

А.В. Беленов (Компания «Совзонд»)

В 1996 г. окончил Санкт-Петербургское высшее военно-топографическое командное училище по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания училища проходил службу в 29-м НИИ МО РФ. С 2001 г. работал в ЦПГ «Терра-Спейс». В настоящее время – главный инженер компании «Совзонд».

Б.А. Дворкин (Компания «Совзонд»)

В 1974 г. окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова по специальности «картография». Работал в ПКО «Картография», ООО «Картография Хубер», ГИС-Ассоциации, Научном геоинформационном центре РАН. В настоящее время – аналитик компании Совзонд». Кандидат географических наук.

ОРТОРЕГИОН – новый продукт для создания топографических карт*

Специалисты компании «Совзонд» завершили работу по созданию региональных ортомозаик на значительную часть территории Российской Федерации с разрешением 2,5 м – ОРТОРЕГИОН.

В основе этого продукта лежат ортотрансформированные панхроматические снимки, полученные съемочной системой PRISM, установленной на борту спутника ДЗЗ ALOS (Япония). Ортотрансформирование сцен выполнялось с помощью коэффициентов рациональных полиномов (RPC) без применения наземных опорных точек (GSP), а в качестве информации о рельефе местности использовалась открытая общедоступная цифровая модель местности SRTM.

Отдельные ортотрансформированные сцены «сшивались» в единое растровое поле с выравнением тона и последующей «нарезкой» на отдельные фрагменты, покрывающие административные районы или регионы РФ.

ОРТОРЕГИОН имеет следующие основные характеристики:

- пространственное разрешение – 2,5 м;
- цвет изображения – черно-белый;
- актуальность – 2006-2008 гг.;
- облачность – не выше 20%;
- динамический диапазон – 8 бит;

- пространственная привязка – мировая геодезическая система WGS-84;
- абсолютная точность – 10 м.

Продукт ОРТОРЕГИОН (рис. 1) является дополнением к серии региональных ортомозаик РФ, создаваемых в компании «Совзонд» с использованием космических изображений с пространственным разрешением 0,5-1 м и 10 м.

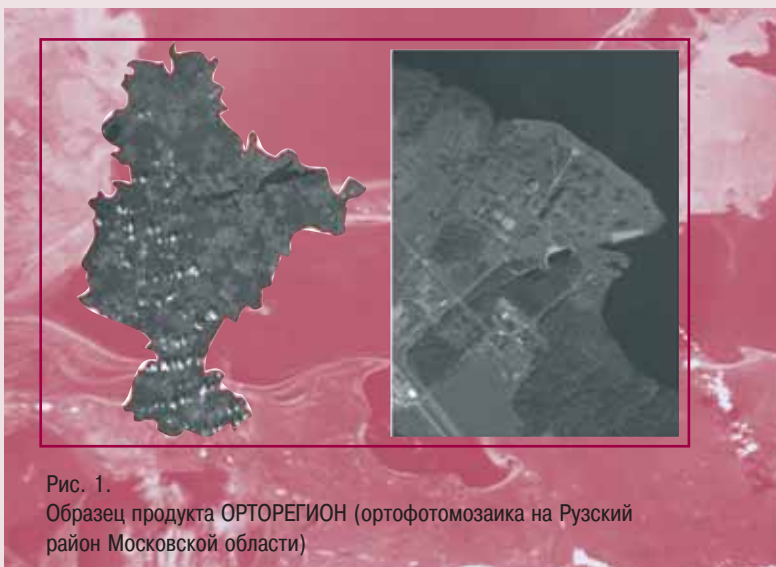


Рис. 1. Образец продукта ОРТОРЕГИОН (ортотомозаика на Рузский район Московской области)

* Статья подготовлена с использованием материалов, предоставленных Е.А. Кобзевой (ФГУП «Уралгеоинформ»), И.В. Оньковым (ООО «Тримм») и Н.Д. Фоменко (АО «Казгеокосмос»).

