

(Казахская головная архитектурно-строительная академия, Алматы, Республика
Казахстан)

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА. СОЗДАНИЕ ОРТОФОТОПЛАНА И ЦМР

Аннотация. В данной статье рассматривается технология способа фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки и методика создания ортофотоплана и цифровой модели местности.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, геодезия, топографо-геодезические работы, плано-высотное обоснование, фотограмметрия, ортофотоплан, цифровая модель местности, землеустройство, топографические карты и планы, картография.

Тірек сөздер: аэрофототүсірук, геодезия, топографиялық-геодезиялық жұмыстар, жоспарлы-биіктікті негіздеу, фотограмметрия, ортофотоплан, аймақтың цифрлық қалыбы, қоныстандыру, топографиялық карталар мен жоспарлар, картография.

Keywords: air photography, geodesy, land works, plano-vysotnoe justification, fotogrammetriya, orthophotomap, digital model of the district, land management, topographic maps and plans, cartography.

В рамках реализации Указа Президента Республики Казахстан «Об изменении границ города Алматы» одной из значимых работ является создание проекта на выполнение топографо-геодезических работ. Натурно-экспериментальные объекты г. Алматы, Талгарский район и Карасайский район Алматинской области РК представляют собой сложный рельеф, средней сложности рельеф и пересеченную степную местность.

Рассмотрим технологию фотограмметрической обработки и методик создания ортофотоплана и ЦМР (цифровая модель рельефа).

Обработка данных ведется в следующей последовательности:

- получение исходных данных дистанционного зондирования;
- создание блока (фотограмметрического проекта);
- измерение связующих точек и точек плано-высотного обоснования;
- уравнивание блока;
- создание ЦМР;
- создание и нарезка ортофотоплана;
- Проверка качества.

Исходными данными при создании проекта служат:

- материалы аэрофотосъемки;
- паспортные данные камеры и элементы внешнего ориентирования снимков;
- каталог опорных и контрольных точек в местной системе координат и высот.

Создание блока. Для обработки данных используется цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС) Photomod 5.2. Данный программный комплекс позволяет производить весь

цикл фотограм-метрических работ вплоть до получения цифровых моделей рельефа и ортофотоплана. Для фото-грамметрической обработки материалов аэрофотосъемки был создан фотограмметрический блок, на рисунке 1 представлен общий вид блока. Общее количество использованных снимков – 65.

