

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ АЭРОФОТОГРАММЕТРИИ

Цай Цзычжо

lucien@njust.edu.cn

М.Б. Пименова

pimenova@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Аэрофотограмметрия является значимой частью научно-технической дисциплины, называемой фотограмметрией. По этапам исторического развития фотограмметрию можно подразделить на аналоговую, аналитическую и цифровую фотограмметрию. Однако аэрофотограмметрия характеризуется более сложным путем развития, большим количеством вовлеченных дисциплин и обилием цифровых продуктов. В статье приведен обзор этапов становления аэрофотограмметрии, основанный на исследовании технологий, характеристик, требуемого оборудования и рабочих процессов, осуществляемых в рамках каждой стадии. Исследованы рабочие процессы каждого вида фотограмметрии. Рассмотрены классы аэрофотограмметрического отображения подстилающей поверхности, используемые в современных прикладных приложениях. Указаны возможные пути дальнейшего совершенствования аэрофотограмметрических технологий.

Ключевые слова

Аэрофотограмметрия, аналоговая фотограмметрия, аналитическая фотограмметрия, цифровая фотограмметрия, цифровая модель рельефа, цифровая ортофотокарта, цифровая линейная графика, цифровая растровая графика

Поступила в редакцию 24.11.2022

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Введение. Аэрофотограмметрия — это составляющая фотограмметрии, в которой происходит непрерывное фотографирование Земли и получение информации о подстилающей поверхности с помощью аэрофотоаппаратов, переносимых воздушными судами (самолетами, вертолетами, дронами и др.). Пройдя три фазы развития, аэрофотограмметрическая техника в настоящее время позволяет получать четкие, достоверные изображения местности и объектов, сделанные с помощью летательных аппаратов, и создавать на их основе надежную и систематизированную базу данных [1, 2].

В данной статье рассмотрены три основных этапа развития аэрофотограмметрии и задействованные аппаратные средства. Статья завершается обсуждением областей применения и будущих тенденций развития аэрофотограмметрической технологии.

Этапы развития аэрофотограмметрии. По степени развития фотограмметрию можно подразделить на аналоговую, аналитическую и цифровую [3].

Аэрофотограмметрия как составная часть области фотограмметрии также проходит указанный ранее путь развития. Рассмотрим характеристики, методы

и характерные аппаратные средства аэрофотограмметрии в аналоговой, аналитической и цифровой фазах. Основные характеристики каждого этапа приведены в таблице [4].

Ключевые особенности трех этапов аэрофотограмметрии

Этап	Период	Проекция	Устройство	Управление
Аналоговый	1851–1960.	Физическая	Аналоговое	Искусственное
Аналитический	1950–1980	Цифровая	Аналитическое	Компьютерное
Цифровой	1970 – наст. время	Цифровая	Аналитическое	Компьютерное

Стадия просветления. На этой стадии зарождалась аэрофотограмметрия, люди в основном использовали фотограмметрию для восстановления пространственного положения и информации об объектах с помощью изображений. Данное время характеризуется отсутствием строгой математической основы и при этом высокой точностью измерений.

В 1849 г. во Франции астроном-наблюдатель, геодезист и картограф Эме Лаусдат предложил метод, основанный на фотограмметрии, и доказал возможность его практической реализации [5]. На рис. 1 показан чертеж участка Венсенского замка с графическим изображением линий визирования в перспективе.

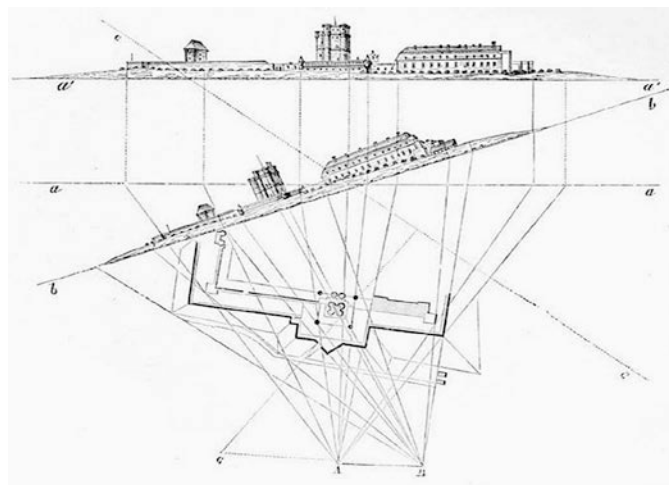


Рис. 1. Графический метод картографирования местности

В 1858 г. французский фотограф и воздухоплаватель Г. Турнашон впервые осуществил первую аэрофотосъемку на воздушном шаре и успешно сфотографировал Париж [6]. Полученный аэрофотоснимок города показан на рис. 2.

