

ОРТОРЕГИОН НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С КА СЕРИИ «РЕСУРС-П»

Н.Э. Жарова («Совзонд»)

В 2012 г. окончила факультет прикладной космонавтики МИИГАиК с присвоением квалификации инженер по специальности «аэрофотогезия». После окончания университета работает в компании «Совзонд», в настоящее время — инженер-фотограмметрист.

М.В. Лютивинская («Совзонд»)

В 1996 г. окончила факультет фотограмметрии МИИГАиК по специальности «аэрофотогезия». После окончания университета работала в ФГУП «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ, в НПП «Центр прикладной геодинамики». С 2005 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время — руководитель фотограмметрического направления.

▼ О целесообразности расширения номенклатуры продукции ОРТОРЕГИОН

С 2008 г. компания «Совзонд» выпускает ортотрансформированные мозаики — новый вид продукции, зарегистрированной под торговой маркой ОРТОРЕГИОН (также известной как ОРТО25), востребованный и отлично зарекомендовавший себя на российском рынке среди многообразия данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. ОРТОРЕГИОН представляет собой бесшовное, выровненное по цветам, ортомозаичное покрытие высокой плановой точности (среднее квадратичное отклонение (СКО) в плане 10 м) с пространственным разрешением 2,5 м. Ортотрансформированные мозаики предлагаются в границах административных районов или регионов РФ, в различных растровых форматах, в «коробочном» варианте. Приобретая такую продукцию, потребитель получает данные ДЗЗ гарантированной точности и изобразительного качества, полностью готовые к использованию в отраслевых геоинформационных системах (ГИС).

В основе данного вида продукции лежат снимки с космического аппарата (КА) ALOS/PRISM (JAXA, Япония). Ор-

тотрансформирование снимков выполняется с помощью входящих в поставку коэффициентов рациональных полиномов (Rational Polynomial Coefficients — RPC), без применения наземных опорных точек, в качестве информации о рельефе местности используется открытая общедоступная цифровая модель рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Высокое качество ОРТОРЕГИОН объясняется надежной точностью значений RPC, сопровождающих каждую сцену съемки, а также использованием в мозаике надириных снимков [1].

Независимые исследования точности, проведенные специалистами нескольких российских компаний, показали, что ОРТОРЕГИОН может быть использован в качестве основы для создания и обновления топографических карт и другой картографической продукции, вплоть до масштаба 1:25 000, без привлечения дополнительных данных.

С появлением коммерчески доступных глобальных данных сверхвысокого пространственного разрешения компанией «Совзонд» было принято решение о развитии направления ортотрансформированных мозаик типа ОРТОРЕГИОН в направлении укрупнения масштаба.

ОРТОРЕГИОН — ОРТО10 также представляет собой региональное ортомозаичное покрытие, но в его основе лежат ортотрансформированные снимки, полученные с КА WorldView-1, WorldView-2, WorldView-3 и GeoEye-1, осуществляющих съемку со сверхвысоким пространственным разрешением (не хуже 1 м на местности). Точность входящих в поставку коэффициентов рациональных полиномов для снимков с перечисленных КА позволяет изготавливать ортомозаики, удовлетворяющие требованиям картографических материалов масштаба 1:10 000 без использования наземных опорных точек, что также было подтверждено независимыми оценками.

В настоящее время компания «Совзонд» выпускает ортотрансформированные мозаики под общим названием ОРТОРЕГИОН, куда входят ОРТО10 и ОРТО25, а также ОРТО50 и ОРТОРЕГИОН + МОНИТОРИНГ [2].

Одним из ключевых достоинств ОРТОРЕГИОН является высокая плановая точность. Также преимуществом таких данных является возможность импортировать их в наиболее распространенные ГИС (MapInfo Professional, ArcGIS, «Панорама», AutoCAD и т. п.) и присту-

пить к работе, минуя все промежуточные стадии (заказ съемки, специальная обработка полученных данных и т. д.). Высокое качество данного типа продукции оценили российские и зарубежные пользователи, в числе которых такие авторитетные организации, как ФГБУ «Рослесинфорг», АО «Уралгеоинформ», ОАО «Севзапгеоинформ», АО «НИИП центр «Природа», ГУП «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана», ООО «Тримм», АО «Казгеокосмос» и др. [3].