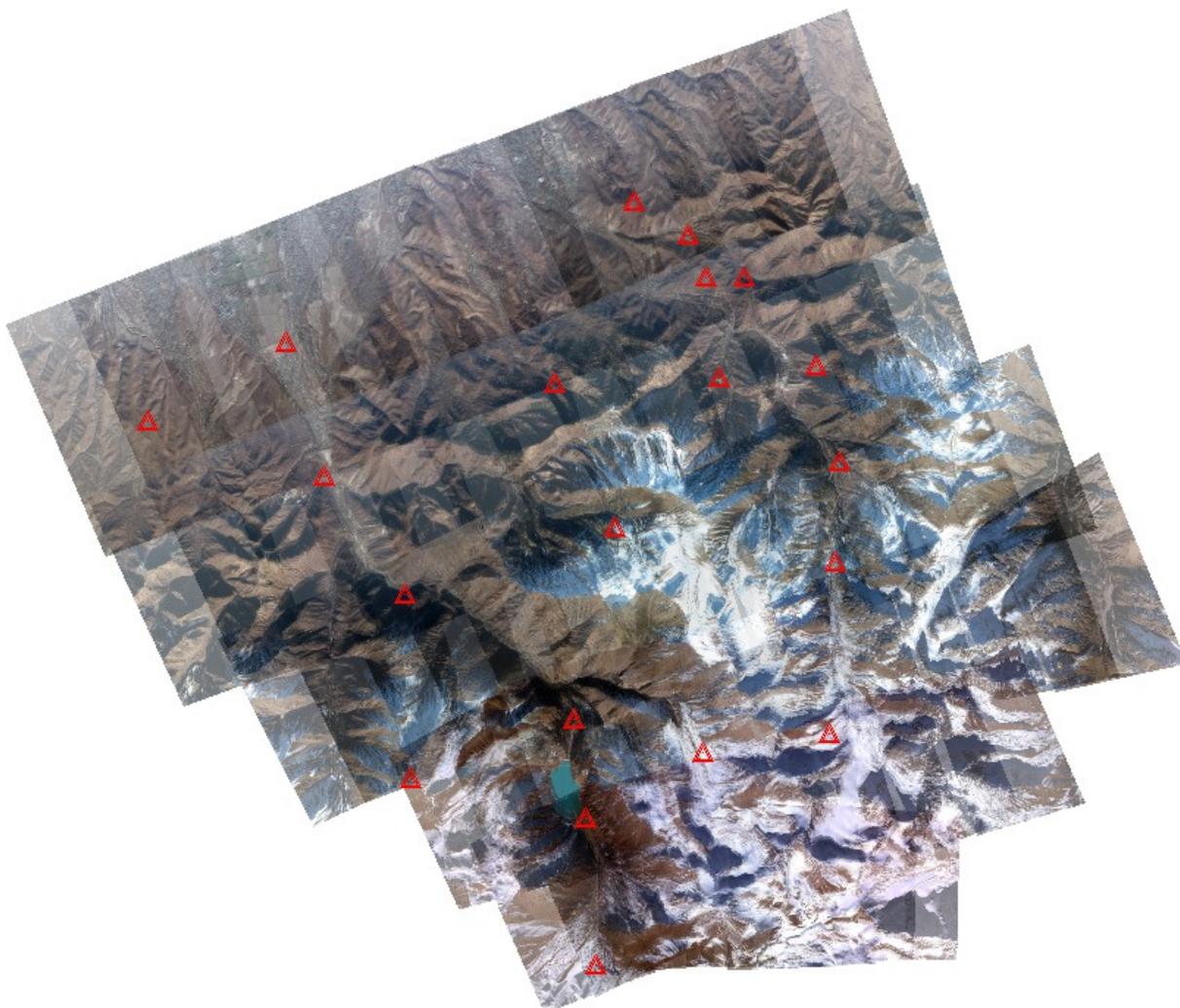


Рисунок 1 – Накладной монтаж снимков фотограмметрического проекта в Photomod Montage Desktop.

Треугольниками обозначены точки планово-высотного обоснования

Измерение связующих точек и точек планово-высотного обоснования. Связующие точки устанавливают жесткие связи между соседними снимками, объединяя их в единую модель. Точки планово-высотного обоснования делят на опорные, служащие для привязки полученной модели к местности и уточнения бортовых данных внешнего ориентирования, и контрольные, необходимые для проверки качества выполнения привязки. Измерение и редактирование опорных и связующих точек проводят в модуле Photomod AT. Автоматическое измерение точек было проведено в распределенной обработке с использованием четырех четырехъядерных компьютеров. В дальнейшем производилось ручное редактирование точек для обеспечения точности измерения и равно-мерности распределения точек. К связующим точкам выставлялись следующие требования:

- количество:
 - внутри стереопары – не менее 18;
 - между стереопарами – не менее 6;
- точность:
 - коэффициент корреляции – 0,9 и выше;
 - поперечный параллакс в стереопаре – 0,002 мм (СКО);
 - ошибки по триплетам: E_{xy} – 0.005 мм, E_z – 0.015 мм (СКО).

Данные значения выбраны с учетом Инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов [1], однако предъявляют более высокие требования, чем в Инструкции.

Ниже (рисунок 2) приведена схема блока со связующими точками. Желтыми точками отмечены точки в стереопарах, зелеными – точки в триплетях, голубыми – межмаршрутные. Общее количество измеренных связующих точек составило 2517 точек. Опорные точки измерялись на снимках оператором в стереорежиме. По координатам каждого креста находился соответствующий снимок, и наносилась метка на кадр (рисунок 3). Все опорные точки участвовали в едином блоке фотограмметрического уравнивания.