В 1908 г. немецкий фармацевт Й. Нойброннер изобрел голубиную камеру. В ходе Первой мировой войны Франция использовала эту технологию для получения информации о позициях немецких войск, камера применялась также

в последующих сражениях при Вердене и Сомме. На рис. 3 приведена фотография образца спроектированной голубиной камеры, а также показано изображение, полученное с ее использованием.



Рис. 2. Аэрофотоснимок Парижа

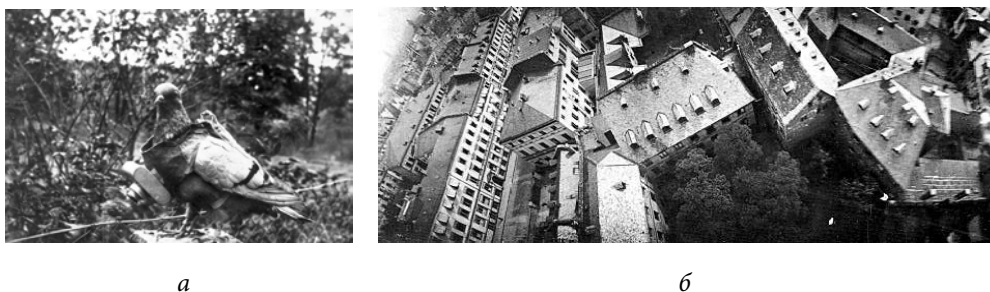


Рис. 3. Голубиная камера (а) и фотография (б), полученная с ее помощью

Этап 1. Аналоговая фотограмметрия. В технологии аналоговой фотограмметрии используется оптическая или механическая проекция для имитации процесса получения фотографического изображения. Для восстановления относительного положения аэрофотоаппарата и объекта на подстилающей поверхности во время съемки применялись два или более проектора, и таким образом создавалась измеримая геометрическая реконструкция, пропорциональная реальному объекту. Иными словами, происходил процесс, обратный фотографированию, т. е. информация с кадра позволяла получить отображение модели объекта.

На этапе развития аналоговой фотограмметрии была разработана более полная концепция фотограмметрии и сконструировано множество приборов, основанных на различных принципах. Это привело к созданию улучшенного метода нанесения изображений на топографические карты.

Рабочий процесс для аналоговой фотограмметрии выглядит следующим образом:



В период аналоговой фотограмметрии основная работа была связана с дорогостоящим аналоговым стереоскопическим картографом. В зависимости от метода проецирования, реализованного в данном устройстве, аналоговые стереоскопические картографы можно классифицировать как оптические, механические и оптико-механические проекторы. Общий вид перечисленных аппаратных средств показан на рис. 4.