Высокое качество продукта ОРТОРЕГИОН объясняется беспрецедентно высокой точностью значе- ний RPC, сопровождающих каждую сцену съемки ALOS/PRISM (The Geometric Accuracy Evaluation Results of RPC (Ver.1.3), RESTEC), а также использо- ванием в мозаике, в основном, снимков с уклоне- нием от надира в пределах $1,5^\circ$ (PRISM NADIR).

Компания «Совзонд» обратилось к своим партне- рам – ФГУП «Уралгеоинформ» (Екатеринбург), ООО «Тримм» (Пермь) и АО «Казгеокосмос» (Казахстан, Алма-Ата) с просьбой оценить фактическую точ- ность созданной ортомозаики и ее изобразительные качества.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ФГУП «УРАЛГЕОИНФОРМ»

Различные подразделения «Уралгеоинформ» бо- лее пяти лет активно используют космические сним- ки для обновления и создания топографических и тематических карт всего масштабного ряда. Поэто- му, приступая к тестированию, специалисты пред- приятия настороженно отнеслись к продукту ОРТОРЕ- ГИОН, созданному без опорных точек и подробной информации о рельефе местности.

Для тестирования был выбран фрагмент ОРТОРЕ- ГИОН на территорию Свердловской области пло-

щадью 4000 км^2 . Он был составлен из двух ортос- нимков ALOS/PRISM от 7 сентября 2007 г. и 26 июля 2008 г., т. е. снимков, полученных с интервалом в один год, с разных орбит и с разными значениями RPC (рис. 2). Треть территории выбранного участка занята населенными пунктами, сельскохозяйствен- ными угодьями и дорогами различных классов. Ос- тальная часть покрыта лесом, озерами и мелкими реками, частично заболочена. Местность всхолм- ленная, с перепадом высот от 90 до 250 м.

Оценка ортомозаики проводилась по ее геомет- рической точности и изобразительному качеству в соответствии с нормативными требованиями, предъявляемыми к фотопланам масштаба $1:25\,000$, изложенными в Инструкции по фотограмметриче- ским работам при создании цифровых топографиче- ских карт и планов (ГКИНП (ГНТА)-02-036-02).

Геометрическая точность проверялась по ее откло- нениям планового положения контрольных точек на снимках и местности и по расхождениям контуров на смежных снимках.

На местности в качестве контрольных точек были выбраны углы домов и других строений, отдельно стоящие деревья, которые надежно дешифривова- лись на ортомозаике фрагмента ОРТОРЕГИОН. Всего было выбрано 19 контрольных точек, плановые коор- динаты которых были определены на местности с по-

мощью двухчастотного спутникового приемника GPS с точностью в плане 1 м и измерены на ортомозаике. В результате оценки среднее отклоне- ние планового положения контроль- ных точек составило $4,91 \text{ м}$, а макси- мальное – $7,8 \text{ м}$. Наблюдался систе- матический сдвиг изображения на ортомозаике на $+3,4 \text{ м}$ в направлении на север и $-2,0 \text{ м}$ – на восток (рис. 2). Полученные значения отклонений в контрольных точках удовлетворяют требованиям, установленным в инструкции ГКИНП (ГНТА)-02-036-02, согласно которой они должна быть не более $12,5 \text{ м}$ ($0,5 \text{ мм}$ в масштабе фо- топлана $1:25\,000$).

Для оценки планового расхожде- ния контуров на смежных снимках



Рис. 2.
Схема расположения контрольных точек и вектора невязок

использовались ортотрансформированные, но еще не объединенные в мозаику, снимки ALOS/PRISM. На левом и правом снимках в зоне перекрытия выбирались одноименные точки на четких контурах: углы