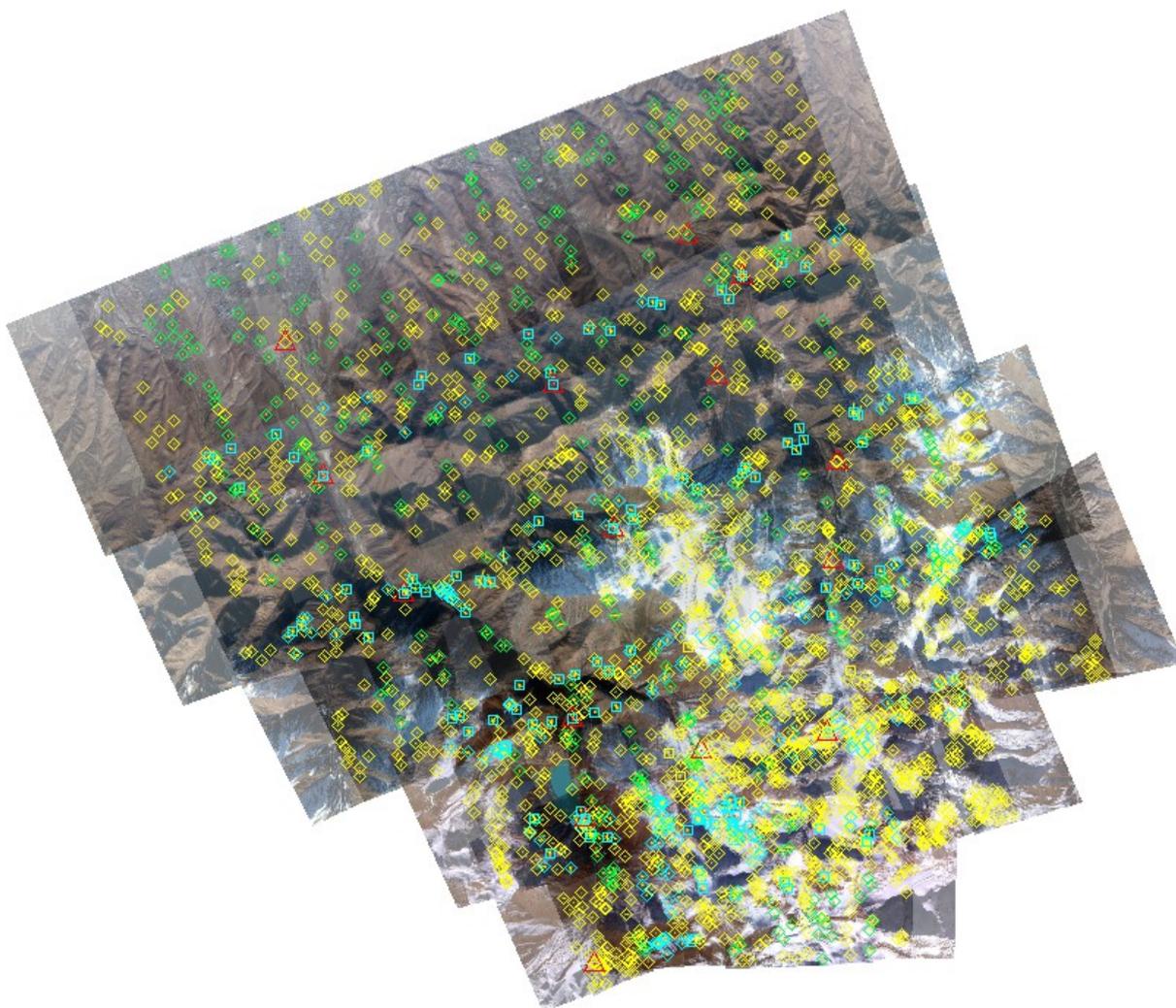


Рисунок 2 – Связующие точки

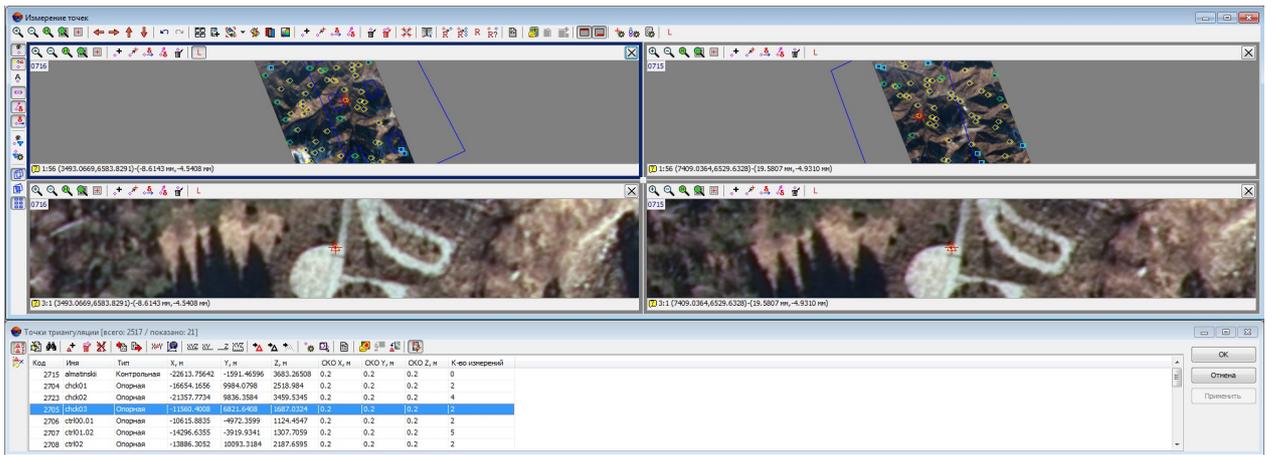


Рисунок 3 – Измерение опорных точек в окне Photomod AT

Уравнивание блока, или аэотриангуляция, проводилась с использованием модуля Photomod Solver A (рисунок 4). Уравнивание проводилось методом связей, являющимся наиболее строгим методом уравнивания. Результаты уравнивания оценивались по нескольким параметрам: по оста-точным расхождениям фотограмметрических и геодезических координат на опорных и контроль-ных точках, а также по разностям бортовых данных и фотограмметрических значений для центров проекции. Контролируются как средние, так и максимальные значения полученных расхождений.

В результате проведенного уравнивания были получены следующие результаты:

Ошибки по опорным точкам

| N | $X_{cp}-X_{г}$ | $Y_{cp}-Y_{г}$ | $Z_{cp}-Z_{г}$ | E_{xy} (метр) |
|-----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Допуск: | 0.400 | 0.400 | 0.700 | 0.400 |
| chck01 | 0.102 | 0.086 | 0.000 | 0.134 |
| chck02 | -0.219 | 0.016 | -0.044 | 0.220 |
| chck03 | 0.043 | 0.079 | -0.027 | 0.090 |
| ctrl00.01 | -0.081 | 0.091 | -0.001 | 0.122 |
| ctrl01.02 | -0.112 | -0.116 | -0.151 | 0.161 |
| ctrl02 | 0.075 | -0.049 | 0.013 | 0.090 |
| ctrl06.02 | 0.149 | -0.075 | -0.069 | 0.167 |
| ctrl07.02 | 0.029 | -0.097 | -0.062 | 0.102 |
| ctrl08.03 | -0.178 | -0.176 | 0.075 | 0.250 |
| ctrl09.03 | -0.122 | 0.258 | -0.145 | 0.285 |
| ctrl10.02 | 0.256 | -0.005 | 0.078 | 0.256 |

| | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|-------|
| ctrl11 | 0.091 | 0.098 | -0.370 | 0.134 |
| ctrl12.01 | 0.267 | -0.021 | 0.152 | 0.267 |
| ctrl14.03 | -0.101 | 0.240 | -0.025 | 0.260 |
| ctrl15 | -0.000 | -0.333 | 0.305 | 0.333 |
| gugk | -0.197 | 0.004 | -0.084 | 0.197 |
| Средний модуль | 0.126 | 0.109 | 0.100 | 0.192 |
| СКО | 0.148 | 0.143 | 0.143 | 0.206 |
| Максимум | 0.267 | 0.333 | 0.370 | 0.333 |
| Всего точек (разностей) 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

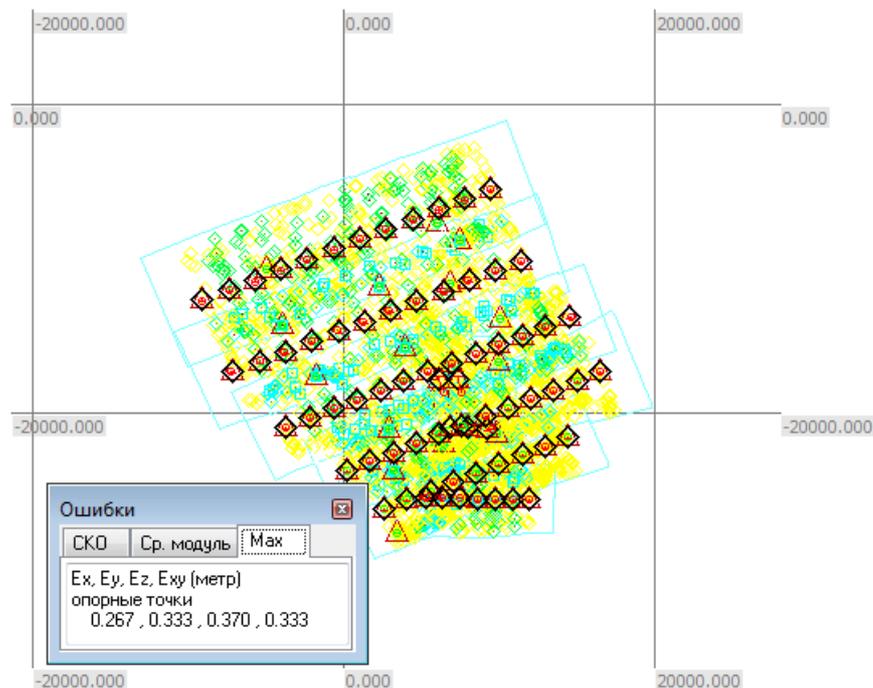


Рисунок 4 – Вид окна Photomod Solver A с результатами уравнивания

Требования к точности уравнивания были установлены исходя из Инструкции по фотограмметрическим работам с учетом требуемого масштаба карты. Так средняя ошибка по опорным точкам в плане для планов масштаба 1:2000 не должна превышать 0,4 м (0.2 мм в масштабе плана). Средняя точность по высоте не должна превышать 1/3 высоты сечения, которая в горной местности для планов масштаба 1:2000 равняется 2 м. Как видно из отчета, максимальные ошибки в плане и по высоте на опорных точках не превышают и средних значений, установленных Инструкцией.

Таким образом, результаты уравнивания показывают, что измерения проведены корректно, и можно приступать к последующим этапам фотограмметрической обработки – созданию цифровой модели рельефа и ортофотопланов.

Создание цифровой модели рельефа. Цифровая модель рельефа создавалась в модуле PHOTOMOD DTM в полуавтоматическом режиме. Цифровая модель рельефа создается на основе пикетов, измеряемых автоматически по стереомоделям. Алгоритм поиска пикетов создает вокруг каждого узла сетки с заданным шагом пикет в точке с наилучшей корреляцией. Затем все вершины включаются в нерегулярную триангуляционную решетку TIN, создаваемую на основе триангуляции Делоне (рисунок 5).

На основе TIN методом интерполяции создается матрица высот с заданным шагом (рисунок 6). Для нужд данного проекта была создана матрица высот с шагом 1 м.

Так как измерение пикетов производится автоматически, возникают ошибки в модели рельефа. Эти ошибки бывают двух типов – результат неверной работы коррелятора и точки, измеренные на объектах местности, не относящихся к рельефу:

– Первые возникают в тенях и на движущихся объектах, и представляют собой резкие всплески и пики.

– Ко вторым относятся точки, измеренные на высокой растительности, а также на зданиях и прочих антропогенных объектах.

Для удаления этих ошибок производится проверка ЦМР операторами. Проверка осуществляется в стереорежиме на специализированных стереомониторах PLANAR. При этом проверяется не только корректность высоты пикетов, но и правильность описания рельефа этими пикетами. В случае необходимости пикеты корректируются, добавляются или удаляются вручную. Кроме того были проведены структурные линии по объектам рельефа искусственного (дороги, дамбы), и естественного (линии водоразделов, тальвеги и пр.) происхождения (рисунок 7).