Принимая во внимание популярность уже существующих ортотрансформированных мозаик, и учитывая выход на коммерческий рынок данных дистанционного зондирования с российских КА серии «Ресурс-П», компания «Совзонд» планирует создание региональных ортомозаик на основе данных с этих космических аппаратов, которые дополняют продукцию под торговой маркой ОРТОРЕГИОН. Модель распространения останется той же — в форме картометрического мозаичного покрытия с нарезкой по регионам России в стандартных растровых форматах. По своим точностным характеристикам новая продукция не будет уступать ОРТО25. Покрытие может быть черно-белым или цветным (RGB). Отличительной особенностью новой продукции станет более высокое по сравнению с ОРТО25 пространственное разрешение на местности — не хуже 1 м (против 2,5 м) и точность геопозиционирования на уровне 5–10 м в зависимости от типа рельефа местности.

▼ Экспериментальные работы по созданию ОРТОРЕГИОН на основе данных с КА серии «Ресурс-П»

Оценка точности данных с КА серии «Ресурс-П». В декабре 2016 г. компания «Совзонд» подписала дистрибьюторское

соглашение с Госкорпорацией «Роскосмос» на поставку данных с космических аппаратов серии «Ресурс-П» и «Канопус-В» на территории РФ, стран СНГ и дальнего зарубежья. Стоит отметить, что заказы на новую съемку с этих КА размещаются без обязательств по выкупу, т. е. заказчик принимает решение о приобретении данных только по результатам съемки.

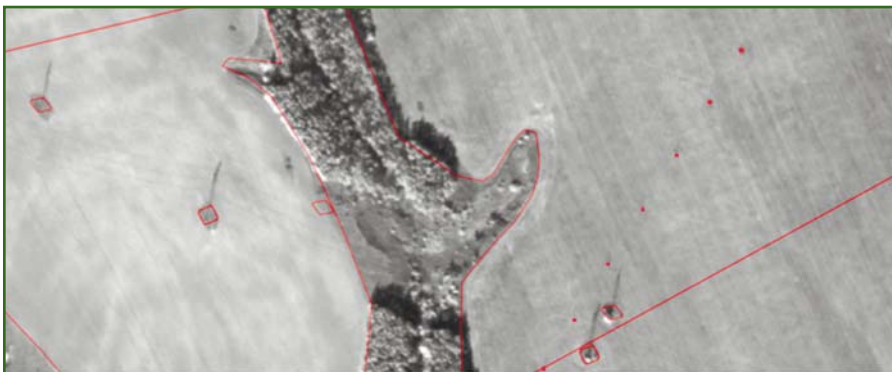
В настоящее время орбитальная группировка спутников серии «Ресурс-П» насчитывает три КА: «Ресурс-П» № 1, «Ресурс-П» № 2 и «Ресурс-П» № 3. Установленный на спутниках оптико-электронный комплекс «Геотон-Л1» позволяет выполнять съемку с пространственным разрешением 0,7–1 м в панхроматическом канале (0,62–0,79 мкм) и 2–3 м в семи спектральных каналах: синем (0,48–0,52 мкм), зеленом (0,54–0,59 мкм); красном + крайнем красном (0,62–0,68; 0,66–0,69; 0,7–0,74 мкм) и ближнем ИК (0,72–0,8; 0,8–0,9 мкм). Съемка может проводиться в следующих режимах: объектовом, маршрутном, стерео и площадном [4]. Стоимость архивных данных с КА серии «Ресурс-П» составляет 388,8 руб. за 1 км², а новой съемки — 661 руб. за 1 км² (срок поставки от 72 часов с момента съемки).

В качестве исходных данных используются стандартные космические снимки, полученные съемочной аппаратурой «Геотон-Л1» и прошедшие первичную обработку. В состав стандартной поставки входят панхроматический и мультиспектральный снимки уровня обработки 1А в формате GeoTIFF и коэффициенты рациональных полиномов в формате XML. Разрешение на местности составляет приблизительно 0,7 м, радиометрическое разрешение — 10 бит, ширина полосы съемки в надир — 38 км. Уровень обработки 1А предполагает, что для снимка

