача сама по себе очень сложная, особенно в рамках использования какой-либо отдельно взятой программы дистанционного зондирования. В результате чего были использованы все потенциальные возможности современных съемочных систем, путем распределения и непрерывного мониторинга съемочного процесса.

Формирование покрытий территории Российской Федерации материалами космической съемки проходило по двум направлениям, оценка и заказ данных из глобальных каталогов дистанционного зондирования и заказа на реализацию прицельной космической съемки на оставшиеся территории.

Таким образом, были сформированы ортофотопокровы всех кадастровых округов, суммарная площадь которых (с учетом перекрытий) составляет более 18,5 млн кв. км (табл. 1), а физический объем данных составил около 250 терабайт [1].

Все дальнейшие работы по формированию ортофотопокровов проводились на программно-аппаратном комплексе, специально созданном специалистами компании СКАНЭКС для реализации данного проекта. Обработка космических снимков была проведена в несколько этапов в полуавтоматическом режиме.

Таблица 1

Объем и структура материалов космической съемки в млн кв. км

| | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. |
|-------------|---------|---------|---------|---------|
| GeoEye-1 | 3.6 | 4.9 | 3.4 | 1.8 |
| WorldView-2 | — | 1.2 | 2.6 | 1.1 |

На вход системе подаются стандартные продукты, предоставляемые компаниями GeoEye и DigitalGlobe.

На подготовительном этапе выполняется проверка целостности исходных данных. Система проверяет количество и целостность каждого поступающего на вход продукта и составляющих его компонент. По завершению проверки целостности данных выполнялась процедура объединения каналов красного, зеленого и голубого видимого диапазонов многозональной съемки в один трехканальный файл формата TIFF. После этого рассчитывалась гистограмма каждого канала, полученного трехканального растрового изображения для всех компонент продукта. По завершении выполнялась процедура слияния рассчитанных гистограмм в единую гистограмму продукта, которая была использована на этапе тональной балансировки и фотометрической коррекции.

Следующим этапом обработки данных являлось ортотрансформирование исходных космических снимков и выполнение операции повышения пространственного разрешения. В систему загружался фрагмент ЦМР, пересекающийся с обрабатываемой компонентой, с приведением значений высот модели к эллипсоидальным, относительно эллипсоида WGS-84.

В качестве источника информации о рельефе местности использовалась общедоступная ЦММ «SRTM» с шагом 3 угловые секунды. Абсолютная вертикальная точность модели, согласно спецификации, не хуже 16 м по критерию LE90 %, а абсолютная плановая точность не превышает 20 м по критерию SE90 % [16]. Однако, согласно дополнительно проведенным исследованиям [13], вертикальная точность модели для территории Евразии не превышает 10 м LE90 %. Согласно спецификациям ЦММ SRTM, она существует лишь до 60 градусов северной широты, в результате чего на территорию севернее 60 градусов использовались ЦМР, созданные на основе государственной топографической карты масштаба 1:100 000.

Далее последовательно выполнялась орторектификация панхроматического и мультиспектральных каналов с использованием коэффициентов рационального полинома третьей степени (RPC) и подготовленной ЦМР. В состав поставки космических снимков со спутников GeoEye-1 и WorldView-2 входят коэффициенты рационального многочлена третьей степени (RPC), являющиеся аппроксимацией

строгой модели камеры, позволяющие определить зависимость нормированных пиксельных координат изображения от нормированных географических координат и высоты, взятых, как правило, относительно эллипсоида WGS-84. Математически это можно описать так:

$$l_n = \frac{\text{Num}_l(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{\text{Den}_l(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}$$

$$S_n = \frac{\text{Num}_s(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{\text{Den}_s(\varphi_N, \lambda_N, h_N)},$$

где l_n и S_n — нормализованные пиксельные координаты, φ_n , λ_n , h_n — нормализованные широта, долгота и высота, а Num_l , Num_s , Den_l , Den_s — многочлены третьей степени [11, 12].

Точность ортотрансформирования материалов космической съемки зависит от точности измерения положения космического аппарата и углов ориентации камеры, а также детальности используемой ЦМР (ЦММ).

Необходимым этапом работ была корегистрация панхроматического и мультиспектральных каналов, которая позволяла в автоматизированном режиме добиться точного геометрического соответствия двух наборов данных с целью обеспечения выполнения операций по повышению пространственного разрешения.