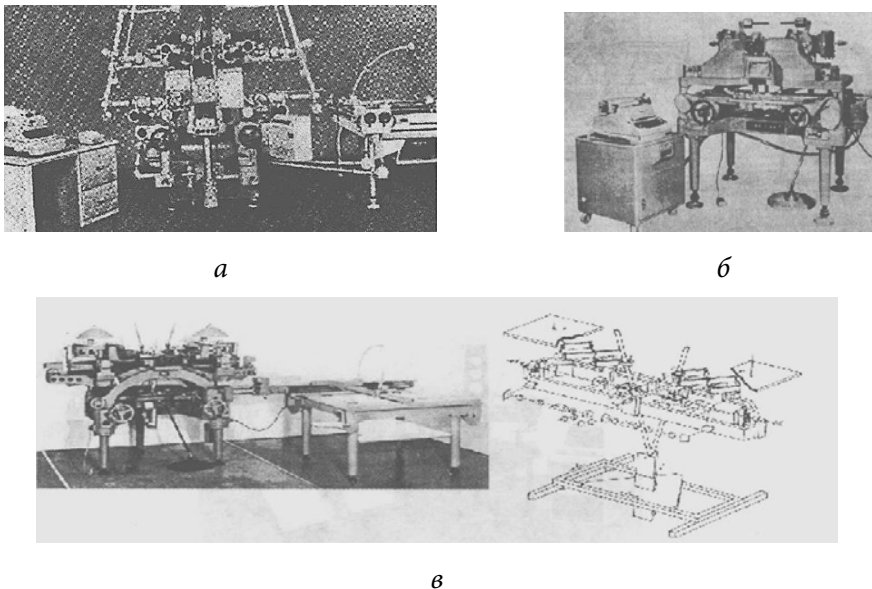


Рис. 4. Аналоговые стереоскопические картографы:

a — оптический проектор (stereoplanigraph C8); *б* — оптико-механический проектор (stereoplanigraph B); *в* — механический проектор (autograph)

Этап 2. Аналитическая фотограмметрия. В аналитической фотограмметрии используется компьютерная обработка фотографических изображений как важнейший инструмент для установления геометрических соотношений между координатами точек изображения и координатами точек объекта путем проведения ряда измерений с последующим применением аналитических методов расчета для изучения геометрических свойств объекта (формы, размера, местоположения), а также для анализа взаимосвязи нескольких объектов.

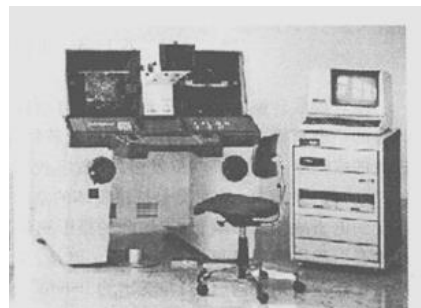
Рабочий процесс аналитической фотограмметрии выглядит следующим образом:



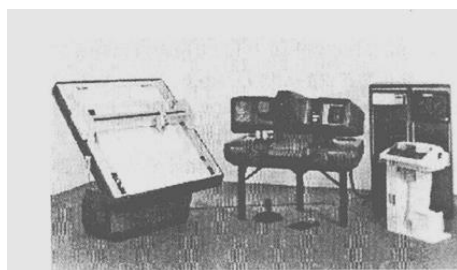
Общие аппаратные средства показаны на рис. 5.



a



б



в



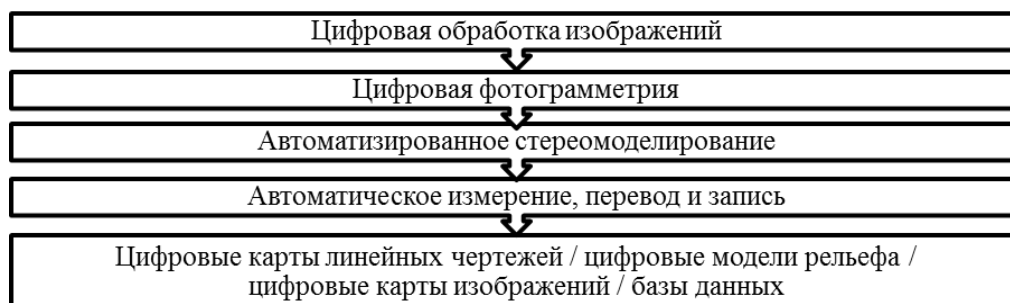
г

Рис. 5. Аналитические плоттеры:
a — C100; *б* — DSR11; *в* — AC1; *г* — BC1

В отличие от аналоговых картографических приборов, аналитические картографические приборы используют цифровую проекцию. Для решения широкого спектра задач применялась координатно-измерительные системы, в состав которых входили электронно-вычислительные машины, управление которыми осуществлялось человеком-оператором.

Этап 3. Цифровая фотограмметрия. Цифровая фотограмметрия, основанная на базовых принципах фотограмметрии, применяет междисциплинарные теории и методы, такие как компьютерные технологии, цифровая обработка изображений и распознавание образов для извлечения цифровой геометрической и информации о физических параметрах объекта, представленного на изображении (цифровое изображение или оцифрованное изображение) [7].

Рабочий процесс цифровой фотограмметрии выглядит следующим образом:



Общие аппаратные средства показаны на рис. 6.