выполнена радиометрическая и геометрическая коррекция без трансформирования в картографическую проекцию [4]. Заявленная поставщиком точность ортотрансформирования снимков с использованием входящей в поставку модели RPC соответствует СКО не хуже 50 м [4]. Так как это значение не удовлетворяет целевым характеристикам новой продукции ОРТОРЕГИОН, данные о геопространственной привязке снимков нуждаются в уточнении по известным пространственным координатам наземных объектов хорошо дешифрируемых на космических снимках. Подготовка наземных опознаков и измерение их пространственных координат традиционными геодезическими методами в масштабах региона/области и даже города требует больших финансовых вложений и временных затрат. Такой подход влечет существенное удорожание создаваемой продукции и не удовлетворяет ее целям — доступности широкому кругу потенциальных пользователей. Поэтому была поставлена задача — найти открытый источник на всю территорию РФ с хорошо опознаваемыми опорными точками, имеющими точные пространственные координаты.

Исследование публичной кадастровой карты РФ. Компания «Совзонд» провела исследования на предмет возможности использования в качестве опорных точек объекты, представленные на публичной кадастровой карте, созданной Росреестром и доступной в режиме онлайн для любого пользователя сети Интернет [5]. На публичной кадастровой карте приведены данные государственного кадастра недвижимости: границы районов и городов, важные промышленные объекты, железные дороги, автомагистрали, линии электропередачи и пр.

Специалисты компании «Совзонд» провели стандартную фо-

**Рис. 1**

Высоковольтные и низковольтные ЛЭП на публичной кадастровой карте (красный цвет) и на ортофотоплане

тограмметрическую обработку панхроматических снимков с КА «Ресурс-П» № 1 уровня обработки 1А. В качестве опорных точек использовались объекты публичной кадастровой карты, которые надежно дешифрировались на космическом снимке, такие как опоры линий электропередачи и границы земельных участков, совпадающие по форме на снимке и на карте. В качестве информации о рельефе местности использовалась открытая матрица высот SRTM V3 [6]. Плановая точность (СКО) измерения контрольных точек на ортотрансформированных снимках составила 3–5 м (рис. 1).

Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что точность ортоизображений, созданных на основе данных с КА «Ресурс-П» уровня обработки 1А, с использованием в качестве опорных точек объектов определенного типа, опубликованных на публичной кадастровой карте, соответствует точности картографических материалов масштаба 1:10 000.

Выбор тестового участка. В качестве тестового участка для отработки технологии и качественной оценки конечной продукции была выбрана территория Воронежской области (несколько районов) общей площадью ~10 000 км², на которую АО «Российские космические

системы» предоставило снимки, полученные с КА серии «Ресурс-П».

Данная территория была покрыта семью панхроматическими и мультиспектральными сценами с КА серии «Ресурс-П» с углами отклонения от надира от 6° до 17,5°: четыре снимка «Ресурс-П» № 1, два — «Ресурс-П» № 2 и один — «Ресурс-П» № 3 (рис. 2).

Создание панхроматической ортомозаики по данным с КА серии «Ресурс-П». Для создания максимально точной и качественной ортомозаики было выполнено блочное уравнивание множества перекрывающихся космических снимков, которое включало:

— измерение связующих точек для минимизации расхож-

дения между перекрывающимися изображениями;

— измерение наземных опорных точек для уточнения исходной модели снимков;

— вычисление параметров трансформирования путем минимизации и распределения ошибок по изображениям и опорным точкам.

Точность геопозиционирования блока снимков с помощью RPC может быть улучшена путем измерения опорных точек, что подтверждено многочисленными исследованиями [7]. Требуемое количество опорных точек зависит от типа съемочной аппаратуры, размера изображения, применяемого метода ориентирования снимка, геометрии съемки, рельефа местности.

На этапе уравнивания блока необходимо было обнаружить и исключить объекты публичной кадастровой карты, содержащие грубые ошибки и, самое главное, имеющие низкую точность взаимного расположения, а также выполнить оценку качества модели. Данный этап требовал высокой тщательности, принимая во внимание тот факт, что далеко не все элементы публичной кадастровой карты могли быть использованы как опорные точки.

Для ортотрансформирования использовалась общедоступная матрица высот SRTM.

