

Потоковая технология корреляционной географической привязки спутниковых изображений высокого пространственного разрешения

В.А. Егоров, С.А. Барталев, М.А. Бурцев, В.Ю. Ефремов, Е.А. Лупян,
А.А. Мазуров, А.М. Матвеев

*Институт космических исследований РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru, тел. (495) 3335313*

Появившиеся в последние годы возможности массового получения спутниковых изображений высокого пространственного разрешения открывают принципиально новые перспективы развития методов мониторинга земной поверхности. Одним из ключевых условий эффективного использования спутниковых изображений является их высокоточная географическая привязка, что, как правило, не может быть обеспечено только на основе информации об элементах орбиты спутника. Разработанная в ИКИ РАН технология позволяет в потоковом режиме осуществлять привязку изображений высокого пространственного разрешения на основе корреляционного метода, что дает возможность значительно повысить точность определения географического положения объектов поверхности и формировать временные серии данных спутниковых наблюдений. Использование разработанной технологии в составе Информационной системы дистанционного мониторинга лесов (ИСДМ-Рослесхоз) для оперативной привязки спутниковых изображений SPOT-HRV/HRVIR подтвердило ее высокую эффективность.

Ключевые слова: спутниковые изображения, географическая привязка, корреляционные методы, технологии автоматической обработки данных

Введение

Данные спутниковых наблюдений высокого пространственного разрешения являются важной составляющей информационного обеспечения решения широкого круга задач природоресурсного и экологического мониторинга. Наличие непрерывно пополняемых многолетних архивов изображений на территорию России, получаемых, в частности, приборами Landsat-TM/ETM+ и SPOT-HRV/HRVIR, открывает принципиально новые возможности развития методов оценки состояния и мониторинга изменений растительного покрова. Указанные данные, в частности, уже нашли широкое применение в информационных системах, обеспечивающих решение задач мониторинга лесов (ИСДМ-Рослесхоз) [1] и земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК) [2]. Однако, при использовании только данных об орбитальных элементах спутника, потенциально достижимая точность географической привязки изображений, составляющая, как правило, несколько сотен метров, является недопустимо низкой для большинства задач мониторинга растительного покрова. Разработанная в ИКИ РАН потоковая автоматическая технология обеспечивает существенное повышение точности привязки спутниковых изображений высокого пространственного разрешения основана на использовании корреляционного алгоритма идентификации опорных точек. При этом в качестве источника эталонных геоданных используется глобальный архив GeoCover, включающий в себя изображения Landsat-TM/ETM+ (пространственное разрешение – 28.5 м), среднеквадратическая ошибка географической привязки которых не превышает +/-50 м.

Разработанная технология позволила создать на территорию России архив геореференцированных изображений SPOT-HRV/HRVIR за период 2007-2009 годов, а также

была включена с состав ИСДМ-Рослесхоз для осуществления оперативной привязки указанных изображений на сети станций приема спутниковых данных.

Несмотря на то, что для простоты изложения в настоящей статье описание ведется применительно к обработке данных SPOT-HRV/HRVIR, разработанная технология имеет достаточно универсальный характер и может найти использование для уточненной географической привязки достаточно широкого спектра спутниковых изображений высокого пространственного разрешения.