Рисунок 5 – Фрагмент сетки TIN



Рисунок 6 – Фрагмент матрицы высот в окне PHOTOMOD Montage Desktop.

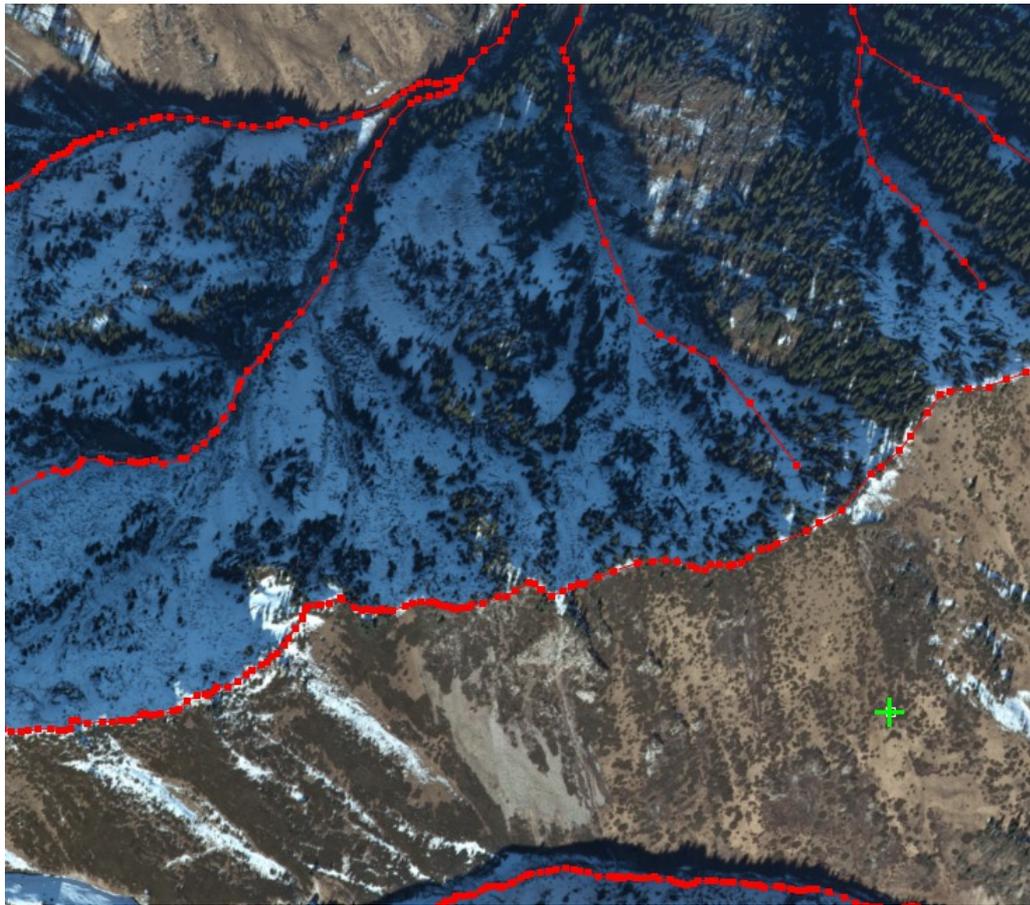


Рисунок 7 –Структурные линии в окне Photomod Montage Desktop

Для нанесения на топографический план средствами Photomod на основе матрицы высот были созданы горизонтали с сечением 2 м (рисунок 8).

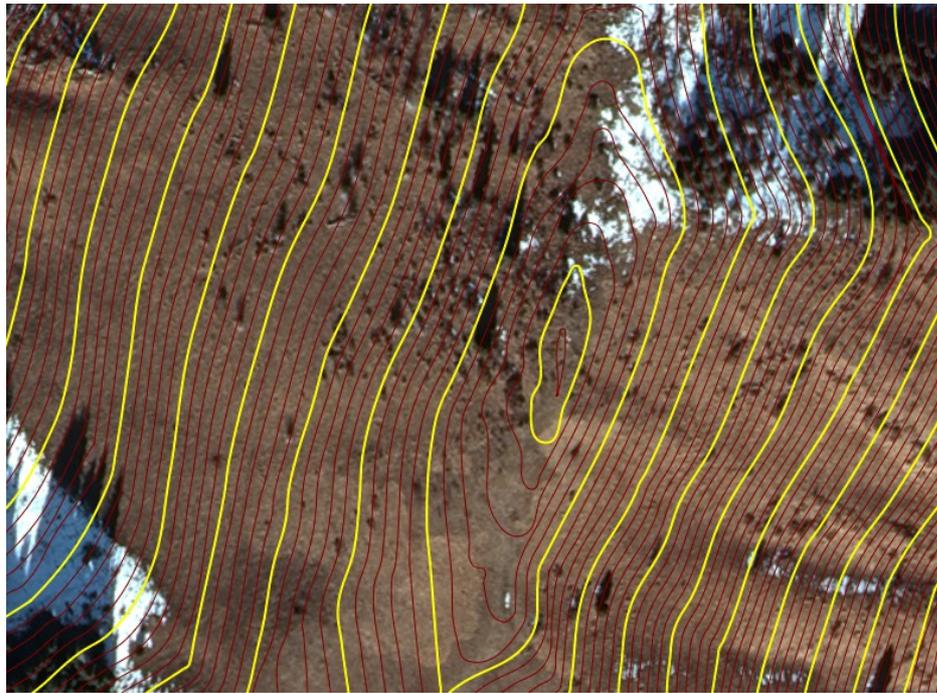


Рисунок 8 – Фрагмент горизонталей

Всего было создано около 171 746 пикетов. Также для топографического плана были подготовлены отметки высот со средним расстоянием между пикетами в 70 м, что обеспечивало необходимую плотность для планов масштаба 1:2000 (8-10 точек на квадратный дециметр плана).