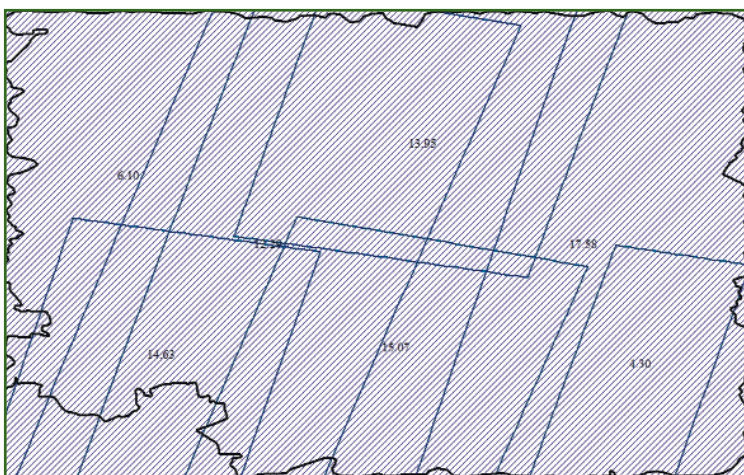
**Рис. 2**

Схема покрытия Воронежской области данными с КА серии «Ресурс-П»

Полученные ортотрансформированные снимки прошли процедуру цветового выравнивания, т. е. радиометрического согласования смежных изображений будущей мозаики. Далее они были объединены в единую бесшовную полностью сбалансированную панхроматическую мозаику (рис. 3).

Геометрическая точность проверялась по отклонениям планового положения контрольных точек на ортомозаике и расхождениям контуров на линиях шивки. В качестве контрольных данных использовались общедоступные GPS-треки и объекты публичной кадастровой карты определенного типа, которые надежно дешифрировались на ортомозаике (рис. 4). В результате оценки среднее отклонение планового положения контрольных точек составило 3 м, а максимальное — 5 м. Полученные значения отклонений в контрольных точках удовлетворяют требованиям, установленным в инструкции [8], согласно которой они должны быть не более 5 м (0,5 мм при масштабе фотоплана 1:10 000).

Контроль совмещения контуров по порезам, которое не должно превышать допуска 0,7 мм в масштабе фотоплана (7 м для масштаба 1:10 000), указанного в п. 4.9 инструкции [8], также подтвердил ожидаемую точность результирующей ортомозаики (рис. 5).

Создание цветной ортомозаики по данным с КА серии «Ресурс-П». Очевидно, что цветное изображение более информативно, чем черно-белое. Комбинируя цветной снимок низкого разрешения с панхроматическим снимком высокого разрешения одной и той же территории, т. е. присваивая пикселям панхроматического изображения цвет, можно получить новое комплексированное изображение высокого разрешения. Процедура улучшения простран-