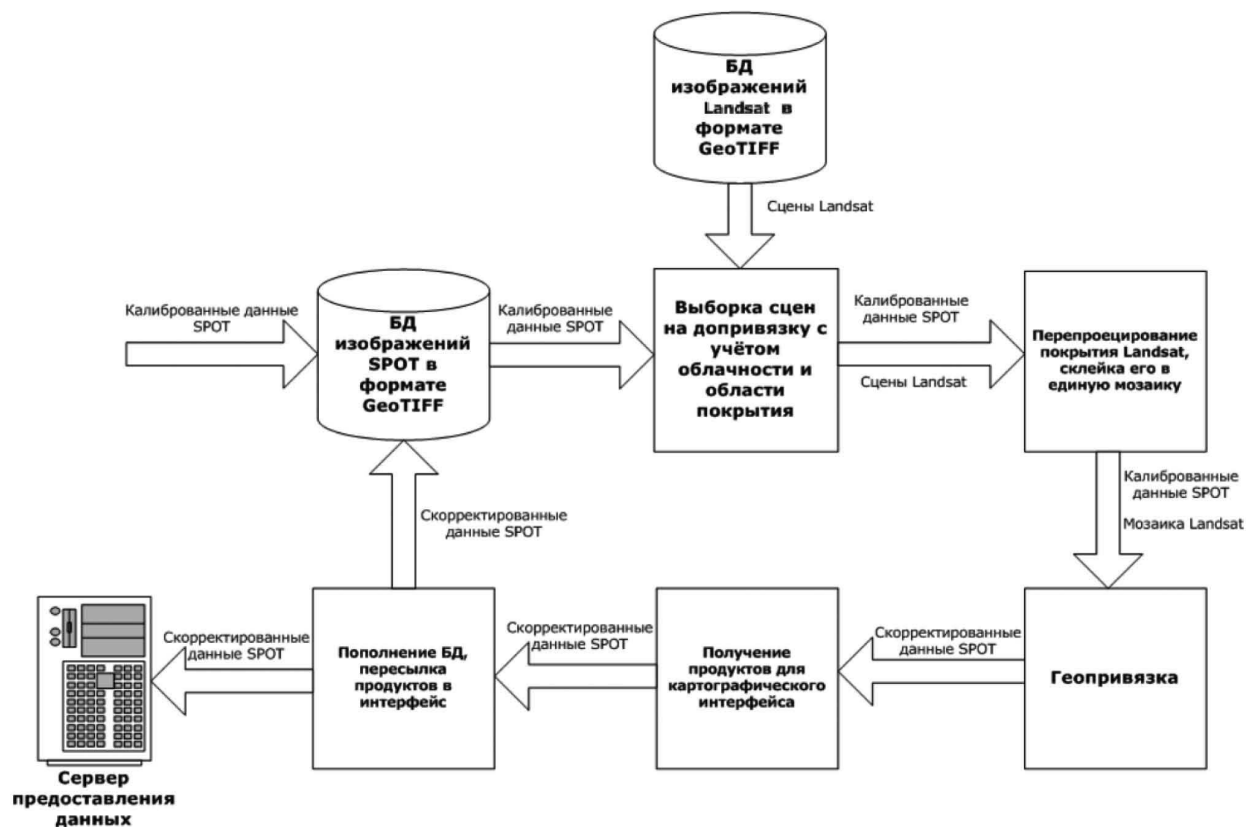


Рис. 1. Схема потоковой технологии корреляционной привязки данных спутниковых наблюдений

Описание технология корреляционной привязки спутниковых изображений

Технология корреляционной привязки данных спутниковых наблюдений SPOT-HRV/HRVIR, логическая схема которой представлена на рисунке 1, включает в себя следующие основные этапы:

- радиометрическая калибровка подлежащих географической привязке изображений и приведение их к единому формату записи;
- первичная оценка качества привязываемых изображений, включая относительную оценку территории покрытой облачностью и получение параметров проекции для привязки изображения;
- использование метаданных привязываемого изображения для выбора соответствующих ему сцен Landsat-TM/ETM+ из глобального архива GeoCover;
- трансформирование выбранных сцен Landsat-TM/ETM+ в картографическую проекцию привязываемого изображения и формирование на этой основе единой мно-

- гозональной мозаики в качестве источника эталонных геоданных для определения «истинных» координат опорных точек;
- корреляционный анализ привязываемого изображения и мозаики эталонных геоданных с целью идентификации множества опорных точек с использованием модуля AutoSync в составе программного комплекса ERDAS Imagine 9.1;
 - геометрическое преобразование привязываемого изображения на основе координат множества выбранных опорных точек;
 - построение набора псевдоцветных изображений в формате PNG, предназначенных для предварительного просмотра;
 - экспорт привязанных изображений в заданный формат и их погружение с сопутствующей информацией в базу данных.

Изображения SPOT-HRV/HRVIR, поступающие на вход в БД [3], обладают рядом особенностей, затрудняющих их географическую привязку с использованием потоковой корреляционной технологии. К такого рода особенностям, в частности, относится непостоянство калибровочных коэффициентов спектральных каналов для вычисления величин спектральных энергетических яркостей для различных сцен SPOT-HRV/HRVIR. Для учета этой фактора технология предусматривает первичную обработку погружаемых в БД изображений и их приведение к вычисляемым унифицированным образом безразмерным величинам, пропорциональным значениям коэффициента спектральной яркости (КСЯ). Кроме того, на этапе предварительной обработки привязываемых изображений проводится оценка наличия на них облачного покрова, а на вход технологии географической привязки поступают только сцены SPOT-HRV/HRVIR, маскирование территории облачностью для которых не превышает 10%.