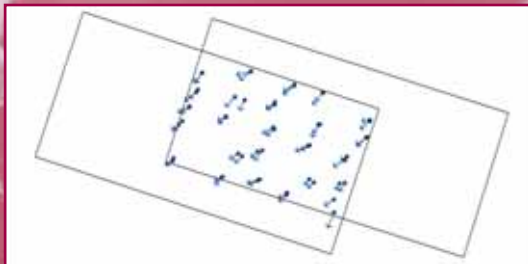


Рис. 3.
Схема расположения одноименных точек и вектора невязки

зданий, пересечения небольших асфальтовых дорожек, отдельные деревья. Всего было выбрано 50 точек (рис. 3), координаты которых измерялись и сравнивались между собой. Среднее квадратическое отклонение координат составило 9,1 м, максимальное – 13,2 м, а систематический сдвиг оказался равным -5,5 м в направлении на север и -6,6 м – на восток. Эти значения не превышают допустимых значений, установленных инструкцией ГКИНП (ГНТА)-02-036-02 – 17,5 м (0,7 мм в масштабе 1:25 000 для равнинных и всхолмленных районов). На рис. 4 приведена иллюстрация смещения контуров на левом и правом ортотрансформированных снимках ALOS до создания мозаики.

Оценка изобразительных качеств продукта ОРТОРЕГИОН осуществлялась визуально. Проведенные исследования показали, что мозаика воспринимается единым изображением одинаковой тональности, стыки смежных снимков не заметны (рис. 4). Кроме того, практически отсутствуют вертикальные полосы от соседних элементов линеек ПЗС съемочной камеры PRISM, что явно читалось на ранних снимках ALOS/PRISM в 2006 г.

На основании полученных результатов специалисты «Уралгеоинформ» сделали следующий вывод. Продукт ОРТОРЕГИОН можно рекомендовать в качестве фотоосновы для обновления топографических карт и изготовления другой картографической продукции масштаба 1:25 000 на равнинные и всхолмленные районы. Вопрос о его пригодности для картографирования горных районов требует дополнительных исследований. Ввиду автоматической и практически бесконтрольной технологии изготовления мозаики, для выявления случайных ошибок обработки космических снимков обязательна проверка качества ортомозаики по нескольким контрольным точкам и по расхождениям контуров на смежных снимках. Такая проверка может являться заключительным этапом при изготовлении ортомозаики либо входным контролем при покупке продукта ОРТОРЕГИОН различными организациями.



Рис. 4.
Согласование контуров на ортотрансформированных снимках ALOS до создания ортомозаики

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ООО «ТРИММ»

Из снимков, которые использовались для создания ОРТОРЕГИОН, специалистам компании «Тримм» для исследований было предоставлено два снимка на территорию г. Перми и его окрестностей (рис. 5) с 5% поперечным перекрытием и данные для пространственной привязки снимков к системе плоских

прямоугольных координат Гаусса-Крюгера (СК-42, 10 зона).

Целью работы, выполненной специалистами компании «Тримм», являлась оценка геометрической точности ортоснимков по отклонениям координат контрольных точек на снимках и местности.

В качестве опорных и контрольных точек использовались наземные опознаки, координаты которых измерялись с помощью двухчастотных приемников GPS в режиме «быстрая статика» с опорой на 5 пунктов триангуляции 2-3 класса городской геодезической сети. В общей сложности были измерены на снимке и местности и приняты в обработку координаты 12 опознаков на левом снимке и 67 опознаков на правом снимке (рис. 6).

В качестве математической модели связи системы координат снимка и системы плоских прямоугольных координат проекции Гаусса-Крюгера была принята модель конформного преобразования плоскости, описываемая двумя параметрами сдвига, углом поворота и коэффициентом масштаба (преобразование Гельмерта).

Математическая обработка результатов измерений выполнялась в соответствии с предположением, что разности между измеренными координатами точки на снимке и ее координатами, измеренными на местности, являются суммой двух составляющих: систематической погрешности, описываемой преобразованием Гельмерта, и аддитивной случайной погрешности с двумерным нормальным законом распределения вероятностей.

Оценка геометрической точности снимков осуществлялась в трех вариантах.