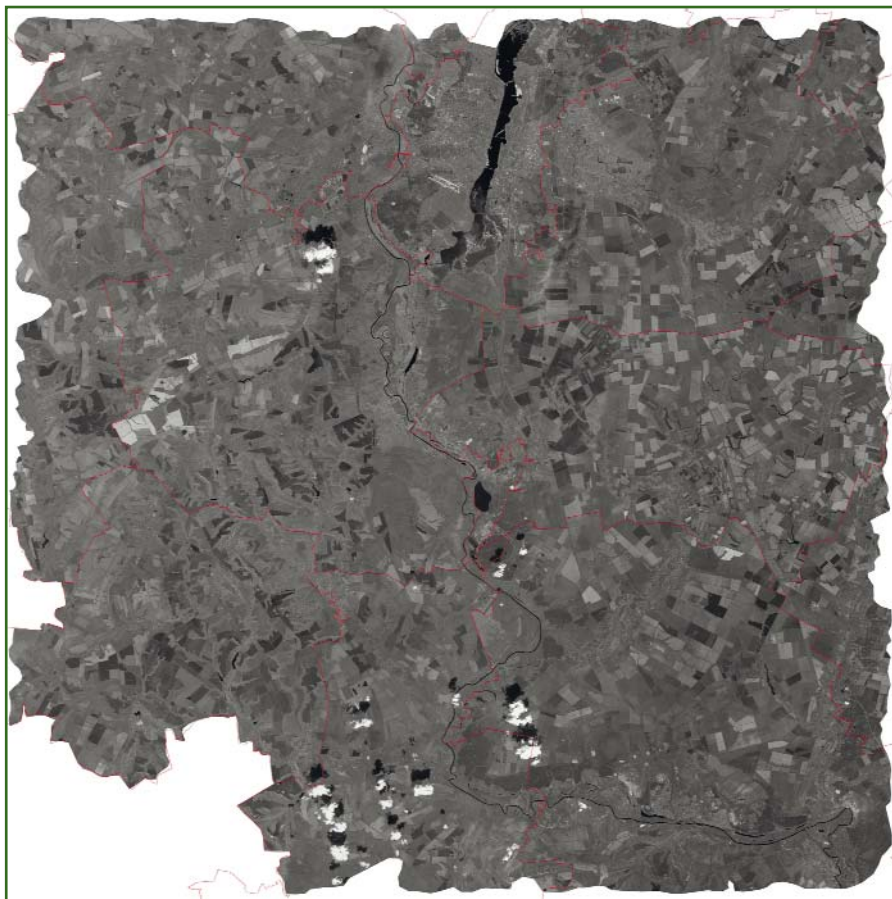


Рис. 3

Результирующая панхроматическая ортомозаика на территорию Воронежской области

ственного разрешения мультиспектральных снимков и повышения визуальных качеств характеристик исходных панхроматических снимков называется паншарпенинг (от англ.

«panchromatic sharpening») или комплексирование.

При изготовлении цветной ортомозаики мультиспектральные изображения уровня обработки 1А прошли процедуру ор-



Рис. 4

Контроль точности ортомозаики, построенной по данным с КА серии «Ресурс-П» (красный цвет — объекты публичной кадастровой карты, зеленый — GPS-треки)



Рис. 5

Линия шивки и качество сплошного выравнивания

тотрансформирования с использованием опорных точек, измеренных по соответствующим им ортотрансформированным панхроматическим изображениям. Этот этап необходим для более точного пространственного совмещения панхроматического и мультиспектрального снимков уровня обработки 1А.

Процедура паншарпенинга для цветных и панхроматических ортоизображений была выполнена с использованием модифи-

цированного преобразования Бровей и специально подобранных коэффициентов для оптико-электронного комплекса «Геотон-Л1». Учитывая спектральный диапазон панхроматического канала «Геотон-Л1» (0,62–0,79 мкм), для комплексирования обязательно наличие снимков в зеленой (0,54–0,59 мкм) и красной (0,62–0,68 мкм) областях видимого диапазона, а также ближнем инфракрасном диапазоне (0,72–0,80 мкм). На рис. 6 показаны примеры панхроматическо-

го изображения, мультиспектрального изображения и результат их комплексирования.

Наличие у оптико-электронного комплекса «Геотон-Л1» КА серии «Ресурс-П» четырех спектральных каналов позволяет составлять различные варианты синтеза снимка (рис. 7).

Оценка изобразительных качеств создаваемой ортомозаики по данным с КА серии «Ресурс-П» осуществлялась визуально. Проведенные исследования показали, что ортомозаика воспринимается единым изображением одинаковой тональности, расхождения по линиям шивки смежных снимков минимизированы (рис. 8). Полученная ортомозаика по дешифровочным свойствам аналогична ортомозаике, созданной на основе снимков с КА QuickBird и IKONOS компании DigitalGlobe.

▼ Основные характеристики ОРТОРЕГИОН на основе данных с КА серии «Ресурс-П»

На основании полученных результатов можно анонсировать следующие основные характеристики новой продукции — ОРТОРЕГИОН на основе данных с КА серии «Ресурс-П»:

— пространственное разрешение — не хуже 1 м;