Выбор из архива Geocover сцен Landsat, территориально соответствующих привязываемому изображению, осуществляется программным обеспечением, расположенным на сервере, с использованием технологии MapServer. MapServer является мощным инструментом создания картографических web-сервисов с широкой функциональностью и высоким уровнем интегрируемости с базами данных. В качестве источника опорных данных используются также размещенные в БД изображения Landsat, полученные в период 2000-2002 годов. Опорные изображения фильтруются с использованием метаданных на основе набора критериев, собираются в единое многоканальное покрытие и преобразовываются в картографическую проекцию UTM с соответствующей данной спутниковой сцене зоной.

Идентификация множества опорных точек на сцене SPOT-HRV/HRVIR и эталонном изображении осуществляется методом корреляционной привязки с использованием модуля AutoSync, являющегося расширением программного пакета ERDAS Imagine 9.1. Основной задачей модуля IMAGINE AutoSync является сопоставление пар изображений для автоматического поиска по ним связующих точек для расчета параметров модели геометрического преобразования и взаимной привязки изображений.

Осуществляемое в автоматическом режиме управление модулем AutoSync в технологии реализовано с использованием возможностей языка AutoIt. Этот язык программирования, дающий возможность создавать сценарии действий, позволяет создавать последовательность операций с целью управления отдельными элементами программ в среде Windows и обрабатывать сообщения от программ, получаемые в процессе управления. Таким образом, создав сценарий нажатий на определенные элементы управления и обработав все возможные комбинации сообщений и ошибок процесса, можно однообразно управлять программным продуктом не вдаваясь в особенности входных данных.

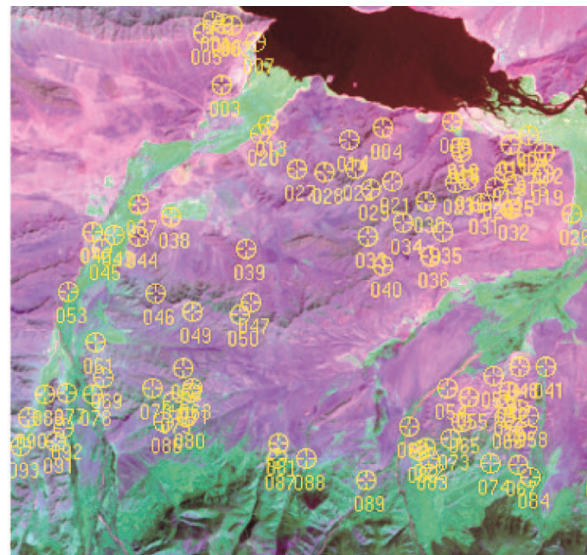
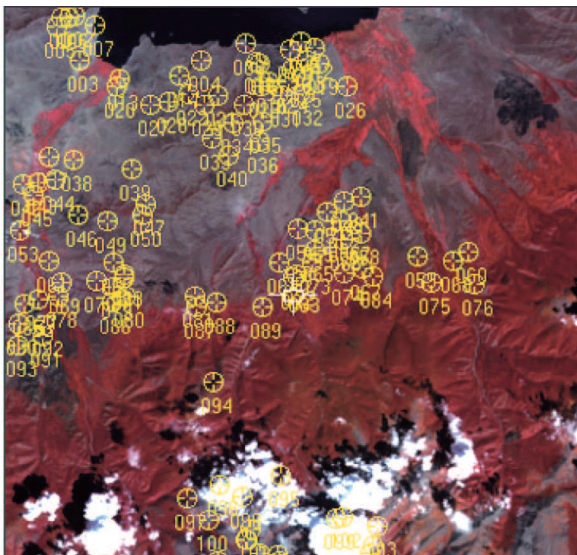


Рис. 2. Результаты идентификации множества опорных точек на изображениях SPOT-HRV/HRVIR и Landsat-TM/ETM+