а



б

Рис. 6. Цифровые плоттеры:

а — JX4C, б — Virtuozo

В цифровой фотограмметрии используются компьютеры и специальное программное обеспечение для фотограмметрии, которые заменяют множество сложных приборов и могут выполнять трудоемкие вычисления вместо человека. Получение, обработка и представление информации по данной технологии

кардинально отличаются от аналогичных процессов аналоговой и аналитической фотограмметрии.

Применение аэрофотограмметрии. С древних времен люди испытывали огромное любопытство к миру, в котором они живут, в особенности к тому, что находится непосредственно у них под ногами. По мере развития цивилизации человек постепенно осознал, что топография имеет огромное стратегическое значение. До Первой мировой войны эта технология использовалась в основном для определения территориальных границ и контроля их соблюдения, для академических исследований в области естественных наук и археологии, а также для создания развлекательных материалов. Первая мировая война дала серьезный толчок развитию этой технологии, и аэрофотограмметрия широко использовалась для получения информации о стратегической диспозиции вражеских сил [8].

В настоящее время в результате более чем векового развития и модернизации методы получения пространственных данных были значительно усовершенствованы. Аэрофотограмметрия и сегодня остается чрезвычайно жизнеспособной и влиятельной областью теоретических исследований и практического применения. Например, при топографическом картографировании часто приходится решать задачи крупномасштабного картографирования, использовать острова, рифы и другие труднопроходимые участки местности. В то время как традиционные методы картографирования более сложны в эксплуатации, аэрофотограмметрия позволяет получить точное представление о местности в режиме реального времени в условиях высокогорья, с четким, точным и интуитивно понятным изображением. Поэтому аэрофотограмметрия широко распространена при съемке местности, стратегической планировке, городском планировании, мониторинге стихийных бедствий, землеустройстве и проверке качества инженерных работ.

Основными продуктами современной аэрофотограмметрии являются 4D-продукты: цифровая модель рельефа (DEM, ЦМР), цифровая ортофотокарта (DOM, ЦО), цифровая линейная графика (DLP, ЦЛГ) и цифровая растровая графика (DPG, ЦРГ). Примеры ЦМР, ЦО, ЦЛГ и ЦРГ представлены на рис. 7.

Ниже более подробно описаны перечисленные ранее классы аэрофотограмметрического отображения подстилающей поверхности.

Класс 1. Цифровая модель рельефа — это набор данных, который отражает волнистую структуру земли в терминах высоты. Данную модель можно использовать для создания перспективных видов и поперечных сечений; в инженерном деле ЦМР можно применять для инженерно-строительных расчетов и получения статистики значений площади покрытия. ЦМР также можно использовать для топографического и геоморфологического анализа и анализа затопленных территорий.