Создание ортофотоплана. Перед созданием единой мозаики, каждый снимок был ортонормирован с использованием модуля Photomod Mosaic. Для ортонормирования снимков была использована цифровая матрица высот с разрешением 1 м. Затем ортонормированные снимки были загружены в модуль Photomod GeoMosaic для создания бесшовной мозаики и разделения на листы. Рисунок 9 показывает общий вид проекта мозаики.

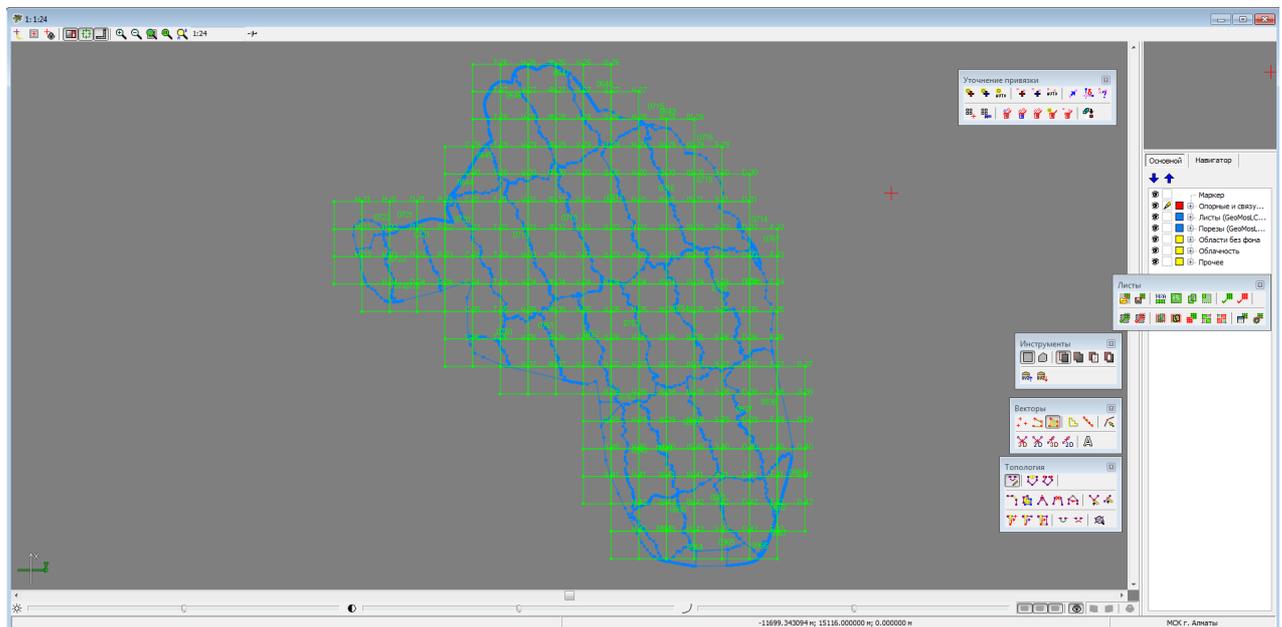


Рисунок 9 – Проект создания бесшовной мозаики в GeoMosaic.
Синие полигоны – линии порезов, зеленые – листы ортофотоплана

Линии порезов определяют области каждого снимка, которые будут включены в единую мозаику (рисунок 10). Эти линии созданы с таким расчетом, чтобы мозаика состояла по возможности из областей снимков расположенных ближе к надиру. Также учитывались различные объекты на снимках, в частности:

- высотные объекты не должны делиться по снимкам;
- дороги должны быть пересечены по возможности перпендикулярно к их оси и т.п.
- линии порезов по возможности не должны пересекать трубопроводы и прочие технологи-ческие объекты.

Линии порезов были построены автоматически. Для всего блока в качестве первого приближения строится диаграмма Вороного, выделяющая на каждом снимке наиболее надирные области. Затем линии порезов автоматически корректируются алгоритмом, учитывающим контуры объектов, неоднородность изображений и их яркость. Окончательное редактирование линий порезов осуществляется оператором с учетом изложенных выше требований.

Так как снимки различаются между собой по тону, необходимо провести цветовое выравнивание с использованием алгоритмов локального (между соседними снимками) и глобального (на все снимки) цветового выравнивания.

Глобальное выравнивание приводит яркости и контрастности всех снимков к яркости и контрастности какого-либо снимка, либо к среднему значению по всем изображениям, входящим в мозаику. Последний параметр и был использован для данного проекта. Локальное выравнивание работает на соприкасающихся участках соседних снимков, обеспечивая бесшовный переход между снимками. Действие локального выравнивания максимально на линиях порезов и убывает к центру снимка.