Без привязки по наземным опорным точкам. Привязка исходных растров выполнялась по координатам углов, предоставленных вместе со снимками. Все измеренные на



Рис. 5.
Географическое положение ортоснимков

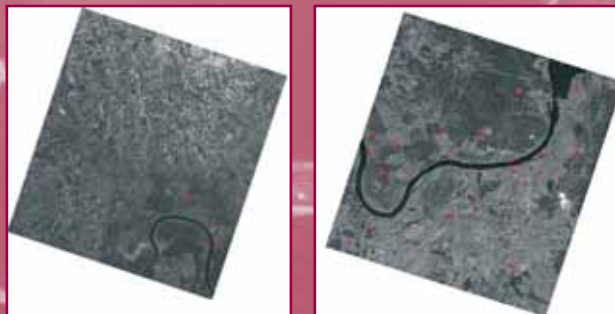


Рис. 6.
Схемы размещения опознаков на снимках



Рис. 7.
Расположение контрольных опознаков на ортомозаике (кресты голубого цвета – левый снимок, кресты красного цвета – правый снимок)

снимках опознаки рассматривались как контрольные точки. Средние погрешности положения контрольных точек составили 6,7-9,3 м, максимальная – 12,2 м. Основной вклад в ошибку вносит систематический сдвиг, вызванный неточностью пространственной привязки растров.

С привязкой по одной наземной опорной точке. Параметры систематического сдвига оценивались по координатам этой точки. Скорректированные координаты контрольных точек вычислялись с учетом найденных параметров сдвига. Средние погрешности положения контрольных точек составили 2,6-2,8 м, максимальная – 6,5 м. Число радиальных погрешностей более 5 м не превысило 5%.

С привязкой по нескольким наземным опорным точкам. По опорным опознакам оценивались четыре параметра преобразования Гельмерта и с полученными значениями параметров вычислялись координаты контрольных точек. Число наземных опорных точек (опознаков) принималось равным – 2, 4, 8 и 16. Средние погрешности положения контрольных точек, в зависимости от числа опорных точек, составили соответственно: 2,25, 2,02, 1,92 и 1,87 м.

Во всех вариантах максимальные радиальные погрешности контрольных точек не превысили 5 м. Как видно из приведенных выше данных, увеличение числа наземных опорных точек более четырех не приводит к существенному повышению точности.

Точность оценок масштаба и угла разворота преобразования Гельмерта и, следовательно, точность вычисления координат контрольных точек в значительной степени зависит от геометрии расположения наземных опорных точек на снимках. Опорные точки следует выбирать по периметру снимка и на максимальном расстоянии друг от друга.

Анализ параметров преобразования Гельмерта двух исходных ортоснимков показал, что они имеют практически одинаковый масштаб и взаимный угол разворота, близкий к нулю. Учитывая это обстоятельство, «сшивку» растров ортоснимков в единый растр ортомозаики выполнялась с учетом только взаимных сдвигов по строкам и столбцам растра, величины которых рассчитывались в двух вариантах:

- привязка углов исходных изображений в системе координат СК-42;
- по измерениям растровых координат связующих точек в зоне двойного перекрытия снимков.

В первом варианте разности геодезических координат углов левого и правого снимка преобразовывались в разности их растровых координат с использованием номинального значения размера пикселя на местности, равного 2,5 м.

Во втором варианте сдвиг левого снимка относительно правого определялся по разностям растровых координат связующих точек в зоне двойного перекрытия снимков. В качестве связующих точек выбирались четкие контуры на местности, уверенно опознающиеся на обоих снимках. В общей сложности были измерены координаты 119 точек, достаточно равномерно распределенных по площади двойного перекрытия снимков.

Оценка точности сшивки растров выполнялась по измеренным координатам двух групп опознаков

(12 на левом снимке, 15 – на правом), расположенных вблизи линии шивки (рис. 7). Средний сдвиг двух групп опознаков ортомозаики, «сшитой» по координатной привязке, составил 5,3 м, по связующим точкам – 1,9 м.