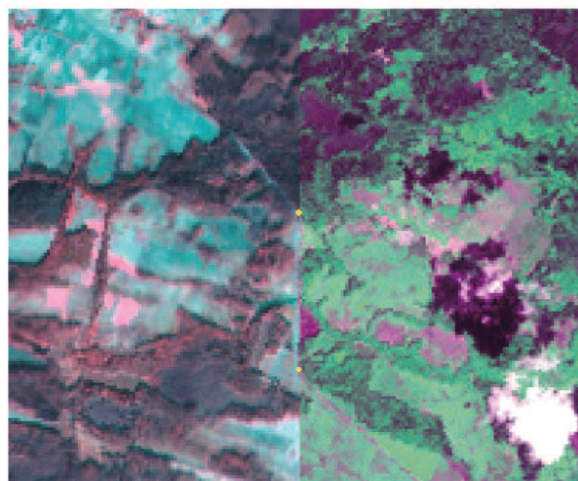
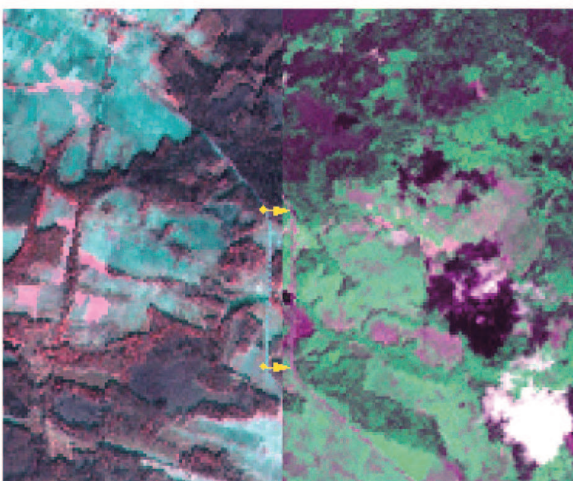
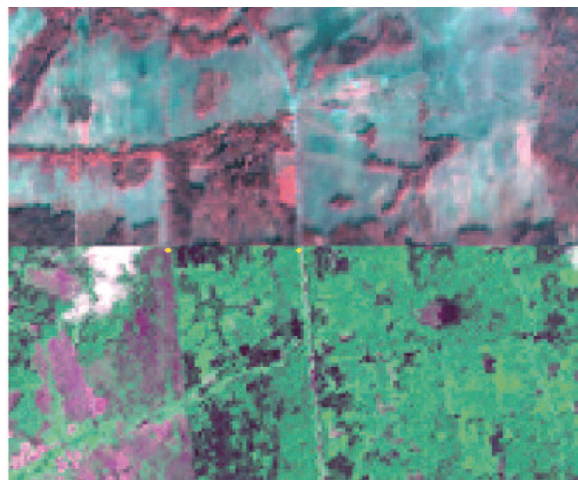
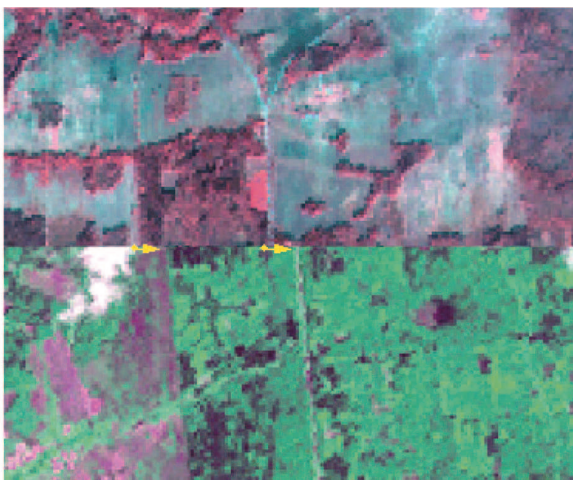


Рис. 3. Пространственная согласованность исходных (слева) и обработанных на основе технологии корреляционной привязки (справа) изображений

Принцип поиска связующих опорных точек модулем AutoSync основан на методе площадной корреляции. При этом предполагается, что опорное и исходное изображения имеют географическую привязку с точностью, достаточной для того чтобы отличия измеренным по ним координат одних и тех же объектов не превышали некоторого значения L , которое применительно к использованию технологии для географической привязки дан-

