

И. А. Рыльский¹, М. А. Потапов², А. Н. Панин³, Р. В. Груздев⁴

СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ЗАЛЕСЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ПО ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ PHOTOMOD И METASHAPE

АННОТАЦИЯ

Выполнение цифровой фотосъемки в видимом диапазоне и последующее моделирование рельефа в масштабе 1: 2 000 и крупнее на территории залесенных районов обычно считается сложной или трудно решаемой задачей. В настоящее время основным методом решения этой задачи является метод воздушного лазерного сканирования, при котором цифровая фотосъемка проводится, но используется в основном для создания цифровых ортофотопланов, при этом источником информации о рельефе служит лазерного сканирование (благодаря возможности лазерных импульсов проникать сквозь кроны деревьев). В силу более низкой стоимости цифровая аэрофотосъемка без лазерного сканирования может быть коммерчески привлекательна для ряда заказчиков. По этой причине в работе ставилась задача оценить возможности по использованию для этих целей двух наиболее популярных в Российской Федерации программных средств — Photomod и Metashape. В качестве тестового полигона был выбран участок Южной Сибири, на территории которого представлены различные типы сочетаний форм рельефа и различной по густоте растительности. Исходный залет выполнен в соответствии с требованиями масштаба 1: 2 000 под шаг горизонталей в 1 м, при этом применено более высокое поперечное перекрытие залета (до 50 % вместо 30 %). Съемка выполнена с использованием беспилотного летательного аппарата в видимом диапазоне. В работе приведены сведения о качестве выполненных фотограмметрических работ с использованием как аппаратных средств регистрации элементов внешнего ориентирования, так и наземных контрольных и опорных точек. Не все участки местности могут быть картографированы с соблюдением требований данного масштаба. В работе проводится анализ полученных результатов, оценка применимости того или иного программного продукта, особенностей полученных наборов данных. Итоговые выводы содержат информацию о применимости данного метода в сочетании с программными средствами, ограничениях возможностей его применения. Проведено сравнение временных затрат на решение идентичных задач в разных программных комплексах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аэрофотосъемка, 3D-точки, Photomod, Metashape, залесенная территория, цифровая модель рельефа

¹ Московский государственный университет, географический факультет, Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991, e-mail: rilskiy@mail.ru

² Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Горный институт, Весенняя ул., д. 28, г. Кемерово, Россия, 650000, e-mail: potapovma@kuzstu.ru

³ Московский государственный университет, географический факультет, Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119234, e-mail: alex_panin@mail.ru

⁴ ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии, Сибирское отделение РАН, ул. Недорезова, 16а, а/я 1032, Чита, Россия, 672002, e-mail: roguzdev@mail.ru

Ilya A. Rylskiy¹, Mikhail A. Potapov², Alexandr N. Panin³, Roman V. Gruzdev⁴

COMPARISON OF THE QUALITY OF CREATION OF A DIGITAL TERRITORY MODEL OF A FORESTED TERRITORY FROM AERIAL PHOTO DATA USING PHOTOMOD AND METASHAPE SOFTWARE COMPLEXES

ABSTRACT

Performing digital photography in the visible range and subsequent terrain modeling at a scale of 1: 2 000 and larger in forested areas is usually considered a complex or difficult task. Currently, the main method for solving this problem is the airborne laser scanning method, in which digital photography is carried out, but is used mainly to create digital orthophotos, while the source of information about the terrain is laser scanning (due to the ability of laser pulses to penetrate through tree crowns). Due to its lower cost, digital aerial photography without laser scanning may be commercially attractive to a number of customers. For this reason, the task was to assess the possibilities of using for these purposes the two most popular software tools in the Russian Federation: Photomod and Metashape. An area in Southern Siberia was chosen as a test site, where various types of combinations of landforms and vegetation of varying density were presented. The initial flight was made in accordance with the requirements of the scale of 1: 2 000 with a horizontal step of 1 meter, while a higher transverse overlap of the flight was applied (up to 50 % instead of 30 %). The photographing was carried out using an unmanned aerial vehicle in the visible range. The paper provides information on the quality of photogrammetric work performed using both hardware for recording external orientation elements and ground control and reference points. Not all areas of the terrain can be mapped meeting the scale requirements. The paper analyzes the results obtained, assesses the applicability of a particular software product, and the features of the obtained datasets. The final conclusions contain information about the applicability of this method in combination with software, the boundaries and limitations of its application. A comparison was made of the time spent solving identical problems in different software systems.