На основании выполненных исследований специалисты компании «Тримм» сделали вывод о достаточно высокой геометрической точности продукта ОРТОРЕГИОН, созданного по снимкам ALOS/PRISM на основе коэффициентов рациональных полиномов и цифровой модели рельефа SRTM.

ОРТОРЕГИОН может быть использован для составления и обновления топографических карт масштаба 1:25 000 без привлечения дополнительных данных.

Уточнение координатной привязки, масштаба и ориентировки ортоснимка даже по небольшому числу (4-8) опорных точек позволяет повысить его точность в 2-3 раза и использовать для составления и обновления топографических планов масштаба 1:10 000. Для подтверждения этого вывода на ортоснимке, откорректированном по 8 опознакам, были измерены 200 углов многоэтажных зданий с известными геодезическими координатами, снятыми с цифрового плана города масштаба 1:500. По результатам статистической обработки данных средняя квадратическая погрешность определения координат углов зданий по снимку составила 1,92 м,

средняя радиальная погрешность – 2,48 м, максимальная радиальная – 4,87 м, что вполне удовлетворяет требованиям к точности топографических планов масштаба 1:10 000.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ АО «КАЗГЕОКОСМОС»

Оценка графической точности продукта ОРТОРЕГИОН специалистами АО «Казгеокосмос» проводилась путем вычисления разностей координат контрольных точек на ортомозаике и на карте масштаба 1:10 000. Карта была создана по материалам аэросъемки камерой Vexcel UltraCamX с разрешением пикселя растрового изображения на земле 50 см и с использованием наземных опорных точек. Карта имела точность в плане порядка 20-25 см (среднее квадратичное отклонение).

Векторные слои карты совмещались с растровым изображением ортомозаики (рис. 8) в прямоугольной системе координат UTM WGS-84 (42 зона). В качестве контрольных точек выбирались четкие контуры векторного слоя карты, однозначно дешифрируемые на ортомозаике. Были измерены координаты (X и Y) этих точек в shp-файле карты и на растровом изображении ортомозаики, вычислены разности (Δx и Δy) и смещения Δ_s (см. таблицу).