ных SPOT-HRV/HRVIR составило 1,5 км. Для скользящего окна размером $N \times N$ точек с центром в каждой точке опорного изображения осуществляется поиск такой же площадки в радиусе L , для которой значение коэффициента линейной корреляции между наборами точек в площадках максимально и не ниже 0,8. В процессе предварительно выполненных экспериментов было установлено, что оптимальный размер площадки N для привязки данных SPOT-HRV/HRVIR составляет 2 км. Дальнейшее повышение этого значения ведет к существенному увеличению времени работы алгоритма и снижению значений корреляции между площадками. Сравнение изображений и создание базы данных опорных точек осуществлялся по трем спектрально близким каналам Landsat и SPOT-HRV/HRVIR. Так, каналы разбиты по парам: 2й канал Landsat (0,53-0,61мкм) – 3й канал SPOT (0,50-0,59мкм), 3й канал Landsat (0,63-0,69мкм) – 2й канал SPOT (0,61-0,68мкм), 4й канал Landsat (0,78-0,90мкм) – 1й канал SPOT (0,78-0,89мкм). При этом, как правило, множество выявляемых на первом этапе точек является сильно избыточным для используемой геометрической модели преобразования и одновременно содержит некоторое число ошибочно идентифицированных опорных точек, причины появления которых могут различаться в зависимости от особенностей территории. Ошибки идентификации опорных точек в большинстве случаев появляются либо на относительно однородных территориях со слабо меняющимся по яркости ландшафтом, либо на участках с наличием высококонтрастных квазипериодических пространственных структур, таких как, например, сельскохозяйственные поля. Поэтому, для уменьшения ошибки привязки, точки фильтруются по максимальному вкладу в суммарную ошибку геометрической модели и итерационно удаляются. При использовании технологии географической привязки применительно к изображениям SPOT-HRV/HRVIR оставшийся после фильтрации ошибок идентификации набор опорных точек должен обеспечить привязку с ошибкой, не превышающей пороговое значение 0,6 пиксела. Пример такой сети опорных точек представлен на рисунке 2. Качественное представление о точности привязки изображений на основе разработанной технологии может быть получено по результатам, представленным на рисунке 3.

В результате использования модуля AutoSync формируется изображение SPOT-HRV/HRVIR в проекции UTM с разрешением 28.5м, точность географической привязки которого соответствует точности покрытия GeoCover. Представленная на рисунке 4 гистограмма ошибок географической привязки изображений с использованием полиномиальной модели геометрического трансформирования показывает, что максимум ошибки привязки составляет 0,36 пиксела, что соответствует величине отклонения на местности 10 метров.

Полученные в результате такого рода потоковой обработки спутниковые изображения с улучшенной географической привязкой экспортируются в формат TIFF и погружаются в БД.

Результаты работы технологии

Эксплуатация технологии в составе ИСДМ-Рослесхоз показала, что в автоматическом режиме возможна привязка до 60-70% изображений SPOT-HRV/HRVIR с уровнем покрытия территории облачностью менее 10%. При этом, в течение пожароопасного сезона 2009 года технология использовалась в оперативном режиме на станциях приема SPOT-HRV/HRVIR таких организаций, как Западносибирский РЦПОД (Новосибирск), Дальневосточный РЦПОД (Хабаровск) и ЗАО "Самара-Информспутник" (Самара). Полученная по результатам оперативной эксплуатации статистика обработки данных представ-

лена в таблице 1. Следует отметить, что даже использование для фильтрации сцен достаточно жесткого по уровню влияния облачного покрова порога, не всегда способно гарантировать отбор пригодных для корреляционной привязки изображений в силу во многом стохастического характера влияния этого фактора.

Таблица 1. Статистика, полученная по результатам работы технологии

<i>Станция</i>	<i>Год</i>	<i>Количество поступивших на обработку сцен</i>	<i>Количество привязанных сцен</i>	<i>% успешно привязанных сцен</i>
ЗСРЦПОД	2007	3749	2250	60,0
	2008	5842	2753	47,1
	2009	3112	2140	68,8
ДВРЦПОД	2007	2162	1388	64,2
	2008	6163	3835	62,2
	2009	110	76	69,1
ЗАО "Самара-Информспутник"	2007	24	9	37,5
	2008	5461	3353	61,4
	2009	-	1809	-
Всего	2007-2009	26623	15804	59,4

Потоковое использование разработанной технологии позволило сформировать базу пространственно-согласованных временных серий изображений с разрешением 28.5 метров и абсолютной ошибкой привязки, не превышающей 60 метров. Архив содержит данные, полученные на территорию России в период 2007-2009 годов.

Доступ пользователей к динамически обновляемому распределенному архиву географически привязанных данных SPOT-HRV/HRVIR осуществляется через систему интерфейсов [4], где, в частности, они могут анализироваться совместно со спутниковыми данными среднего пространственного разрешения MODIS, и полученными на их основе результатами тематической обработки.