В современной литературе довольно широко рассмотрен вопрос слияния (повышения пространственного разрешения) панхроматического и мультиспектральных каналов данных космической съемки, с целью получения цветных изображений высокого пространственного разрешения. Среди наиболее популярных подходов следует отметить методы, основанные на трансформации мультиспектрального изображения в одно из цветовых пространств (например IHS) [9], либо разложение по методу главных компонент [6], и последующей подменой информативной компоненты данными высокого пространственного разрешения. А также методы, в основе которых лежат линейные комбинации мультиспектральных и панхроматического каналов, например линейное отношение, взвешенная сумма или др., наиболее известным алгоритмом данного класса является алгоритм Browey Transform, описанный в [8, 11]. Кроме того, широкой популярностью пользуются алгоритмы, использующие вейвлет преобразование [10, 13] и различные статистические модели [12], а также класс методов,



основанный на добавлении к мультиспектральному изображению высокочастотной компоненты, полученной по соответствующему панхроматическому изображению [5].

Каждый из приведенных классов алгоритмов имеет как положительные, так и отрицательные стороны, так, например, алгоритмы «подмены» (IHS, PCA) позволяют получить достаточно четкое изображение, но плохо сохраняют спектральные характеристики исходных данных, методы, использующие вейвлет преобразование, напротив, хорошо сохраняют исходный спектр и хуже передают детали. Линейные методы также плохо сохраняют спектральные характеристики и, кроме того, позволяют получить приемлемый результат только в случае спектрального перекрытия мультиспектральных и панхроматического канала, которое далеко не всегда возможно.

Кроме того, стоит отметить, что большинство алгоритмов, позволяющих получить приемлемый результат, требует настройки различных параметров, являющихся, как правило, уникальными для каждого снимка либо группы снимков, в зависимости от сезонных и атмосферных факторов и выбранного алгоритма.

В рамках данной технологии требовалось выполнить слияние данных сверхвысокого пространственного разрешения, получаемых со спутников GeoEye-1 и WorldView-2 в автоматическом режиме, с максимально возможным сохранением исходных спектральных характеристик и четкости. Для этого был использован модернизированный алгоритм итерационного взвешенного переноса высокочастотной компоненты, полученной по панхроматическому каналу, на предварительно передискретизированные мультиспектральные каналы. Данный алгоритм позволяет практически полностью сохранить исходные спектральные характеристики мультиспектральных данных наряду с высокой четкостью. Алгоритм был апробирован на большом количестве тестовых изображений, полученных различными съемочными системами, в различных диапазонах, при различных углах отклонения от надира и при различных внешних условиях (различные природные зоны, сезонность, состояние атмосферы), и показал стабильный удовлетворяющий установленным критериям результат при несущественных временных затратах на вычисление. Пример обработанного данным алгоритмом изображения приведен на рисунке 1.



Рис. 1. Фрагмент космического снимка со спутника WorldView-2.

По результатам апробации алгоритм был внедрен в состав программного комплекса SCANEX IMAGE Processor, используемого в данном проекте в качестве основного средства обработки ДЗЗ. Результат обработки сохранялся в проекции UTM на эллипсоиде WGS-84 в формате GeoTIFF с глубиной цвета 16 бит.

Необходимо отметить, что у поставляемых данных довольно высокий потенциал по обеспечению геометрической точности вплоть до требований масштаба 1:2000, ввиду чего, при использовании более детальных ЦМР возможно получение производных продуктов качественно нового уровня.

Для обеспечения единого тона у всех компонент продукта проводилась фотометрическая коррекция и тональная балансировка исходных данных. В качестве опорной информации использовалась гистограмма, построенная на подготовительном этапе. Результат обработки сохранялся в формате GeoTIFF с глубиной цвета 8 бит.

Статистика работы операторов по оценке качества говорит о том, что в 99 % случаев созданный алгоритм работает отлично, сбои появляются только на изображениях с высокой степенью спектральной однородности с незначительными по площади спектральными выбросами (льдина на фоне моря; постоянно покрытые снегом территории с минимальными площадями открытых горных пород).