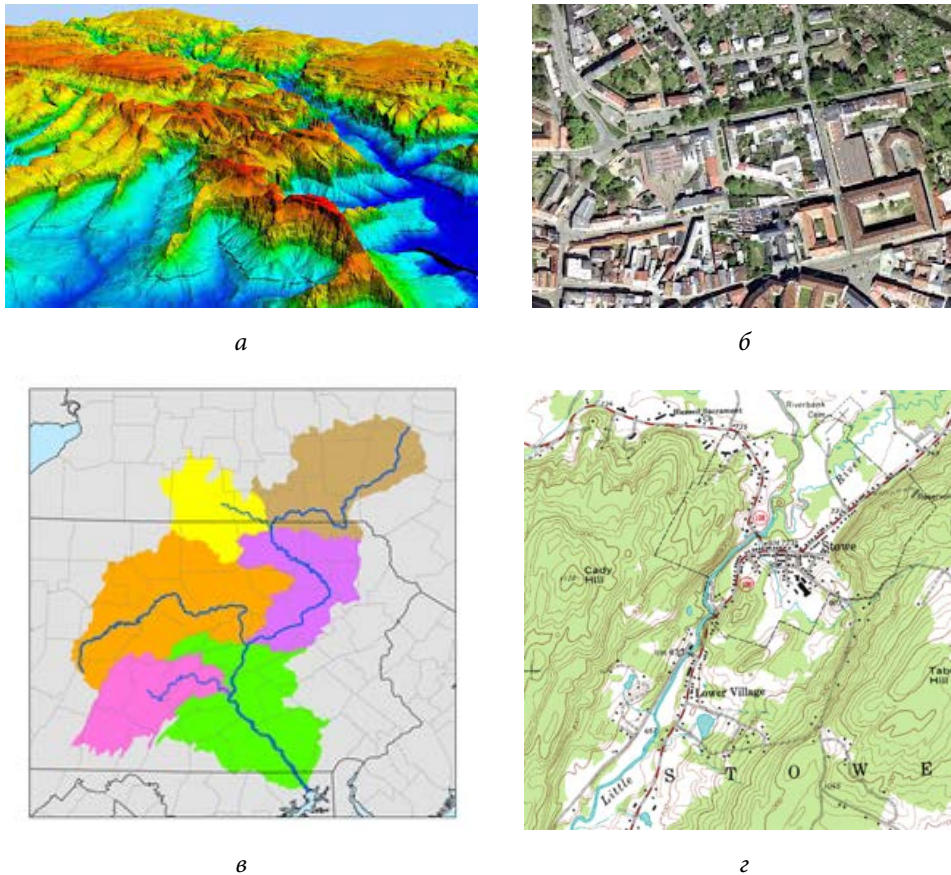


Рис. 7. Цифровые продукты аэрофотограмметрии:
a — ЦРГ; *б* — ЦО; *в* — ЦЛГ; *г* — ЦЛГ

Класс 2. Цифровая ортофотокарта — это набор данных, полученных путем формирования и корректировки итогового цифрового изображения из мозаики перекрывающихся аэрофотоснимков с использованием ЦМР. Ортофотоплан характеризуется богатством информации, отличной читаемостью и измеримостью. Физическая география и социально-экономические условия могут быть извлечены непосредственно из ЦО.

Класс 3. Цифровая линейная графика — это векторный набор данных существующих элементов топографической карты, включающий как пространственную, так и атрибутивную информацию, обеспечивающий комплексное описание информации о поверхности. ЦЛГ можно использовать для планирования строительства, управления ресурсами, анализа инвестиционной среды, а также в качестве пространственной основы для планирования расселения населения, ресурсов, транспорта и охраны порядка.

Класс 4. Цифровая растровая графика представляет собой компьютерный файл растровых данных существующих бумажных карт, который соответствует

требованиям национальных стандартов по содержанию, точности и визуализации цветов. ЦРГ можно применять при проверке, интеграции других продуктов и обновлении картографической информации.

Процесс производства 4D-продуктов показан на рис. 8.

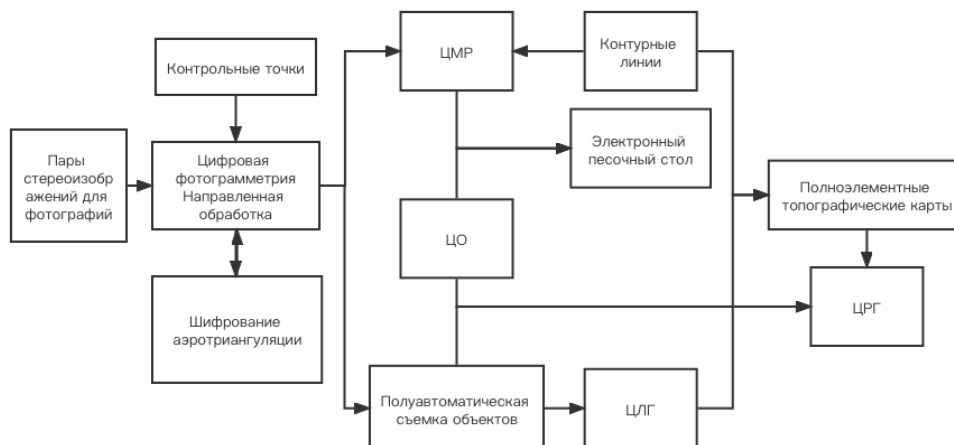


Рис. 8. Процесс производства 4D-продуктов

Будущие тенденции. Для того чтобы удовлетворить разнообразные потребности аэрофотосъемки, необходимо дальнейшее совершенствование функций и стабильности работы аэрофотоаппаратов, а также установка в камеру многоспектральных датчиков для постоянного обогащения данных съемки.

