

УДК 528.71:528.91

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-106-118

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВА**

*Татьяна Александровна Хлебникова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плехановского, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)474-19-70, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

*Харьес Каюмович Ямбаев*

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), 105064, Россия, г. Москва, Гороховский пер., 4, доктор технических наук, профессор кафедры геодезии, тел. (499)261-85-53, e-mail: kafgeo@miigaik.ru

*Ольга Анатольевна Опритова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий 630108, Россия, г. Новосибирск, Плехановского, 10, кандидат технических наук, руководитель научно-производственного картографического центра, тел. (913)940-08-97, e-mail: ooolg@yandex.ru

Результаты обзора отечественных и зарубежных публикаций позволили установить, что моделирование геопространства небольших территорий наиболее эффективно выполняется с применением беспилотной авиационной системы (БАС) и цифровых фотограмметрических систем. Интенсивное развитие беспилотных авиационных технологий сделало возможным получение пространственных данных на интересующие участки территорий в более короткие сроки. Показано, что в действующей нормативно-технической документации не отражены требования к сбору и обработке исходных данных для создания цифровых моделей объектов геопространства. Сформулированы требования для обеспечения заданного качества построения фотограмметрической модели по снимкам с БАС в зависимости от характерных особенностей территории съемки и назначения модели геопространства. Предложена технологическая схема сбора и совместной фотограмметрической обработки данных плановой и перспективной аэрофото съемки с использованием БАС для моделирования геопространства.

В статье представлены результаты экспериментальных работ совместной фотограмметрической обработки плановых и перспективных снимков, полученных с БАС, исследования ее точности и экспорта в ГИС. Для проведения экспериментальных исследований выбраны программы Agisoft PhotoScan (компания Agisoft LLC, г. Санкт-Петербург) и ГИС КАРТА 2011. Показано, что включение перспективных снимков, полученных с БАС, в процесс совместной обработки с плановыми снимками повышает достоверность построенной фотограмметрической модели. Определены временные затраты импорта-экспорта результатов фотограмметрической обработки в ГИС.

**Ключевые слова:** аэрофото съемка, беспилотная авиационная система, фотограмметрическая обработка снимков, фотограмметрическая модель, плотная цифровая модель, цифровая фотограмметрическая система, оценка точности.

### *Введение*

В последнее десятилетие в условиях развития цифровой экономики Российской Федерации цифровые данные применяются практически во всех социально-экономических сферах.

Увеличивается спрос на цифровые геопространственные данные как элемент связи тематических баз данных при построении единого геоинформационного пространства (ЕГИП) в рамках стратегии пространственного развития России [1].

Картографические методы отображения местности заменяются методами и технологиями моделирования геопространства, которые позволяют оптимизировать управленческие решения. Это достигается за счет более полного информационного обеспечения, представления данных в удобном для анализа и восприятия виде [2–7].

Геопространство – это совокупность находящихся на территории (над или под территорией) географических объектов природного и техногенного характера, природных явлений, техногенных и природных процессов и событий, обладающих интересующими нас пространственными свойствами [8, 9].

В настоящее время наиболее востребованы цифровые текстурированные модели объектов и территорий, получаемые в результате фотограмметрической обработки материалов аэрокосмических съемок.

Традиционно наибольший объем геопространственных данных для ЕГИП обеспечивают средства и методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – космическая и аэрофотосъемка (АФС).

В последние два десятилетия активно развивается производство малогабаритных беспилотных авиационных систем (БАС), которые успешно используются для выполнения АФС.

В настоящее время развитию и использованию технологий БАС уделяется большое внимание, и в ближайшем будущем ожидаются новые достижения в вопросах повышения точности определения координат и высот центров проектирования снимков, автоматизации процессов фотограмметрической обработки и дешифрирования снимков, использования специальных средств телекоммуникации, позволяющих выполнять контроль результатов аэрофотосъемки в режиме реального времени.

Результаты обзора отечественных и зарубежных публикаций позволили установить, что моделирование геопространства небольших территорий наиболее эффективно выполняется с применением БАС и цифровых фотограмметрических систем [10–13]. Такой подход позволяет в короткие сроки (1–2 дня) получить исходную основу в виде фотограмметрических моделей, точность и детальность которых соответствуют требованиям нормативно-технических документов (НТД) для крупномасштабного картографирования.