KEYWORDS: aerial photography, 3D points, Photomod, Metashape, forested area, digital elevation model

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время использование цифровой аэрофотосъемки для выполнения работ по картографированию территорий Российской Федерации в масштабе 1: 500–1: 5 000 обычно ведется только в сочетании с выполнением воздушного лазерного сканирования. Это обусловлено тем, что значительная часть территории покрыта лесной или кустарниковой растительностью, которая традиционно считается «головной болью» фотограмметристов, особенно когда речь заходит о работе в масштабах крупнее 1: 25 000 — когда требуется выполнять работы с учетом требований о нанесении на карту

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, *e-mail: rilskiy@mail.ru*

² T. F. Gorbachev State Technical University, Institute of Mining, 28, Vesennaya str., Kemerovo, 650000, Russia, *e-mail: potapovma@kuzstu.ru*

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, *e-mail: alex_panin@mail.ru*

⁴ Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 16a, Nedorezova str., PO box 1032, Chita, 672002, Russia, *e-mail: rogruzdev@mail.ru*

мелких форм рельефа, бровок обрывов и прочих элементов, которые обычно трудно читаемы на фотоснимках в лесах [Korpela, 2008].

Лазерное сканирование с его возможностью проникновения лазерного луча сквозь кроны деревьев, безусловно, является «золотым стандартом» ведения высокоточных работ на лесопокрытой местности [Lohr, 1997]. Однако этот вид съемки довольно дорог и требует либо длительных работ с малых высот при использовании БПЛА, либо использование дорогостоящих тяжелых лазерных сканирующих систем, работающих с больших высот с использованием пилотируемой авиации. Амортизация дорогостоящего оборудования, время выполнения работ и ряд других моментов формируют цену данной услуги на текущий момент, и она доступна не всем заказчикам. Однако в отдельных случаях возможно использование обычной цифровой фотосъемки в видимом диапазоне с использованием относительно недорогих среднеформатных камер высокого разрешения на базе БПЛА.

Вопрос о возможности и пределах возможного в части картографирования рельефа в лесных районах в этом случае остается открытым. Конечно, при скрупулезном наборе точек в ручном режиме эта задача вполне решается в большинстве случаев. Но этот подход очень трудоемок, медленен, и, как следствие, либо затратен, либо неприемлем в части времени. Более перспективным выглядит подход с максимальным уровнем автоматизации работы, пусть даже ценой некоторого увеличения налета при съемке с целью увеличения поперечного перекрытия данных и последующего высокоавтоматизированного извлечения 3D-точек из полученного фотограмметрического блока [Chandler, 2001].

Несмотря на большое количество программных средств, решающих подобные задачи, наиболее популярными в России на сегодняшний день являются два продукта: Photomod и Metashape. Первый из продуктов традиционно любим адептами классической строгой фотограмметрии, второй более популярен у молодого поколения сотрудников.

В данной работе были поставлены следующие цели:

- оценить возможность генерации облака 3D-точек на весь фотограмметрический блок в условиях залесенной местности и сравнить время создания этих облаков, качество и оценочную точность полученных материалов;
- оценить подробность отображения рельефа разными продуктами в условиях различных ландшафтов;
- оценить качество отображения крон растительности или (в случае невозможности) полога растительности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор участка и получение данных

В качестве тестового участка для отработки вышеописанной концепции была выбрана территория Чексинского участка недр на одноименном каменноугольном месторождении. Площадь создаваемой ЦМР составила 160 км². Объект расположен на территории Кемеровской области — Кузбасса в Междуреченском городском округе и Новокузнецком муниципальном районе (рис. 1).

Рельеф местности — естественный, гористый, расчлененный сетью речных долин. Минимальная отметка местности — 279 м, максимальная — 644 м, средняя — 399 м; средний уклон местности составляет 2°, направлен на юго-запад от истоков рр. Чексу и Тутуяс к их устьям, максимальный уклон местности достигает 9° в центральной части участка на водоразделе между этими реками. Территория выполнения работ незастроенная, закрытая хвойной растительностью на 95 %. Цифровая аэрофотосъемка выполнена 11 октября 2023 г.

«поперек», что является критически важным для лесной местности. Выполнено два залета с широтным и долготным азимутом треков [Руководство, 1986].

Работа велась с высот 1 700–1 750 м над средней поверхностью рельефа. Среднее разрешение фотоснимков составило от 15,4 см. Это соответствует требованиям масштабов 1: 2 000 и 1: 5 000 с запасом по детальности согласно ГОСТ Р 59562-2021.