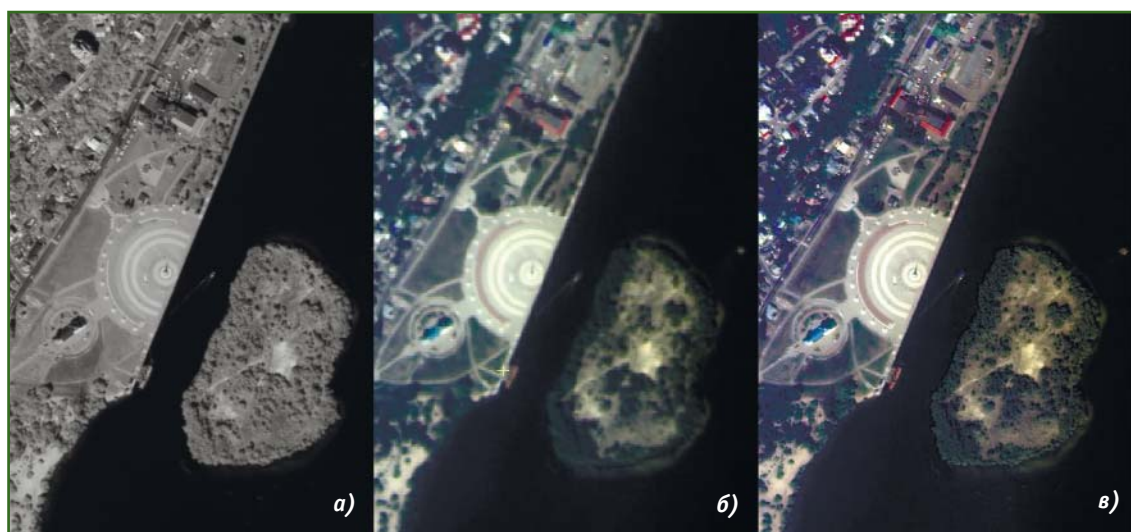


Рис. 6

Панхроматический (а) и мультиспектральный (б) снимки с КА серии «Ресурс-П» и результат их комплексирования (в)

- цвет изображения — PAN/RGB;
- актуальность — с 2013 г. по настоящее время;
- облачность — не выше 20%;
- динамический диапазон — 8 бит;
- система координат — WGS-84;
- абсолютная точность на равнинные районы — 5 м.

Данная продукция может быть использована для обновления топографических карт масштабов 1:25 000–1:50 000, создания тематических и навигационных карт, разработки web-приложений, решения задач навигации на основе космических снимков.

Также следует отметить возможность применение новой продукции ОРТОРЕГИОН в качестве подложки для ведения государственного кадастра недвижимости, так как согласно приказу Министерства экономического развития РФ № 848 от 13 ноября 2015 г. картографической основой единого государственного реестра недвижимости являются ортофотопланы масштабов 1:2000–1:25 000 в зависимости от типа территории.

Представители органов государственной власти могут заказать продукцию ОРТОРЕГИОН на основе данных с КА серии «Ресурс-П», оплатив только стоимость их обработки.

▼ Список литературы

1. Geometric modeling and validation of ALOS/PRISM imagery and products, S. Kocaman, F. Gruen; The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008.

2. Компания «Совзонд». Раздел «Продукты». — <https://sovzond.ru>.

3. Абросимов А.В., Беленов А.В. и Дворкин Б.А. ОРТОРЕГИОН и ОРТОРЕГИОН + МОНИТОРИНГ — продукция для картографирования и мониторинга земной поверхности // Геопрофи. — 2009. — № 4. — С. 9–15.

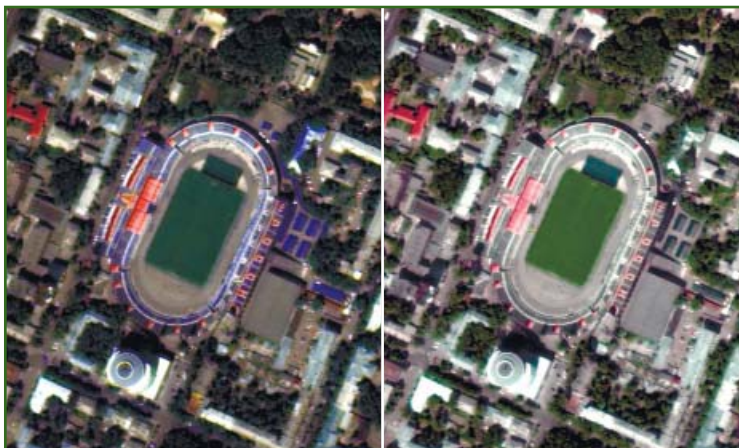


Рис. 7

Примеры различного синтеза снимка с КА серии «Ресурс-П» после процедуры паншарпенинга: в естественных цветах (слева) и в «псевдо» естественных цветах (справа)



Рис. 8

Результирующая цветная ортомозаика на территорию Воронежской области

4. НЦОМЗ. — www.ntsomz.ru.

5. Публичная кадастровая карта РФ. — <https://pkk5.rosreestr.ru>.

6. Shuttle Radar Topography Mission. — www2.jpl.nasa.gov/srtm.

7. Адров В.Н., Карионов Ю.И., Титаров П.С., Чекурин А.Д. Крите-

рии выбора данных ДЗЗ для топографического картографирования. — www.racurs.ru/?page=39.

8. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. — М.: ЦНИИГАиК, 2002.