Вместе с тем отсутствует актуальная нормативно-техническая документация обработки данных АФС с БАС, что приводит к вольному толкованию устаревших требований, а также негативно сказывается на качестве конечной продукции [14].

В существующих НТД сформулированы требования к содержанию и качеству создаваемых цифровых пространственных моделей местности по картографическим материалам. В этой связи точность определения плановых

координат, высот и детальность отображаемых элементов моделей зависят от значения масштаба исходных цифровых или аналоговых топографических карт. Применение цифровых геоинформационных технологий требует иного подхода при формировании требований к составу, качеству исходных материалов и обработке их для создания цифровых моделей объектов геопространства.

### ***Цель исследования, постановка задачи***

На основании анализа отечественных источников выявлены проблемы, имеющие место при использовании БАС для решения задач моделирования геопространства. Проблемы заключаются в том, что в нормативных документах приведены требования к материалам, полученным пленочными аэрофотоаппаратами, которые в настоящее время не используются. Анализ показал, что нормативные требования к аэрофотосъемочной системе, ее составу и техническим характеристикам, проектированию АФС и выбору ее параметров, фотографическому и фотограмметрическому качеству материалов АФС, комплектности и оформлению материалов топографической АФС не соответствуют современному измерительному технологическому оборудованию и нуждаются в актуализации.

Учитывая всю сложность задачи разработки вышеуказанных требований в нормативных документах, в настоящей статье была поставлена цель разработки технологической схемы, определения требований к сбору и обработке данных аэрофотосъемки с использованием БАС для моделирования объектов геопространства.

Методологической базой представленных исследований является экспериментальный метод.

### ***Методы и материалы***

В результате обработки данных ДЗЗ получают стереомодели, точечные цифровые модели поверхности, ортофотопланы, цифровые модели местности, рельефа, цифровые карты (планы) и др. Эти цифровые продукты являются составными элементами единого геопространства [15–18].

Использование стереомodelей, построенных средствами цифровых фотограмметрических систем (ЦФС), позволяет определять пространственные координаты любой точки цифрового объекта геопространства. Однако для работы со стереомodelями требуется специализированное программно-аппаратное обеспечение – ЦФС, а оператор должен иметь необходимую остроту стереозрения.

Современные программные средства позволяют использовать точечные цифровые модели поверхности для получения пространственных данных в качестве альтернативы стереомodelям.

Точечные цифровые модели поверхности обладают следующими достоинствами:

- нет необходимости использовать полнофункциональные ЦФС;
- погрешность определения пространственных координат точек объектов не зависит от остроты стереозрения оператора;
- есть возможность изменять ракурс наблюдения;
- содержится информация о вертикальных и наклонных элементах объекта съемки.

В этой связи для проведения экспериментальных исследований нами выбрана отечественная программа Agisoft PhotoScan Professional Edition (версия 1.2.0), разработанная Группой компаний «Геоскан» (далее – Agisoft PhotoScan) [10].

Программа Agisoft PhotoScan ориентирована на автоматизацию процессов обработки данных, что имеет существенное значение для оперативного получения цифровой топографической информации.

Особенностью данного программного продукта является то, что обработка снимков для получения точечных цифровых моделей поверхности включает ряд последовательно выполняемых операций, часть из которых реализуется современными методами машинного зрения и базируется на использовании алгоритмов фотометрической обработки изображений, проективной геометрии и однородных координат [11]. При этом оператор не должен обладать остротой стереозрения.

На выбор оптимальных значений параметров АФС влияют точность и детальность создаваемой модели геопространства, характер моделируемой местности, ограничения, связанные с использованием того или иного беспилотного летательного аппарата (например, метеоусловия, максимальная высота полета), характеристики используемой съемочной камеры.

