

# MONITORING OF TECHNICAL CONSTRUCTIONS USING TRUE ORTHO

*Anatoly P. Guk<sup>1</sup>, Larisa G. Evstratova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

## **Abstract**

The monitoring method of technical constructions using true ortho is described. This paper introduces alternative methodologies techniques for true-ortho photogeneration, using manual generation DEM and semi global DEM generation, comparative analysis of alternative methodologies for true Ortho photogeneration.

*Keywords: True Ortho, DEM, change detection, analysis of alternative methodologies*

# МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПО ОРТОФОТОПЛАНам ПОСТРОЕННЫМ ПО ТЕХНОЛОГИИ TRUE ORTHO

Гук А.П.<sup>(1)</sup>, Евстратова Л.Г.<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск

<sup>2</sup> Государственный университет по землеустройству, Москва

В статье рассматриваются современные методы построения истинных ортофотопланов, а также методы построения плотных цифровых моделей рельефа и цифровых моделей поверхностей, используемые в этих технологиях. Показаны преимущества использования пространственных моделей и истинных ортофотопланов при мониторинге технических сооружений. Приводятся примеры создания истинных ортофотопланов по крупномасштабным снимкам и их использование при мониторинге.

*Ключевые слова: истинные ортофотопланы, технология true ortho, суперплотные ЦМР и ЦМП, анализ методов качества.*

**Введение.** Ортофотопланы являются одним из востребованных продуктов различными органами власти, несет в себе как метрическую информацию, (т.е. соответствует определенной метрической точности), так и тематическую. Ортофотопланы используются для создания, обновления топографических и кадастровых карт масштабов 1:2 000 – 1:100 000, при дистанционном мониторинге. Для составления карт выявленных изменений путем обработки ортофотопланов, полученных на различные даты с использованием специальных процедур «выявление изменений» – Change Detection. Служат базовой пространственной основой для информационного обеспечения и обновления данных ГИС, основой для 3D моделирования поверхности и решения других задач.

Ключевым этапом получения ортофотопланов является создание цифровой модели рельефа (ЦМР) и цифровой модели поверхности (ЦМП). ЦМР и ЦМП применяются при оценке состояния природных объектов, антропогенного воздействия и общего геоэкологического состояния территории. В настоящее время, на основе таких моделей создаются технологии трехмерного моделирования объектов и территорий. Анализ получаемых характеристик по 3D моделям различных объектов местности природного и техногенного происхождения позволяет изучать структуру и свойства компонентов территорий, устанавливать взаимосвязи в их пространственном положении и геометрической структуре.

Для создания ортофотопланов, ЦМР, ЦМП и 3D моделей наиболее часто используются автоматизированные технологии по обработке материалов с высоким пространственным разрешением получаемых с самолетов, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), космических снимков высокого разрешения, мобильных лазерных систем.

В настоящей работе показаны примеры использования истинных ортофотопланов, построенных по технологии True Ortho для мониторинга технических сооружений.

**Ортотрансформирование снимков по технологии True Ortho.** Разработанные основные подходы и методы цифрового трансформирования и ортотрансформирования снимков с конца 70-х гг. прошлого века имели существенный недостаток, даже после выполнения ортотрансформирования остаются зоны, которые не соответствуют изображению местности. Это так называемые «мертвые зоны», т. е. зоны, которые не отображаются на ортотрансформированном снимке вследствие того, что снимок является центральной проекцией местности [1]. Особенно при создании ортофотопланов с изображением городских территорий с многоэтажной застройкой, эти здания закрывают многие детали объектов и ситуации: проезжие части улиц, тротуары, люки, крыльца, парковки, ограждения и даже более низкие здания. Кроме того, на изобразительное качество ортофотоплана будут влиять зоны, закрытые тенью от объекта. Позднее для устранения этих недостатков, были разработаны методы, позволяющие устранять «мертвые зоны» на ортотрансформированном снимке, получили название «True ortho», а такие ортофотопланы – «истинные», «реальные» ортофотопланы.

Сущность построения ортофотоплана по технологии True Ortho, заключается в определении положения «мертвых зон», далее нахождении на соседних снимках изображения, соответствующего «мертвой зоне» и заполнения ее на ортотрансформированном снимке этим изображением.

Определение положения «мертвых зон» может выполняться различными способами: автоматическом распознавании объектов с использованием единой пространственной суперплотной ЦМП и стереофотограмметрический – создание ЦМР и ЦМП с векторизацией объектов по стереомодели, построенной по паре снимков.

Появление мощных вычислительных способностей персональных компьютеров позволяют реализовать методы построения плотной цифровой модели рельефа и цифровых моделей поверхностей, по снимкам, не только для построения истинного ортофотоплана (алгоритмы True Ortho), и для получения принципиально нового продукта реалистичных измерительных 3D моделей.