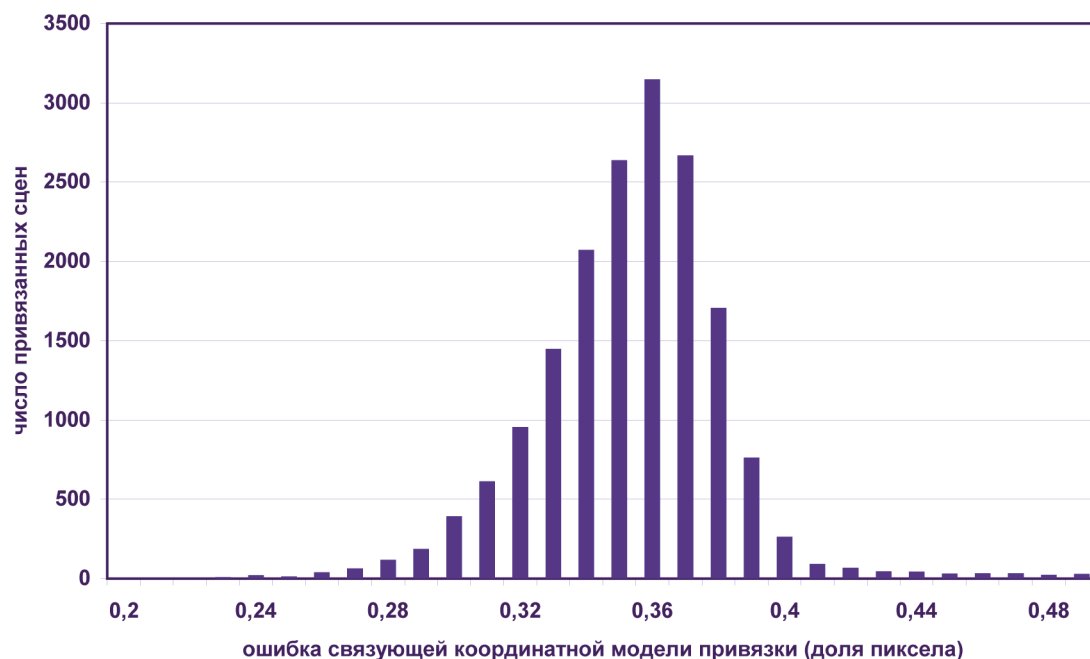


Рис. 4. Гистограмма распределения ошибки связующей координатной модели привязки изображений

Литература

1. *Барталев С.А., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Щетинский В.Е.* Использование данных высокого пространственного разрешения в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Сборник научных статей. М: ООО "Азбука-2000", 2009. Выпуск 6. Т. I. С.88-95.
2. *Акаткин Ю.М., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Мельник Н.Н., Лупян Е.А., Ляпинков Д.В., Плотников Д.Е., Полещук А.А., Столпаков А.В., Темников В.Н., Толпин В.А.* Возможности и перспективы развития системы спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель МСХ РФ // Пятая юбилейная открытая всероссийская конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН. 12-16 ноября 2007. Сборник тезисов конференции, 2007. С.232.
3. *Ефремов В.Ю., Крашенинникова Ю.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Оптимизированная система хранения и представления географически привязанных спутниковых данных. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сборник научных статей Выпуск 4. Москва: ООО «Азбука-2000». 2007. т. 1. с. 125-132.
4. *Барталев С.А., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Щетинский В.Е.* Организация работы со спутниковыми данными высокого пространственного разрешения в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (ИСДМ Рослесхоз) // «Пожаровзрывобезопасность». ООО «Издательство «Пожнаука», 2009. № 8. С.50-56.

Streaming technology correlation georeferencing of satellite images of high spatial resolution

**V. Egorov, S. Bartalev, M. Bourtsev, V. Efremov, E. Loupian,
A. Mazurov, A. Matveev**

*Space Research Institute
117997, Moscow, st. Profsoyuznaya, 84/32
E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru, tel. (495) 3335313*

Appeared in recent years the possibility of mass satellite imagery of high spatial resolution to open up entirely new prospects for the development of methods for monitoring the Earth's surface. One of the key conditions for effective use of satellite images is their high-precision geo-referencing, which generally can not be achieved only on the basis of information on the elements of the satellite orbit. Developed in IKI technology allows streaming to snap images of high spatial resolution based on the correlation method, which enables much more accurate determination of the geographical position of objects and surfaces to form a time series of satellite data. Using technology developed in the Information system for remote monitoring of forests (ISDM-The Forest Service) for rapid linking of satellite images SPOT-HRV/HRVIR confirmed its high efficiency.

Keywords: satellite images, geo-referencing and correlation techniques, technologies of automatic data processing.