Как уже упоминалось, для аэрофотосъемки требуется высокая степень перекрытия (переднезаднее перекрытие более 60 %, боковое перекрытие более 30 %). При использовании рабочих станций для цифровой фотографии (DPW) расходы на аэрофотосъемку и хранение значительно снижаются, и дублирование больше не оказывает существенного влияния. Для получения наилучшего исходного материала съемка с высокой избыточностью (переднезаднее перекрытие более 80 %, боковое перекрытие более 60 %) позволяет значительно увеличить число стереопар.

Что касается обработки данных, то в полностью автоматизированных рабочих станциях цифровой фотограмметрии будут широко использоваться методы совмещения изображений, распознавания образов, компьютерного зрения, параллельных вычислений и т. п., что значительно повысит эффективность постобработки данных.

Аэрофотограмметрия продолжает осваивать теории и технологии из смежных областей. Сочетание DPW, систем обработки кластеров и систем грид-вычислений (англ. *grid* — сеть, решетка) привело к созданию цифровой фотограмметрической сетки (DPGrid), простой по структуре, более эффективной

и более оперативной. В будущем фотограмметрия будет развиваться совместно с компьютерным зрением, что приведет к появлению новых теорий и дисциплин [9, 10].

Выводы. В основе современной цифровой фотограмметрии лежит использование компьютеров, работа которых может полностью заменить труд человека, с упором на автоматизированные теории и методы (например, сопоставление изображений, распознавание образов и т. д.). Перспективы легкости, стандартизации и скорости должны быть приняты для планирования будущих тенденций. В данной работе были рассмотрены три этапа развития аэрофотограмметрии. Ниже перечислены основные выводы, сделанные на основании проанализированных материалов и собственной оценки тенденций развития аэрофотограмметрических технологий.

1. Хотя аппаратные средства были оптимизированы в соответствии с развитием технологий, математические принципы остались прежними. Уравнения коллинеарности до сих пор являются важнейшей теоретической основой аэрофотограмметрических методов.

2. В настоящее время аэрофотограмметрия продолжает развиваться по двум направлениям: получение изображений и обработка данных.

3. Интегрированная цифровая аэрофотограмметрия, DPW и DPGrid все еще имеют большой потенциал и простор для развития и внедрения в промышленное использование.

4. Аэрофотограмметрия не является дисциплиной, которая существует изолированно от других исследовательских сфер на каком-либо этапе. Идти в ногу со временем и постоянно внедрять знания и методы из других дисциплин — вот основные действия, лежащие в основе обеспечения ее жизнеспособности. В будущем огромную актуальность приобретет дисциплина, образованная как пересечение компьютерного зрения и фотограмметрии.

Литература

- [1] Cong P. Discussion on the application of aerial photogrammetry technology in engineering surveying and mapping. *Surveying and Exploration*, 2022, vol. 4, no. 3, pp. 33–35.
- [2] Лаврова Н.П., Стеценко А.Ф. Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемочное оборудование. М., Недра, 1981.
- [3] Тихонов А.А., Акматов Д.Ж. Обзор программ для обработки данных аэрофотосъемки. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, 2018, № 12, с. 192–198.
- [4] Wang Z. The modern development of aerial photogrammetry science and technology. *Surveying and Mapping Bulletin*, 1965, vol. 5, pp. 3–7.
- [5] Wolf H. Aimé Laussedats Métrophotographie. *temporarygallery.org: веб-сайт*. URL: <https://www.temporarygallery.org/en/lecture-herta-wolf-aime-laussedats-metrophotographie-zur-historiografie-einer-franzosischen-erfindung-wed-8-november-7-pm> (дата обращения: 28.10.2022).

- [6] Krule J. The origins of aerial photography. *newyorker.com: веб-сайт*.
URL: <https://www.newyorker.com/culture/photo-booth/origins-aerial-photography> (дата обращения: 28.10.2022).
- [7] Медведев Е.М. Развитие цифровой аэрофотограмметрии в России и мире. *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 2006, т. 1, № 1, с. 88–98.
- [8] Реброва А.И. Применение беспилотных летательных аппаратов в области фотограмметрии, дистанционного зондирования для проведения геодезической съемки. *Студенческая наука-взгляд в будущее*. Красноярск, Красноярский ГАУ, 2021, с. 279–282.
- [9] Zhang Z. From digital photogrammetry workstation (DPW) to digital photogrammetry Grid (DPGrid). Wuhan University, 2007.
- [10] Zha Y., Zhang H. A preliminary study on the development status and trend of digital photogrammetry. *Jiangxi Surveying and Mapping*, 2009, no. 4, pp. 4–6.