**Методы построения суперплотных цифровых моделей рельефа и цифровых моделей поверхностей.** Важным этапом при построении ортофотопланов, измерительных 3D моделей стала разработка методов построения суперплотных ЦМР и ЦМП. На основе таких моделей получают реалистичные измерительные 3D-модели, которые являются принципиально новым фотограмметрическим продуктом. Сегодня, ведутся разработки алгоритмов по созданию плотных моделей по стереопаре снимков, это направление в фотограмметрии является одним из бурно развивающихся. Рассмотрим теоретические основы построения суперплотных цифровых моделей рельефа. В основе этих методов лежит идентификация всех пикселей левого снимка стереопары с соответствующими пикселями правого снимка. Это можно сделать с помощью различных методов, которые можно разделить на три большие группы: локальные, глобальные, полуглобальные методы [2].

Локальные методы отождествления точек, основаны на сравнении фрагментов изображений двух снимков вокруг интересующей точки, исходя из предположения, что продольные параллаксы для всех пикселей этих фрагментов не меняются. К таким методам относятся все площадные методы отождествления: корреляционный, метод наименьших квадратов и их модификации.

Данная группа методов дают низкий результат на участках снимков со слабовыраженной текстурой и городской территории (большие перепады высот, например, края крыш зданий).

Глобальные методы отождествления в отличие от локальных методов работают сразу со всеми пикселями стереоизображений, при этом при этом анализируются не только разности плотностей соответствующих пикселей, но и взаимосвязи между соседними пикселями. Трудоемкость этой группы методов является главным недостатком. Для устранения этого недостатка, предложен ряд методов, например, на основе Graph Cut и Belief propagation [3].

Широко реализованными в различных специализированных программных продуктах являются методы полуглобального отождествления (Semi-Global Matching), впервые был предложен Н. Hirsh Muller [4]. Суть метода заключается в том, чтобы каждому пикселю левого снимка стереопары  $P_1$  находится соответствующий пиксель на правом снимке  $P_2$ . Особенность метода состоит на применение трансформированных снимков, т.е. все соответствующие точки находятся вдоль базисных (эпиполярных) линий. Каждый пиксель левого снимка сравнивается со всеми пикселями второго снимка в пределах возможного изменения продольных параллаксов  $p^{max}$  и каждый раз вычисляется критерий соответствия  $C_{хур}$  как разность соответствующих плотностей пикселей  $D$ :

$$C_{хур} = D_{ху}^1 - D_{ру}^2 \quad (1)$$

По формуле (1) вычисляется  $C_{хур}$  для каждого пикселя левого снимка с координатами  $ху$  и всех пикселей, лежащих в строке с ординатой  $у$  на правом снимке в пределах возможных продольных параллаксов  $p = 1 \div p^{max}$ , а результат заносится в соответствующую ячейку куба с координатами  $х, у, p$ . Таким образом, формируется куб для каждого пикселя на левом снимке с возможными пикселями на правом и элементами куба являются значения критерия соответствия  $C_{хур}$ , анализируя которые находят минимальные значения для каждого пикселя. Кроме

того, анализируются связи между соседними пикселями по восьми направлениям вокруг данного пикселя. В результате для каждого пикселя левого снимка находится соответствующее значение продольного параллакса и, как следствие, пространственные координаты точек плотной модели [2].

**Результаты экспериментальных исследований.** При проведении экспериментов использовались материалы с изображением городской территории, полученные с самолета топографической цифровой аэросъемочной камерой Z/I Imaging DMC II.

Цель первого этапа эксперимента заключалась в исследовании точности построения истинных ортофотопланов по различным способам построения суперплотных ЦМР и ЦМП полученные по цифровым снимкам. Использовались два способа построения истинного ортофотоплана основанные на полуглобальном методе отождествления точек: автоматическом распознавании объектов с использованием единой пространственной ЦМП и фотограмметрической технологии – создание ЦМР и ЦМП с векторизацией объектов по стереомодели, построенной по паре снимков. Для этого использовались одинаковое количество снимков, опорных и контрольных точек. В результате было построено два истинных ортофотоплана на одну территорию масштаба 1: 2 000. Далее выполнялась оценка метрической и изобразительной точности ортофотопланов. Метрическая точность выполнялась сравнением планового положения опорных и контрольных точек по разностям значений плановых координат изображений этих точек на ортофотоплане и их значений, выбранных из соответствующих каталогов. В таблице приведены результаты оценки метрической точности.

Оценка точности построения истинных ортофотопланов.