При проектировании схемы работ по созданию моделей геопространства необходимо обосновать выбор таких параметров АФС, как значения высоты фотографирования и фокусного расстояния камеры. Так как на практике выбор вариантов фокусного расстояния ограничен определенным перечнем имеющегося в распоряжении пользователя оборудования, то задача сводится к расчету значения высоты фотографирования при использовании выбранной камеры.

Известно, что точность определения координат точек фотограмметрических моделей связана с измерительной способностью исходных снимков – пространственным разрешением. Существующие требования к созданию цифровых топографических карт и планов содержат только формулы для расчета оптимального элемента сканирования исходных аналоговых аэрофотоснимков в зависимости от масштаба создаваемой карты (плана) или ортофотоплана.

При выборе пространственного разрешения цифровых снимков для фотограмметрических построений использованы известные особенности передачи непрерывного аналогового сигнала в цифровую форму, визуального восприятия изображения и соответствующие требования действующих нормативно-технических документов к процессу сканирования аналоговых снимков.

Проблема дискретизации сигналов с ограниченным спектром освещена в литературе (теорема Котельникова – Найквиста – Шенона, или теорема отсчетов). Теорема отсчетов (выборка, *sampling theorem*) теории сигналов широко применяется в радиотехнике, радиофизике, оптике и в других научно-технических областях. Ее значение возросло за последние два десятилетия в связи с переходом всей радиоэлектроники на цифровые технологии [19, 20].

Задача определения численной оценки различения объектов, наблюдаемых с применением оптико-электронных средств, впервые была решена Джонсоном (John Johnson) в 1958 г. В ходе экспериментальных исследований были определены значения разрешения, необходимые для опознавания изображений объектов, наблюдаемых с применением приборов ночного видения на основе электронно-оптических преобразователей. Выбранным четырем уровням восприятия изображения объекта в порядке повышения информативности (обнаружение, ориентация, распознавание, идентификация) поставлены минимально необходимые значения, указанные в парах линий, укладываемых на наименьший размер цели. Этот критерий также применяется в оптико-электронных средствах с выходным видеосигналом – видео- и фотокамерах, тепловизорах. Отличие применения в этих средствах будет заключаться в том, что вместо пар линий штриховой миры значения указываются в телевизионных линиях (ТВЛ) или в элементах изображения (пикселях). Пара линий штриховой миры в экспериментальных исследованиях Джонсона как мера наименьшего различимого пространственного периода равна двум телевизионным линиям, и уровни разрешения будут иметь значения 2,0; 2,8; 8,0; 12,8 ТВЛ соответственно [21].

Экспериментально установлены и применяются в практике аэрофотосъемочных процессов соотношения между количеством элементов разрешения, укладываемых в пределах минимального размера объекта, и уровнями дешифрируемости (таблица).

Соотношения между количеством элементов разрешения  
и уровнями дешифрируемости

Уровень дешифрируемости	Классификационный признак	Количество пикселей
Обнаружение	Объект находится в поле зрения	2
Определение ориентации	Наблюдатель может различить форму объекта и определить его ориентацию	4
Различение	Наблюдатель классифицирует объект	8
Идентификация	Наблюдатель в пределах классификации устанавливает тип объекта	13

На основании вышесказанного и анализа научно-технической литературы нами сформулированы следующие требования для обеспечения заданного качества построения фотограмметрической модели по снимкам с БАС в зависимости от характерных особенностей территории съемки и назначения модели геопространства:

– для обеспечения заданной точности модели величина пространственного разрешения снимков должна быть не менее чем в 2 раза меньше заданного значения погрешности измерения координат точек объекта;

– для обеспечения заданной детальности модели, позволяющей обнаружить, определить ориентацию, распознать и идентифицировать объект, величина пространственного разрешения снимков должна быть соответственно не менее чем в 2, 4, 8, 13 раз меньше значения минимального геометрического элемента создаваемой модели.