Цай Цзычжо — магистрант кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Пименова Мария Борисовна — ассистент кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, инженер АО «Корпорация «ВНИИЭМ», Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Селезнева Мария Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Цай Цзычжо, Пименова М.Б. Этапы развития и перспективы аэрофотограмметрии. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 12(77).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-12-848>

DEVELOPMENT AND PROSPECTS FOR AERIAL PHOTOGRAMMETRY

Cai Zizhuo

lucien@njust.edu.cn

M.B. Pimenova

pimenova@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Aerial photogrammetry is an important part of photogrammetry. Photogrammetry can be divided into analogue photogrammetry, analytical photogrammetry, and digital photogrammetry according to the degree of development. However, aerial photogrammetry is characterized by a complex development path, the number of disciplines involved and the abundance of digital products. To better study its development, it is necessary to understand the characteristics, equipment and workflow of each stage according to its development path. The workflows of each type of photogrammetry are investigated. The classes of aerial photogrammetric mapping of the underlying surface used in modern applications are considered. Possible ways of further improvement of aerial photogrammetric technologies are indicated.

Keywords

Aero photogrammetry, analogue photogrammetry, analytical photogrammetry, digital photogrammetry, digital elevation model, digital orthophoto map, digital line graphics, digital raster graphics

Received 24.11.2022

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

References

- [1] Cong P. Discussion on the application of aerial photogrammetry technology in engineering surveying and mapping. *Surveying and Exploration*, 2022, vol. 4, no. 3, pp. 33–35.
- [2] Lavrova N.P., Stetsenko A.F. Aerofotosemka. Aerofotosemochnoe oborudovanie [Aerial photography. Aerial photography equipment]. Moscow, Nedra Publ., 1981 (in Russ.).
- [3] Tikhonov A.A., Akmatov D.Zh. Review of aerophotography data processing programs. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2018, no. 12, pp. 192–198 (in Russ.).
- [4] Wang Z. The modern development of aerial photogrammetry science and technology. *Surveying and Mapping Bulletin*, 1965, vol. 5, pp. 3–7.
- [5] Wolf H. Aimé Laussedats Métrophotographie. *temporarygallery.org: website*. URL: <https://www.temporarygallery.org/en/lecture-herta-wolf-aime-laussedats-metrophotographie-zur-historiografie-einer-franzosischen-erfindung-wed-8-november-7-pm> (accessed: 28.10.2022).
- [6] Krule J. The origins of aerial photography. *newyorker.com: website*. URL: <https://www.newyorker.com/culture/photo-booth/origins-aerial-photography> (accessed: 28.10.2022).
- [7] Medvedev E.M. Development of digital aerial photography in Russia and the world. *Interekspo Geo-Sibir*, 2006, vol. 1, no. 1, pp. 88–98 (in Russ.).

- [8] Rebrova A.I. Application of unmanned aerial vehicles in photogrammetry, remote sensing for surveying. *Studencheskaya nauka-vzglyad v budushchee* [Student Science – Look into the Future]. Krasnoyarsk, Krasnoyarskiy GAU Publ., 2021, pp. 279–282 (in Russ.).
- [9] Zhang Z. From digital photogrammetry workstation (DPW) to digital photogrammetry Grid (DPGrid). Wuhan University, 2007.
- [10] Zha Y., Zhang H. A preliminary study on the development status and trend of digital photogrammetry. *Jiangxi Surveying and Mapping*, 2009, no. 4, pp. 4–6.

Cai Zizhuo — Master'S Student, Department of the Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Pimenova M.B. — Assistant, Department of the Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Engineer, VNIEM Corporation JC, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Selezneva M. S., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Cai Zizhuo, Pimenova M.B. Development and prospects for aerial photogrammetry. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 12(77). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-12-848.html> (in Russ.).