Показатель точности, средние величины погрешностей	по суперплотной ЦМП	стереофотограмметрической
расхождений координат опорных точек – $m_x$ , м	0,53	0,42
расхождений координат опорных точек – $m_y$ , м	0,46	0,45
расхождений координат контрольных точек – $m_x$ , м	0,56	0,48
расхождений координат контрольных точек – $m_y$ , м	0,54	0,47

Анализируя полученные средние величины погрешностей можно сделать выводы, что получена априорная точность в обоих случаях, соответствует предъявляемым требованиям [5], это подтверждает работоспособность алгоритмов отождествления точек, принадлежащих поверхности земли.

Изобразительная точность истинных ортофотопланов заключалась в оценке достоверности определения «мертвых зон» и заполнении их изображением с соседних снимков, контроле линий соединения отдельных фрагментов цифрового ортофотоплана, а именно контролируется несовмещение контуров. На рис. 1 пример определения «мертвых зон» и заполнении их изображением по фотограмметрической технологии – создание ЦМР и ЦМП с векторизацией объектов по стереомодели.

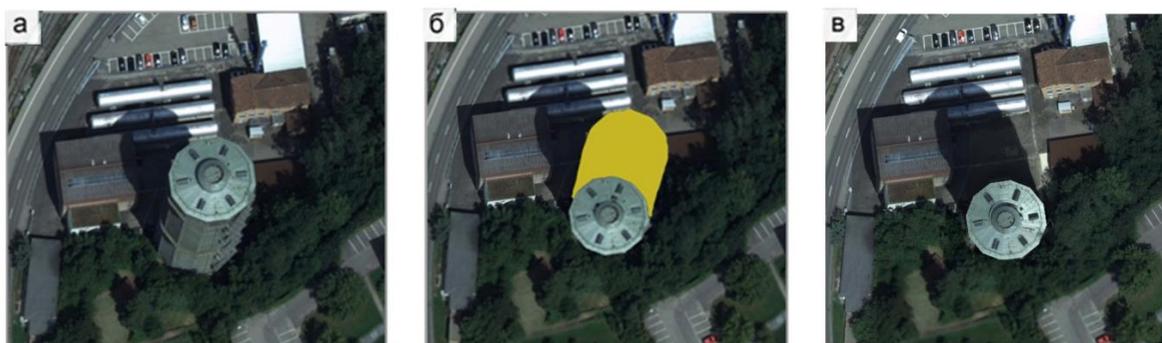


Рис. 1. Фрагменты изображений: а – исходный аэроснимок; б – "истинное" ортофотоизображение башни; желтым цветом показана автоматически выделенная "мертвая зона"; в – истинное ортофотоизображение башни с устраненной "мертвой зоной".

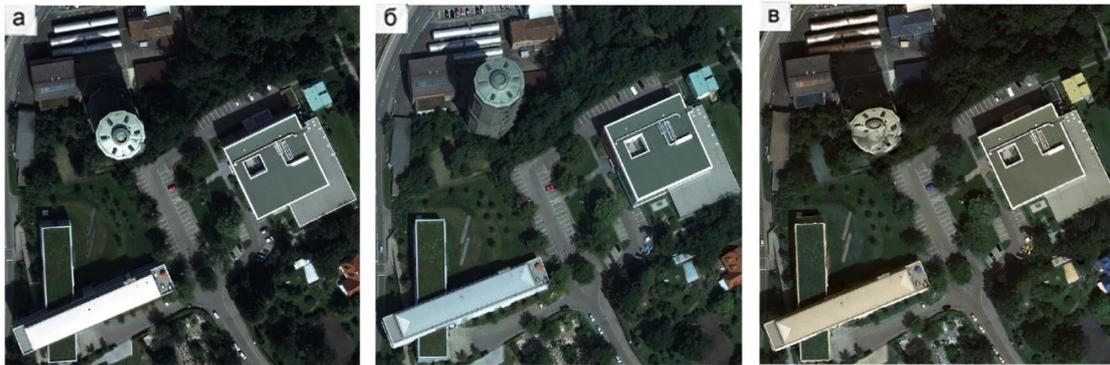


Рис. 2. Фрагменты изображений: а, б – исходные аэрофотоснимки; в – истинный ортофотоплан.

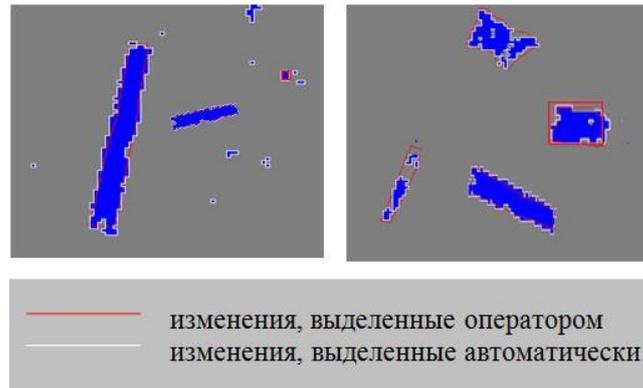


Рис. 3. Примеры выявления реальных изменений с помощью процедуры Change Detection.