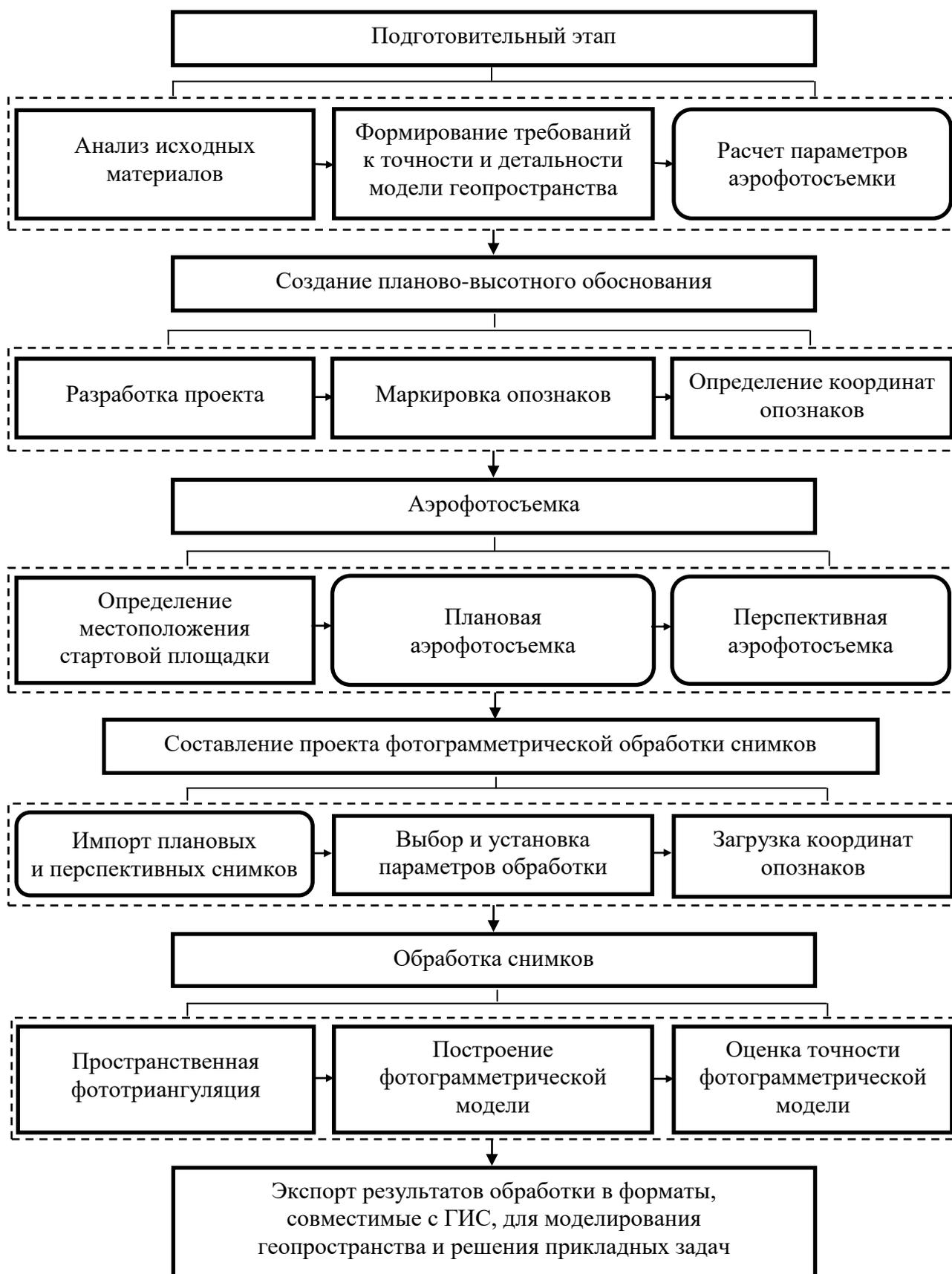
Для обоснования требований к параметрам АФС с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) предложены формулы для расчета пространственного разрешения снимков в зависимости от заданной средней квадратической погрешности (СКП) определения координат точек модели и высоты съемки. Вывод формул приведен в [18].

В результате исследований выявлено, что для построения точечных цифровых моделей поверхности с заданным качеством необходимо, чтобы каждая точка объекта съемки отображалась на трех и более снимках. При выполнении плановой АФС объектов вертикальной и наклонной архитектуры это требование часто не обеспечивается, в результате чего построенная фотограмметрическая модель будет иметь недостаточную плотность, что не позволит оператору уверенно распознать отдельные конструктивные элементы и определить их местоположение. Для решения этой проблемы предложено дополнительно к плановой выполнять перспективную АФС, что позволит обеспечить уверенную идентификацию точек вертикальных и наклонных элементов объектов.