Все описанные шаги были реализованы в виде полноценной автоматизированной цепочки обработки данных ДЗЗ, ядром которой являлся программный продукт SCANEX IMAGE Processor, работающий в режиме пакетной обработки. Для выполнения подготовительных шагов использовались специализированные утилиты,

| Общее кол. | Имя заказа | Кол. компонент | Название проекта | Дата загрузки на ftp | Дата подтверждения | Брак обработки | Брак исходных данных |
|------------|----------------------------|----------------|---------------------------------|----------------------|--------------------|----------------|----------------------|
| 1 | po_1002194 | 2 | Tinker Bell 4.2 | - | 2013-Mar-13 | no | no |
| 2 | po_1006967 | 1 | Mad Hatter Snow Recollects | - | 2012-Nov-05 | no | no |
| 3 | po_1007070 | 2 | Mad Hatter DG Archive Reentry E | - | 2012-Nov-07 | no | no |
| 4 | po_1009062 | 2 | Mad Hatter Reentry | - | 2012-Nov-08 | no | no |
| 5 | po_1045098 | 8 | RW POID 930613 | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 6 | po_1045099 | 1 | RW POID 978955 | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 7 | po_1045100 | 2 | RW POID 930609 | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 8 | po_1045101 | 3 | RW POID 930610 | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 9 | po_1045102 | 1 | RW POID 978953 | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 10 | po_1045103 | 2 | RW POID 978959 | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 11 | po_1045576 | 5 | Mad Hatter Snow Recollects | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 12 | po_1046157 | 21 | Mad Hatter DG Archive Reentry E | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 13 | po_1046158 | 24 | Mad Hatter DG Archive Reentry E | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 14 | po_1046757 | 2 | Mad Hatter Snow Recollects | - | 2013-Jan-09 | no | no |
| 15 | po_1052705 | 2 | Mad Hatter DG Archive Reentry | - | 2013-Jan-17 | no | no |
| 16 | po_1054690 | 1 | Mad Hatter Snow Recollects | - | 2013-Jan-29 | no | no |
| 17 | po_1054691 | 9 | Mad Hatter Snow Recollects | - | 2013-Jan-29 | no | no |
| 18 | po_1065011 | 1 | Mad Hatter Snow Recollects | - | 2013-Feb-08 | no | no |
| 19 | po_1065254 | 19 | Mad Hatter DG Archive Reentry E | - | 2013-Feb-13 | no | no |
| 20 | po_1085439 | 1 | Mad Hatter DG Archive Reentry E | - | 2013-Mar-26 | no | no |
| 21 | po_1085440 | 1 | Mad Hatter DG Archive Reentry E | - | 2013-Mar-26 | no | no |
| 22 | po_1085441 | 1 | Mad Hatter Tasking1 | - | 2013-Mar-26 | no | no |
| 23 | po_1090083 | 25 | Mad Hatter DG Archive Reentry E | - | 2013-Apr-12 | no | no |

Рис. 2. Страница с информацией по обработанным материалам космической съемки

написанные на языке программирования C++. В качестве средства визуализации процесса и результатов обработки, а также хранения метаданных информации обработанных системой данных, использовался web-сервер АРАСНЕ2. Связь между ядром, утилитами, web-сервером и операционной системой осуществлялась при помощи управляющих скриптов, написанных на языке Perl.

В качестве аппаратного обеспечения использовались 5 серверных платформ на базе процессора Intel Xeon X5690 с тактовой частотой 3.47 ГГц и 12-ю ядрами. На каждой платформе было установлено по 2 процессора, то есть на каждой платформе было доступно 24 вычислительных ядра, 50 Гб оперативной памяти и 7-ю жесткими дисками по 200 Гб, под управлением операционной системы Windows Server 2008 R. Поскольку размеры обрабатываемых снимков составляли в среднем несколько гигабайт каждый, для оптимизации скорости чтения/записи данных в качестве жестких дисков были выбраны твердотельные накопители (SSD). Для загрузки исходных данных и хранения результатов обработки использовались серверные платформы под управлением операционных систем Linux.

На каждой из серверных платформ одновременно работало по 10 независимых цепочек обработки и web-сервер. Производительность одной платформы при выполнении

полной цепочки обработки для сцен стандартного размера (около 60 кв. км) составляла около 200 м²/мин, что позволило обработать около 6 млн км² высокодетальных снимков за месяц. На рисунке 2 показан фрагмент внешнего интерфейса системы.

Росреестр обладает четко определенными правами на данные, получаемые в рамках данного контракта, что позволяет покрыть все потребности федеральной службы и использовать их в том числе и на публичных ресурсах.