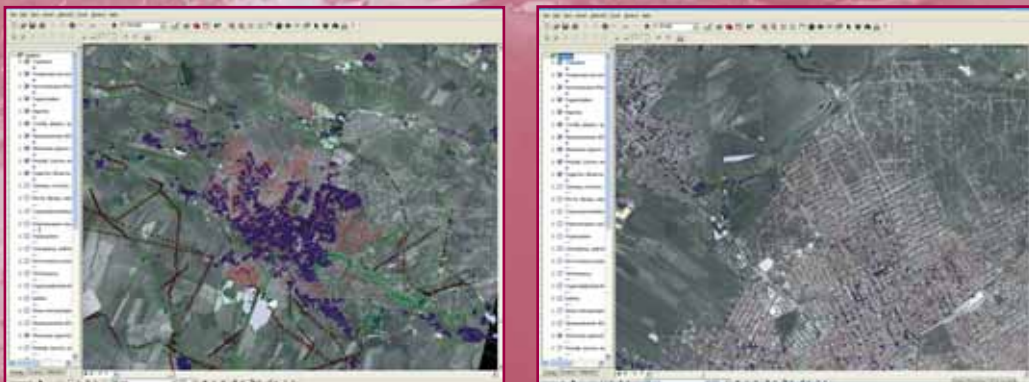


Рис. 8.
Наложение векторных слоев карты на растровое изображение ортофотомозаики

Результаты оценки точности геометрического положения контрольных точек

| № точки | Координаты в shp-файле, м | | Координаты раstra ортомозаики, м | | Δ, м | | Δ _{ср} , м |
|---------|---------------------------|------------|----------------------------------|------------|----------------|----------------|---------------------|
| | X | Y | X | Y | Δ _x | Δ _y | |
| 1 | 537435,85 | 4690877,0 | 537427,91 | 4690884,92 | 7,94 | -7,92 | 11,21 |
| 2 | 540855,46 | 4689963,84 | 540858,11 | 4689975,75 | -2,65 | -11,91 | 12,2 |
| 3 | 550728,41 | 4689598,72 | 550715,18 | 4689602,68 | 13,23 | -3,96 | 13,8 |
| 4 | 553272,38 | 4688872,43 | 553265,77 | 4688885,0 | 6,61 | -12,57 | 14,2 |
| 5 | 554613,65 | 4689636,44 | 554605,71 | 4689643,06 | 7,94 | -6,62 | 10,33 |
| 6 | 559631,04 | 4678915,61 | 559620,98 | 4678923,43 | 10,06 | -7,82 | 12,74 |
| 7 | 552658,01 | 4679791,71 | 552649,07 | 4679799,53 | 8,94 | -7,82 | 11,87 |
| 8 | 545598,92 | 4684658,31 | 545593,34 | 4684665,01 | 5,58 | -6,7 | 8,71 |
| 9 | 544539,56 | 4684914,21 | 544527,27 | 4684919,80 | 12,29 | -5,58 | 13,5 |
| 10 | 530933,90 | 4678523,32 | 530926,43 | 4678527,59 | 7,47 | -4,27 | 8,6 |
| 11 | 531710,8 | 4678466,76 | 531704,46 | 4678471,03 | 6,34 | -4,27 | 7,64 |
| 12 | 535286,19 | 4679689,84 | 535276,58 | 4679695,17 | 9,61 | -5,33 | 10,98 |
| 13 | 542306,62 | 4678131,64 | 542298,08 | 4678139,11 | 8,54 | -7,47 | 11,34 |
| 14 | 544388,85 | 4681115,7 | 544376,04 | 4681121,03 | 12,81 | -5,33 | 13,87 |
| 15 | 535805,21 | 4685785,13 | 535794,63 | 4685791,74 | 10,58 | -6,61 | 12,47 |

В результате оценки было определено среднее значение отклонения положения контрольных точек в плане, которое составило 11,14 м.

По мнению специалистов АО «Казгеокосмос» такая точность позволяет использовать ОРТОРЕГИОН при создании и обновлении карт масштабов от 1:25 000 (с использованием для ортокоррекции наземных опорных точек) до 1:100 000 (без использования для ортокоррекции наземных опорных точек), а также в качестве картографической основы при выполнении различных тематических ГИС-проектов.

Кроме того, было отмечено, что по ортомозаике уверенно дешифрируются объекты, подходящие по классификатору к масштабу 1:25 000, а детальность вполне соответствует масштабу 1:20 000.

Основываясь на результатах исследований, выполненных специалистами из организаций – партнеров компании «Совзонд», можно сделать следующую

вывод. По своим характеристикам продукт ОРТОРЕГИОН может служить основой для:

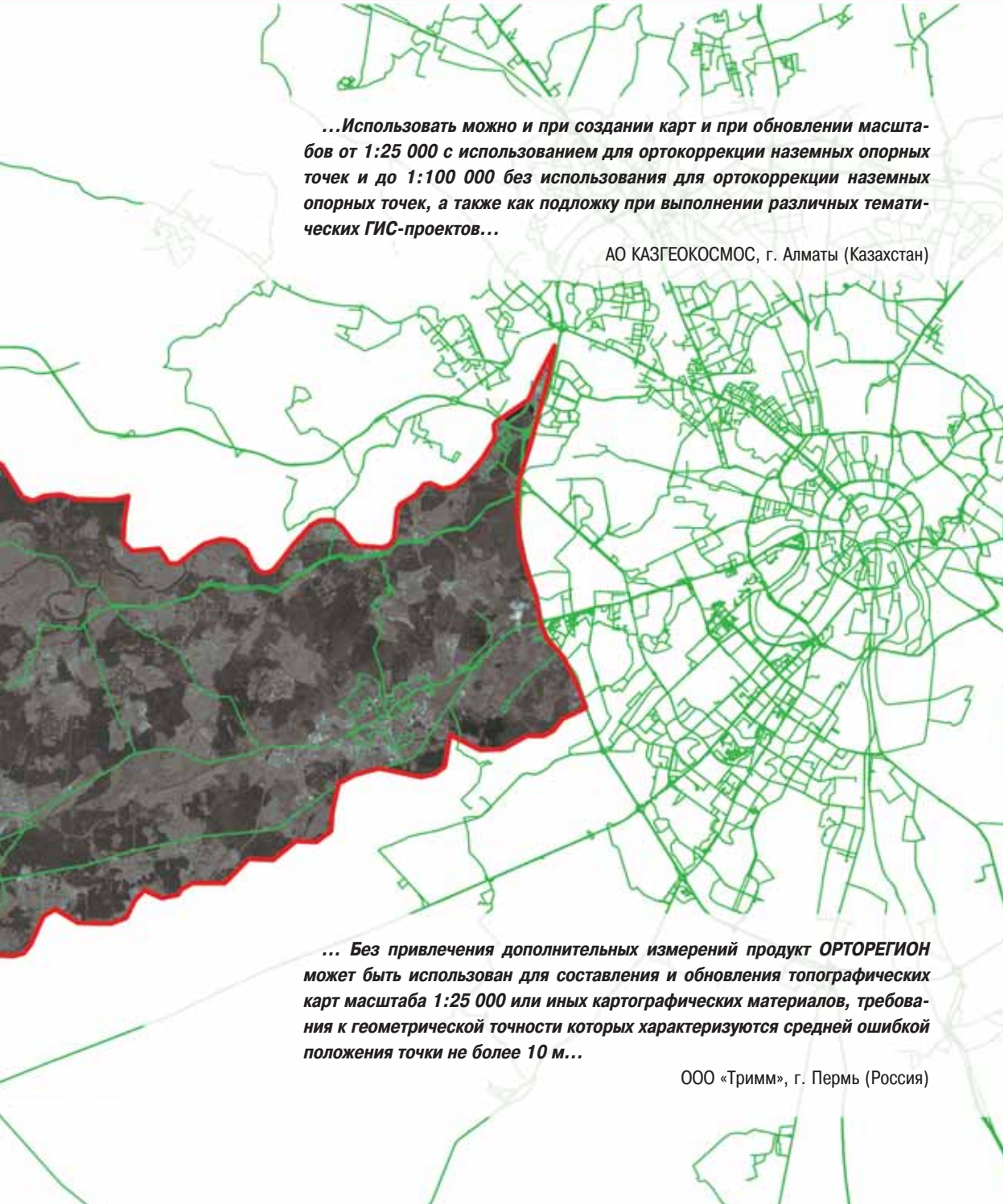
- обновления топографических карт масштаба 1:25 000-100 000;
- создания тематических и навигационных карт;
- создания web-приложений, использующих космические снимки.

В заключение отметим, что быстро развивающиеся технологии дистанционного зондирования все шире используются для решения различных прикладных задач. Реальностью стало получение точной пространственной информации без сбора наземных данных, что приводит к существенному сокращению финансовых и, что иногда более важно, временных затрат.

Более подробную информацию о продукте ОРТОРЕГИОН можно получить в компании «Совзонд» по тел: +7 (495) 988-75-11, 514-83-39 или e-mail: sovzond@sovzond.ru.



Одинцовский район, Московская область



...Использовать можно и при создании карт и при обновлении масштабов от 1:25 000 с использованием для ортокоррекции наземных опорных точек и до 1:100 000 без использования для ортокоррекции наземных опорных точек, а также как подложку при выполнении различных тематических ГИС-проектов...

АО КАЗГЕОКОСМОС, г. Алматы (Казахстан)

... Без привлечения дополнительных измерений продукт ОРТОРЕГИОН может быть использован для составления и обновления топографических карт масштаба 1:25 000 или иных картографических материалов, требования к геометрической точности которых характеризуются средней ошибкой положения точки не более 10 м...

ООО «Тримм», г. Пермь (Россия)