Для моделирования геопространства нами предложена технологическая схема сбора и совместной фотограмметрической обработки данных плановой и перспективной АФС с использованием БАС (рисунок).

В отличие от существующей технологии сбора и обработки материалов АФС, в предложенной технологической схеме подготовительный этап включает расчет параметров АФС с использованием БАС в зависимости от требований к точности и детальности модели геопространства по разработанным формулам [18].

Для построения фотограмметрической модели выполняется совместная фотограмметрическая обработки плановых и перспективных снимков. Это обеспечивает получение точечной цифровой модели поверхности, которая может служить исходной основой в геоинформационных системах для формирования моделей объектов в составе модели геопространства.



Технологическая схема сбора и обработки данных АФС с использованием БАС для моделирования геопространства

### Экспериментальная проверка

Экспериментальные исследования предложенной технологической схемы сбора и обработки данных АФС с использованием БАС для моделирования геопространства выполнены на объектах:

- жилищно-строительного комплекса «Восточный» г. Новосибирска;
- городской инфраструктуры и 9-этажного жилого строения г. Новосибирска.

Целью эксперимента по первому объекту ставилась оценка возможностей построения моделей объектов геопространства с использованием данных плановой аэрофотосъемки с БАС Supercam S350 [22].

Программное обеспечение Agisoft PhotoScan позволило получить по выбранным материалам аэрофотосъемки плотную цифровую модель (облако точек), пригодную для создания трехмерных моделей геопространства.

Экспериментальные исследования показали, что при фотограмметрической обработке материалов, полученных с БАС средствами программного обеспечения Agisoft PhotoScan, наряду с центрами проектирования снимков, для повышения точности трехмерной модели геопространства необходимо использовать наземные опорные точки.

Выявлено, что для получения измерительных трехмерных моделей необходимо при обработке материалов с БАС использовать плановые координаты и высоты контрольных точек. Последние позволят судить о точности и пригодности полученной модели для измерительных целей.

Цели эксперимента на втором объекте – построение и оценка точности фотограмметрической модели объекта недвижимости по данным плановых и перспективных снимков, а также оценка возможности использования этой модели при решении измерительных задач в области кадастра [23].

В результате совместной фотограмметрической обработки плановых и перспективных снимков получены точечная цифровая модель, обеспечивающая визуальную достоверность и возможность определения точек конструктивных элементов в составе вертикальных и наклонных поверхностей, и ортофотоплан.

Анализ полученных результатов показал, что включение снимков перспективной АФС в процесс построения фотограмметрической модели объекта недвижимости повышает ее информативность и обеспечивает возможность определения местоположения конструктивных элементов зданий, сооружений, объектов незавершенного строительства в составе вертикальных и наклонных поверхностей. При этом значение СКП определения планового положения характерных точек границ объекта недвижимости соответствует требованиям действующих нормативных документов [24].

Точечная цифровая модель и ортофотоплан конвертировались в обменный формат ГИС Панорама – ГИС КАРТА 2011 (АО КБ «Панорама», г. Москва) [25].

Важный фактор, определяющий эффективность создания модели, – время, затрачиваемое на ее построение. Экспериментальные исследования выполнялись на компьютере с процессором Intel (R) Core (TM) i5-4670 CPU@ 3.40 GHz. Тип системы: 64-разрядная операционная система. Время конвертации плотного облака точек (896906) составило 1 ч 48 мин.

Точечная цифровая модель отображается в ГИС КАРТА 2011 в виде массива отдельных точек и позволяет определять плановые координаты и абсолютные высоты каждой точки. Векторизацию объектов выполнять затруднительно и неэффективно.