Рисунок 10 – Предварительный просмотр с линиями порезов

Кроме того, проводится сглаживание линии совмещения снимков, заключающееся в смешивании значений пикселей соседних снимков путем наложения градиентного эффекта прозрачности (рисунок 11).

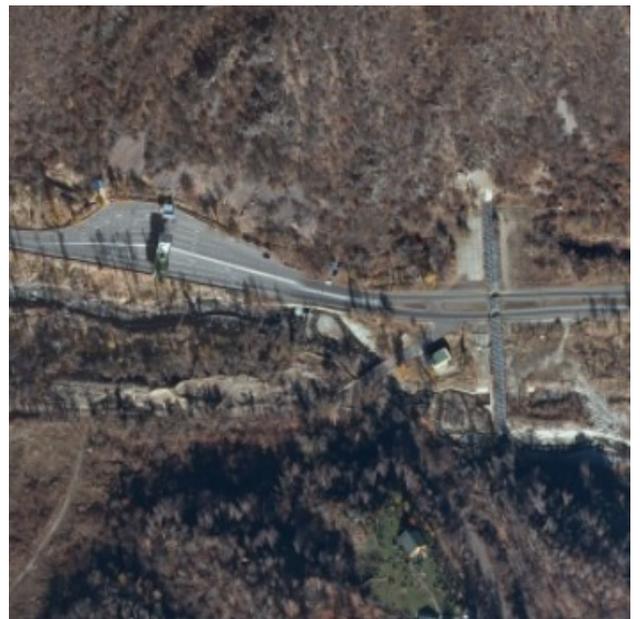


Рисунок 11 – Ортофотоплан без цветового выравнивания и с цветовым выравниванием

Ортофотоплан нарезается на листы размером 1000x1000 м, каждый лист имеет уникальное имя согласно номенклатуре планов масштаба 1:2000 для проекта (город Алматы). Всего было создано 187 листов мозаики.

Результаты выполненных работ по фотограмметрической обработке. Контроль качества выходной продукции проводится по следующим критериям:

- соответствие технических характеристик данных требованиям проекта;
- покрытие требуемой территории;
- корректность отображения объектов на снимках;
- максимально незаметные линии совмещения кадров;
- пространственная точность созданных данных.

Контроль качества цифровой модели рельефа, созданного фотограмметрическим способом, показывает, что данные покрывают всю контрактную территорию и корректно передают информацию о рельефе.

Контроль качества ортофотоплана. Рассматриваемая территория покрыта полностью. Ниже (рисунок 12) показан ортофотоплан и область исследуемого объекта (желтый полигон). Орто-фотоплан обрезается по исследуемой территории объекта с запасом в 500 м на случай значительных изменений в конфигурации присоединяемой к городу Алматы местности.

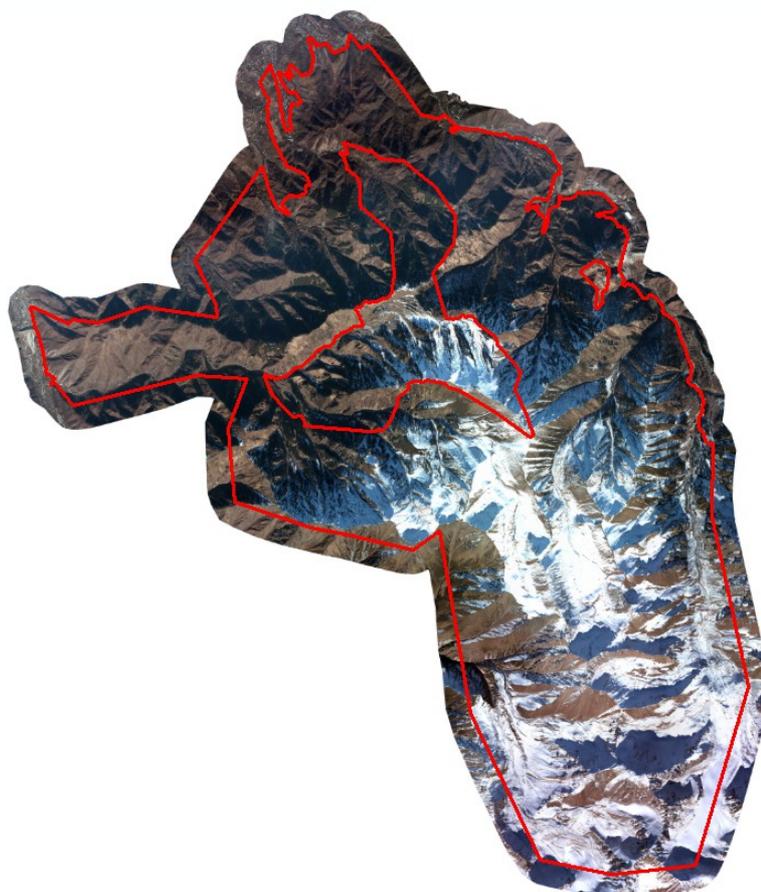


Рисунок 12 – Ортофотоплан и границы заданной территории съемки

Оценка точности и корректности линии порезов проводится с особым вниманием на технологических объектах и объектах дорожной сети. На ортофотоплане не были обнаружены раздвоения объектов, расхождения высоких зданий и сооружений, также как и пустые места между соседними снимками.