На рис.2 представлен фрагмент истинного (реального) ортофотоплана, построенного по массиву точек, полученных, полуглобальным методом отождествления точек и автоматически распознавание объектов с использованием единой пространственной ЦМП.

Изобразительная точность истинных ортофотопланов по способу автоматического распознавания объектов с использованием единой суперплотной пространственной ЦМП дала более низкий результат, это вызвано в первую очередь недостаточной детальностью, которая определяется ограниченным шагом сетки, используемой для построения ЦМП. В работе использовались параметры максимально плотной ЦМП, соизмеримой с данными получаемыми при лазерном сканировании. Как следствие, возникает потребность больших вычислительных ресурсов, и большего времени для обработки. Тем не менее, на данном этапе развития алгоритмов и технических возможностей этот способ получения истинных ортофотопланов уступает по изобразительному качеству стереофотограмметрическому, когда оператором выполняется стереовекторизация объектов ситуации. То есть оператор делит единый объект на классы: контуры крыш и основания зданий, после чего строится суперплотная пространственная ЦМП, которая включает высоко детализированную 3D модель каждого объекта местности. Цифровая модель объектов включает описание принадлежности всех элементов, из которых состоят части объектов, например, контуры многоуровневых крыш, навесы, перекрытия, галереи и т.п. Недостаток стереофотограмметрического способа – большая трудоемкость.

Целью второго этапа экспериментальных работ состояла в исследовании возможности проведения мониторинга технических сооружений по ортофотопланам, построенных по технологии True Ortho. Данные исследования выполнялись с применением интерактивного и автоматизированного дешифрирования – Change Detection.

Процедура выявления изменений включает в себя два этапа: выявление участков, на которых произошли изменения, и определение, какие именно изменения произошли, т. е. определяются геометрические и качественные свойства [6].

После устранения «мертвых зон» на изображении могут быть отдешифрированы элементы объектов и новые объекты: крыльцо, навесы: люки, дорожная разметка, светофоры и

т.п. (рис.1 и 2). На рис. 3 показаны результаты поэлементного выявления изменений по ортофотоплану с помощью процедуры Change Detection. Тесты показали возможность по истинным ортофотопланам выявлять изменения, произошедшие на местности, вызванные либо деятельностью человека, либо природными явлениями. Для определения изменений был разработан метод, основанный на сравнении плотных моделей поверхностей территории и истинных ортофотопланов полученные на разные даты. Метод был апробирован с использованием разновременных аэрофотоснимков городской территории.

**Заключение.** В работе предложено применять ортофотопланы построенные по технологии True Ortho и приведены результаты исследований, подтверждающие возможность получения информации о состоянии и динамике развития различных природных и техногенных процессов, которая может быть использована для выработки управленческих решений, обеспечивающих устойчивое развитие территорий.

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- истинные ортофотопланы повышают достоверность выявления изменений, так как не имеют «мертвых зон» на изображении;
- достоверность автоматического алгоритма построения единой плотной пространственной ЦМП высока и может быть использована при мониторинге технических сооружений, но не достаточна для получения качественного изображения истинного ортофотоплана;
- обработка истинных ортофотопланов полученных на различные даты целесообразно применять при мониторинге технических сооружений и различных природных, техногенных процессов.

Следует отметить, разработка алгоритмов автоматического распознавания объектов с использованием плотных моделей местности, объектов является новым этапом развития технологий 3D моделирования и возникает задача дешифрирования этого массива точек.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Евстратова Л.Г. Создание «реальных» ортофотопланов (True Ortho) по аэрофотоснимкам с использованием программного комплекса INPHO // Геодезия и картография. 2011. № 3. С. 29-32.
- [2] Чибуничев А.Г., Гук А.П. Фотограмметрия: вчера, сегодня, завтра. // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2016. № 2. С. 3-9.
- [3] Yedidia J.S., Freeman W.T., Weiss Y. Understanding belief propagation and its generalizations, Exploring artificial intelligence in new millennium // Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA. 2003. PP. 239-269.
- [4] Hirschmuller H. Accurate and efficient stereo processing by semi-global matching and mutual information // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, California, USA, 2005. V. 2. P. 807-814.
- [5] Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02; введ. 01.08.02.: М.: ЦНИИГАиК, 2002. 100 с.
- [6] Гук А.П., Евстратова Л.Г., Алферова А.С. Использование структурных признаков изображений типовых участков местности для выявления изменений состояния территорий по космическим снимкам высокого разрешения // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2009. № 6. С. 52-56.