Средствами ГИС КАРТА 2011 по точечной цифровой модели построена ЦМР в виде регулярной матрицы высот, которая позволяет решать следующие задачи:

- получать растровые изображения экспозиций склонов, матрицу уклонов поверхности, профиль по участку объекта, по заданной линии;
- определять зоны видимости, площади, длины линий с учетом рельефа;
- строить зоны затопления и т. д.

### **Заключение**

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

– разработана технологическая схема сбора и обработки данных АФС с использованием БАС, позволяющая получить фотограмметрическую модель, которая обеспечивает необходимые точность и детальность элементов объектов при моделировании геопространства;

– разработаны основные требования к сбору и обработке данных АФС с БАС для моделирования геопространства, соблюдение которых позволит использовать созданную модель геопространства в качестве базового элемента для решения научно-практических задач.

Совместная фотограмметрическая обработка плановых и перспективных снимков позволяет обеспечить достаточное количество точек на вертикальных и наклонных элементах модели объекта для уверенной идентификации.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Нехин С. С. Шелковый путь информации из изображений // Геодезия и картография. – 2009. – № 2. – С. 36–48.
3. Хлебникова Т. А., Трубина Л. К. Возможности использования трехмерных видеосцен в экологической оценке состояния городских территорий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 170–174.
4. Трубина Л. К., Хлебникова Т. А., Николаева О. Н. Методические подходы к созданию 3D-моделей для исследования экологического состояния городских территорий // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 199–205.

5. Хлебникова Т. А., Опритова О. А. Экспериментальные исследования технологии моделирования геопространства по материалам аэрофотосъемки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 16–20.
6. Журкин И. Г., Хлебникова Т. А. Цифровое моделирование измерительных трехмерных видеосцен : монография. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 246 с.
7. Мониторинг деформаций сооружений в сочетании с технологией трехмерного моделирования / В. А. Середович, Т. А. Широкова, Д. В. Комиссаров и др. // Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – С. 12–14.
8. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Электронное геопространство: сущность и концептуальные основы // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск : СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 55–60.
9. Кацко С. Ю. Неогеография и картография // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. Науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 2. – С. 102–106.
10. Группа компаний Геоскан. Применение БЛА при решении картографических и кадастровых задач [Электронный ресурс] : отчет. – Режим доступа: <http://geoscan.ru>.
11. Иноземцев Д. П. Беспилотные летательные аппараты: Теория и практика. Часть 2. Модель обработки аэрофотоснимков в среде AGISOFT PHOTOSCAN // Технологии. – 2013. – № 3 (50). – С. 48–51.
12. Использование многороторных БПЛА для целей ДЗЗ / В. К. Барбасов, Н. М. Гаврюшин, Д. О. Дрыга, М. С. Батаев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 5. – С. 122–126.
13. Исследование возможностей применения квадрокоптера для съемки береговой линии обводненного карьера с целью государственного кадастрового учета / И. М. Ламков, А. Ю. Чермошенцев, С. А. Арбузов, А. П. Гук // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 200–209.
14. Кадничанский С. А. Сравнительный анализ материалов цифровой АФС и космической съемки для создания и обновления карт // Геопрофи. – 2009. – № 4. – С. 4–8.
15. Мышляев В. А. О цифровой картографической продукции нестандартных масштабов // Геодезия и картография. – 2009. – № 7. – С. 62–63.
16. Хлебникова Т. А., Юрченко В. И. О создании цифровых ортофотопланов по материалам аэрофотосъемки для территориального кадастра // Геодезия и картография. – 2001. – № 5. – С. 23–26.
17. Экспериментальные исследования по созданию картографических моделей компонентов экосистем, вовлеченных в природопользование : отчет о НИР (заключительный) / СГУГиТ ; рук. работы Л. К. Трубина ; исполн. О. Н. Николаева [и др.]. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 70 с.
18. Опритова О. А. Разработка требований к сбору и обработке данных аэрофотосъемки беспилотных летательных аппаратов для моделирования геопространства : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Опритова Ольга Анатольевна. – Новосибирск, 2018. – 24 с.
19. Студитский А. С. Исследование и разработка многофункционального оптоэлектронного средства наблюдения и разведки : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2013. – 112 с.
20. Жмудь В. А. Теорема Котельникова – Найквиста – Шеннона, принцип неопределенности и скорость света // Автоматика и программная инженерия. – 2014. – № 1 (7).
21. Котельников В. А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи // УФН. – 2006. – Т. 176, № 7 (приложение). – С. 762–770.