Локальное цветовое выравнивание выполнено с удовлетворительным качеством, создав неза-метные переходы между снимками вдоль линий порезов.

Таким образом, технология способа фотограмметрической обработки материалов аэрофо-тосъемки и методика создания ортофотоплана и ЦМР является актуальным и экономически целесообразным для рассматриваемого проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1 ГКИНП (ОНТА)-05-005-07 Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топогра-фических карт и планов. – Астана: АУЗР РК, 2008.

2 Оспанов Б.С. Системная изотопографическая модель сложнорельефной местности // Труды международной научной технической конференции «Наука и образование». – Караганда, 2003. – С. 121-125.

3 Оспанов Б.С., Оспанов С.Р. Методы оценки плотности точек измерений геолого-геодезических параметров // Вестник КазГАСА. – 2004. – № 4. – С. 15-17.

4 Оспанов Б.С., Оспанов С.Р. К проблеме изображении земной поверхности различной сложности // Вестник КазГАСА. – 2004. – № 4. – С. 18-20.

5 Оспанов С.Р., Оспанов Б.С. Корреляционные модели формирования плотности пикетов в зависимости от морфометрических показателей топоповерхности // Вестник КазГАСА. – 2004. – № 5. – С. 13-19.

6 Курманкожаев А., Оспанов С.Р., Оспанов Б.С. Методика комплексно-прогнозной оценки густоты съёмочных пикетов по местности // Труды международной научной конференции «Наука и образование-ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030». – Караганда, 2005. – С. 99-111.

7 Оспанов С.Р., Курманкожаев А., Оспанов Б.С. Методика определения высоты сечения рельефа по топогра-фическим поверхностям // Новости науки Казахстана. – 2005. – № 2. – С. 109-117.

REFERENCES

1 GKINP (ONTA)-05-005-07 Instrukcija po fotogrammetricheskim rabotam pri sozdanii cifrovyh topograficheskikh kart i planov. Astana: AUZR RK, 2008.

2 Ospanov B.S. Sistemnaja izotopograficheskaja model' slozhnorel'efnoj mestnosti // Trudy mezhdunarodnoj nauchnoj tehnicheckoj konferencii «Nauka i obrazovanie». Karaganda, 2003. S. 121-125.

3 Ospanov B.S., Ospanov S.R. Metody ocenki plotnosti toчек izmerenij geologo-geodezicheskikh parametrov // Vestnik KazGASA. 2004. № 4. S. 15-17.

4 Ospanov B.S., Ospanov S.R. K probleme izobrazhenii zemnoj poverhnosti razlichnoj slozhnosti // Vestnik KazGASA. 2004. № 4. S. 18-20.

5 Ospanov S.R., Ospanov B.S. Korreljacionnye modeli formirovaniya plotnosti piketov v zavisimosti ot morfometricheskikh pokazatelej topopoverhnosti // Vestnik KazGASA. 2004. № 5. S. 13-19.

6 Kurmankozhaev A., Ospanov S.R., Ospanov B.S. Metodika kompleksno-prognoznoj ocenki gustoty s#emochnyh piketov po mestnosti // Trudy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Nauka i obrazovanie-vedushhij faktor strategii «Kazahstan-2030». Karaganda, 2005. S. 99-111.

7 Ospanov S.R., Kurmankozhaev A., Ospanov B.S. Metodika opredelenija vysoty sechenija rel'efa po topograficheskim poverhnostjam // Novosti nauki Kazahstana. 2005. № 2. S. 109-117.

Резюме

Б. С. Оспанов

(Казакская головная архитектурно-строительная академия, Алматы, Қазақстан Республикасы)

ФОТОГРАММЕТРИЯЛЫҚ ӨНДЕУ. ОРТОФОТОПЛАН ЖӘНЕ ЦИФРЛЫҚ ҚАЛЫБЫН ҚҰРУ

Бұл қалада аэрофототүсірудің материалды фотограмметриялық өңдеу тәсілінің технологиясы және аймақтың ортофотопланы мен цифрлық қалыбын құру әдісі қарастырылады.

Тірек сөздер: аэрофототүсіру, геодезия, топографиялық-геодезиялық жұмыстар, жоспарлы-бийіктікті негіздеу, фотограмметрия, ортофотоплан, аймақтың цифрлық қалыбы, қоныстандыру, топографиялық карталар мен жоспарлар, картография.

Summary

B. S. Ospanov

(Kazakh leading Academy of architecture and construction, Almaty, Republic of Kazakhstan)

PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING. CREATION OF ORTHOPHOTO AND DEM

In this article the technology of a way of fotogrammetrichesky processing of materials of air photography and a technique of creation of the orthophotomap and digital model of the district is considered.

Keywords: air photography, geodesy, land works, plano-vysotnoe justification, fotogrammetriya, orthopho-tomap, digital model of the district, land management, topographic maps and plans, cartography.

Поступила 10.10.2013 г.