Вот некоторые особенно важные выдержки из лицензионных соглашений операторов спутников WorldView-2 и GeoEye-1:

- Росреестр получает, неисключительную, свободную от уплаты роялти (периодических отчислений продавцу) лицензию на материалы космической съемки, полученные с КА WorldView-2 и GeoEye-1, с возможностью создавать неограниченное количество печатных и электронных копий исходных материалов космической съемки исключительно для внутреннего использования их Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии, ее территориальными органами и подведомственными предприятиями и организациями;

- имеет право переводить исходные материалы космической съемки для их дальнейшего применения Федеральной службой

государственной регистрации, кадастра и картографии, ее территориальными органами и подведомственными предприятиями и организациями в иные форматы или на иные носители из форматов и носителей, в которых (на которых) они были первоначально предоставлены;

■ размещать на Интернет-портале Росреестра цифровые ортофотопокрытия и предоставлять конечным пользователям Интернет-портала Росреестра права доступа и просмотра цифровых ортофотопокрытий в формате JPEG, входящих в состав цифровых ортофотопокрытий (на рабочих столах ПК и мобильных телефонных устройствах конечных пользователей).

Проект выполнен в сроки, составляющие менее десяти месяцев, что стало возможным благодаря использованию оригинальных методических решений, реализованных на современных вычислительных и программных средствах.

Сформировано уникальное, не имеющее аналогов, сверхвысокодетальное ортофотопокрытие территории РФ, обеспечивающее актуальной информацией потребности Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зимин М.В.* Промежуточные результаты реализации государственного контракта по созданию картографической основы государственного кадастра недвижимости // *Земля из космоса — наиболее эффективные решения.* — 2013. — № 16. — С. 20–26.
2. *Зимин М.В.* Земля: взгляд свысока // *Вестник Росреестра.* — 2012. — № 14. — С. 16–20.
3. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации «Об определении требований к картам и планам, являющимся картографической основой государственного кадастра недвижимости» от 28 июля 2011 г. № 375 [Электронный ресурс] / Дата обновления: 03.12.2013. Доступ из системы Консультант.
4. Публичная кадастровая карта, портал услуг, Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии [Официальный сайт]. URL: <http://maps.rosreestr.ru/PortalOnline/> (дата обращения: 06.12.2013).
5. *Chavez P.S., Jr. Bowell J.A.* Comparison of the spectral information content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in the Phoenix, Arizona region. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.* — 1988–54 (12). — pp. 1699–1708.
6. *Chavez P.S., Kwarteng A. Y.* Extracting spectral contrast in Landsat thematic mapper image data using selective principal component analysis // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.* — 1989–55 (3). — pp. 339–348.
7. *Dial G., Grodecki J.* Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials. *Photogrammetric engineering & remote sensing,* — 2003 — Vol. 69. — pp. 59–68.
8. *Gillespie AR, Kahle AB, Walker RE.* Color enhancement of highly correlated images. II. Channel Ratio and «Chromaticity» Transformation Techniques // *Remote sensing of environment.* — 1987–22/ —pp. 343–365.
9. *Haydn R., Dalke G.W., Henkel J.* Application of the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement // *International Symposium on Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands.* — 1982— pp. 599–616.
10. *Mallat S.G.* A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation // *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence.* — 1989–11 (7). — pp. 674–693.
11. *Pohl C., Genderen L. V.* Multi-sensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods, and applications // *International journal of remote sensing.* — 1998–19 (5). — pp. 823–854.
12. *Price J.C.* Combining panchromatic and multispectral imagery from dual resolution satellite instruments. *Remote sensing of environment.* — 1987–21. — pp. 119–128 (1987).
13. *Zhou J., Civco D.L., Silander J.A.* A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. *Int J Remote Sens.* — 1998–19 (4). — pp. 743–757.
14. *Dial G., Grodecki J.* Block adjustment with rational polynomial camera models. [Electronic resource] / 2002. Mode of access: http://geoeye.com/CorpSite/assets/docs/technical-papers/2002/D_DialGene_JacekGrodecki_2002.pdf
15. *Rodriguez E., Morris C.S. et al.* An Assessment of SRTM Topographic Products. [Electronic resource] / Mode of access: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_D31639.pdf
16. *Tom F.G., Rosen P.A., et al.* The Shuttle Radar Topography Mission. [Electronic resource] / 2002. Mode of access: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_paper.pdf