22. Хлебникова Т. А., Опритова О. А. Экспериментальные исследования точности построения плотной цифровой модели по материалам беспилотной авиационной системы // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 119–129.

23. Опритова О. А. Исследование возможностей применения беспилотных авиационных систем для моделирования объектов недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 248–258.

24. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.

25. Геоинформационная система «Карта 2011»: Руководство пользователя. Версия 11. [Электронный ресурс]. – Ногинск : КБ Панорама. – 2012. – 151 с. – 1 электр. опт. Диск (DVD+R).

Получено 23.08.2019

© Т. А. Хлебникова, Х. К. Ямбаев, О. А. Опритова, 2020

## **DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL SCHEME FOR COLLECTING AND PROCESSING AERIAL PHOTOGRAPHY DATA USING UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS FOR MODELING GEOSPACES**

*Tatyana A. Khlebnikova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)474-19-70, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

*Kharyes K. Yambaev*

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 4, Gorokhovskiy Per. St., Moscow, 105064, Russia, Ph. D., Vice-rector for Research, phone: (499)261-46-19, e-mail: yambaev@miigaik.ru

*Olga A. Opritova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Head of the Research and Production Cartographical Center, phone: (913)940-08-97, e-mail: ooolg@yandex.ru

The results of the review of domestic and foreign publications allowed us to establish that the geospatial modeling of small territories is most effectively performed using UAS (unmanned aircraft systems) and digital photogrammetric systems. The intensive development of unmanned aviation technologies has made it possible to obtain spatial data for the areas of interest in a shorter period of time. It is shown that the current regulatory and technical documentation does not reflect the requirements for collecting and processing raw data for creating digital models of geospatial objects.

The article formulates the requirements for ensuring the specified quality of building a photogrammetric model from UAS images, depending on the characteristic features of the survey area and the purpose of the geospatial model. It proposes a technological scheme for the collection and joint photogrammetric processing of planned and prospective AF (aerial photography) data using UAS for geospatial modeling.

The article presents the results of experimental work on joint photogrammetric processing of planned and prospective images obtained from UAS, research of its accuracy, and export to GIS. The experimental research used the Agisoft PhotoScan program (Agisoft LLC, Saint Petersburg) and GIS MAP 2011. It is shown that the inclusion of perspective images obtained from UAS in the

process of joint processing with planned images increases the reliability of the constructed photogrammetric model. The time costs of importing and exporting the results of photogrammetric processing in GIS are determined.

**Key words:** aerial photography, unmanned aerial system, photogrammetric image processing, photogrammetric model, dense digital model, digital photogrammetric system, accuracy estimation.

## REFERENCES

1. Order of the government of the Russian Federation of July 28, 2017 № 1632-p. On the approval of the program «Digital Economy of the Russian Federation». Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
2. Nekhin, S. S. (2009). Silk route of information from images. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 2, 36-48 [in Russian].
3. Khlebnikova, T. A., & Trubina, L. K. (2015). The possibility of using three-dimensional video scenes in the environmental assessment of urban areas. *Izvestia vuzov. Geodezija i ajerofotosemka [Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, S/5, 170–174 [in Russian].
4. Trubina, L. K., Khlebnikova, T. A., & Nikolaeva, O. N. (2017). Methodological approaches to developing 3D models for investigating the ecological status of urban territories. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources]*, 2, 199–205 [in Russian].
5. Khlebnikova, T. A., & Opritova, O. A. (2016). Pilot studies of technology of modelling of geospace for aerial photography materials. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distantionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoekologiya [Proceedings of Interekspo GEO-Siberia-2016: International Scientific Conference: Vol. 1. Remote Sensing and Photogrammetry Sensing, Environmental Monitoring, Geoecology]* (pp. 16–20). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
6. Zhurkin, I. G., & Khlebnikova, T. A. (2012). *Tsifrovoye modelirovaniye izmeritelnykh tryokhmernykh videostsen [Digital standard of 3D video scenes for measuring purposes]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 246 p. [in Russian].
7. Seredovich, V. A., Shirokova, T. A., & Komissarov, D. V., & etc. (2006). Monitoring of deformation of structures in combination with the technology of 3D modeling. *Geodezija i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 6, 12–14 [in Russian].
8. Karpik, A. P., & Lisitsky, D. V. (2009). Digital geospace concepts and conceptual frameworks. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2009: T. 1 [Proceedings of GEO-Siberia-2009: Vol. 1]* (pp. 55–60). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
9. Katsko, S. Yu. (2013). Neogeography. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir' 2013. Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interekspo GEO-Sibir'-2013: International Scientific Conference: Vol. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]*, (pp.102–106). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
10. Geoscan. (2017). Application of UAV in solving cartographic and cadastral tasks. Retrieved from at: <http://geoscan.ru> [in Russian].
11. Inozemtsev, D. P. (2013). Unmanned aerial vehicles: theory and practice: Part 2, Model of processing aerial photographs in AGISOFT PHOTOSCAN. *Tekhnologii [Technology]*, 50(3), 48–51 [in Russian].
12. Barbasov, V. K., Gavryushin, N. M., Dryga, D. O., & Bataev M. S. (2013). The use of multi-rotor UAVs for remote sensing. *Izvestia vuzov. Geodezija i ajerofotosemka [Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 5, 122–126 [in Russian].
13. Lamkov, I. M., Chermoshentsev, A. Yu., Arbuzov, S. A., & Guk, A. P. (2016). The study of the possible application of quadrocopter for shooting the coastline of the flooded quarry with the

purpose of state cadastral registration. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(36), 200–209 [in Russian].

14. Kadnichansky, S. (2009). Comparative analysis of digital aerial and satellite imagery materials for creating and updating maps. *Geoprofi [Geoprofi]*, 4, 4–8 [in Russian].

15. Myshlyaev, V. A. (2009). About digital cartographic products of non-standard scale. *Geodezija i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 7, 62–63 [in Russian].

16. Hlebnikova, T. A., & Yurchenko, V. I. (2001). On the creation of digital orthophotomaps based on aerial photographs for the territorial cadastre. *Geodezija i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 5, 23–26 [in Russian].

17. Trubina, L. K., & Nikolaeva, O. N. (2016). Experimental studies on the creation of cartographic models of the components of ecosystems involved in environmental management: research report (final). Novosibirsk: SSUGT Publ., 70 p. [in Russian].

18. Opritova, O. A. (2018). Development of requirements for the collection and processing of aerial photography data from unmanned aerial vehicles for modeling geospace. *Extended abstract of candidate's thesis*. Novosibirsk, 24 p. [in Russian].

19. Studitskij, A. S. (2013). Research and development of multifunctional optoelectronic surveillance and reconnaissance equipment. *Candidate's thesis*. Moscow, 112 p. [in Russian].

20. Zhmud', V. A. (2014). Kotelnikov-Nyquist-Shannon theorem, the uncertainty principle and the speed of light. *Avtomatika i programnaya inzheneriya [Automation and Software Engineering]*, 1(7), 127–136 [in Russian].

21. Kotel'nikov, V. A. (2006). On the bandwidth of «ether» and wire in telecommunications. *UFN [UFN]*, 176(7), 762–770.

22. Khlebnikova, T. A., & Opritova, O. A. (2018). Experimental Studies of the Dense Digital Model Accuracy by Using Unmanned Aerial System. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 119–129 [in Russian].

23. Opritova, O. A. (2018). Studies of Possibilities on Using UAS for Real Estate Modeling. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 248–258 [in Russian].

24. GKNP (GNTA)-02-036-02. Instruction for photogrammetric works to create digital topographic maps and plans. (2002). Moscow: TSNIIGAIK, 100 p. [in Russian].

25. GIS «Karta 2011». (2012). User guide. Version 11 [DVD+R]. Noginsk: KB Panorama, 151 p.

Received 23.08.2019

© T. A. Khlebnikova, Kh. K. Yambaev, O. A. Opritova, 2020