Перед залетами было замаркировано и закоординировано 19 опознаков от 6 базовых станций, определенных, в свою очередь, спутниковым геодезическим методом от сети дифференциальных геодезических станций «Кузбасс» в ГСК-2011 зона 15 и Балтийской системе высот 1977 г. (рис. 2 и 3).

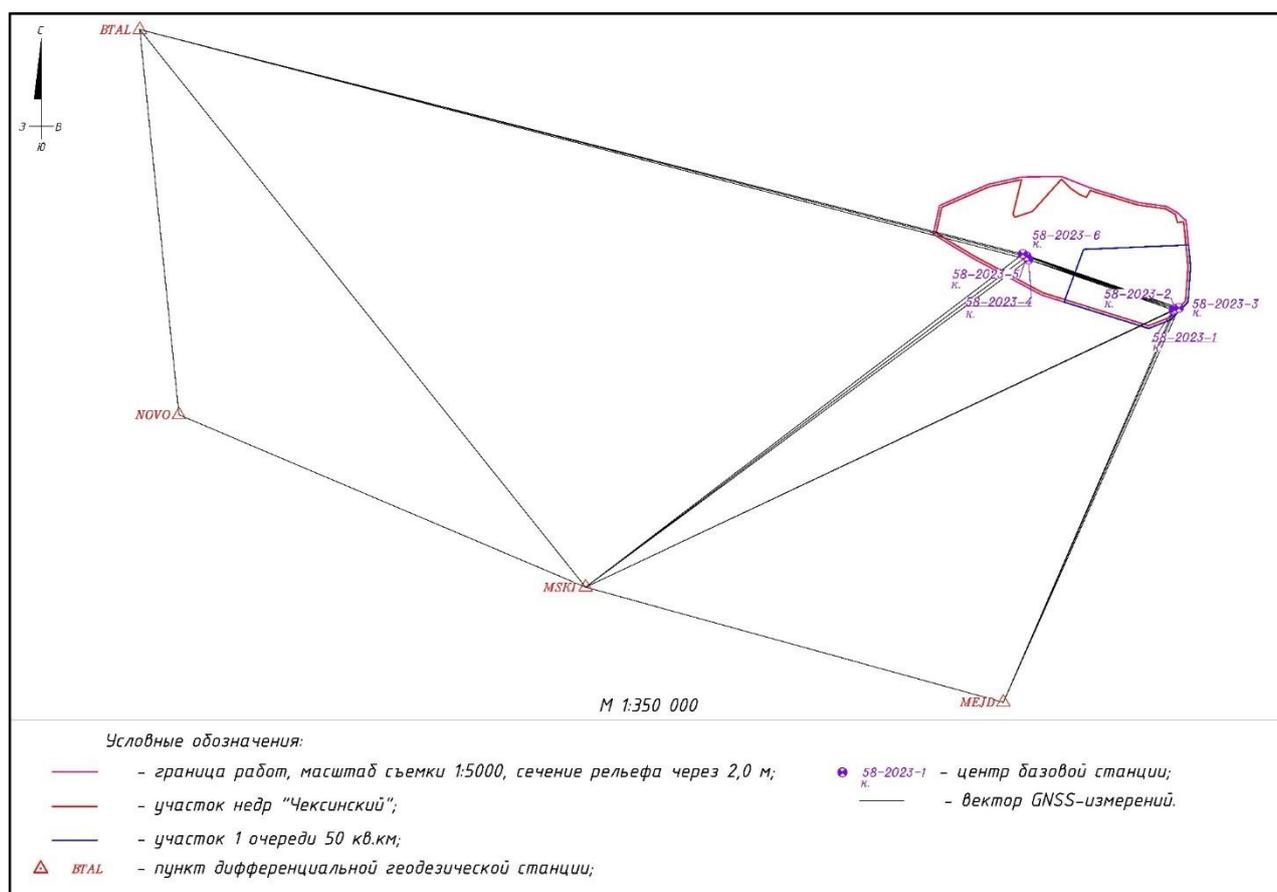


Рис. 2. Схема определения координат и высот базовых станций
Fig. 2. Scheme for determining the coordinates and heights of base stations

Координаты центров фотографирования получены путем совместной обработки кинематических измерений бортовой спутниковой антенны Javad TRE-3N, установленной на БПЛА, и наземной антенны, установленной на одну из базовых станций. Обработка спутниковых измерений выполнена в Magnet Tools 5.1. Оценка точности спутниковых измерений представлена в табл. 1. Координаты центров определены по результатам обработки GPS+ГЛОНАСС решения. Значения погрешностей в определении планового положения даны в таблицах 1 и 2 в контексте евклидова расстояния в плоскости XY.

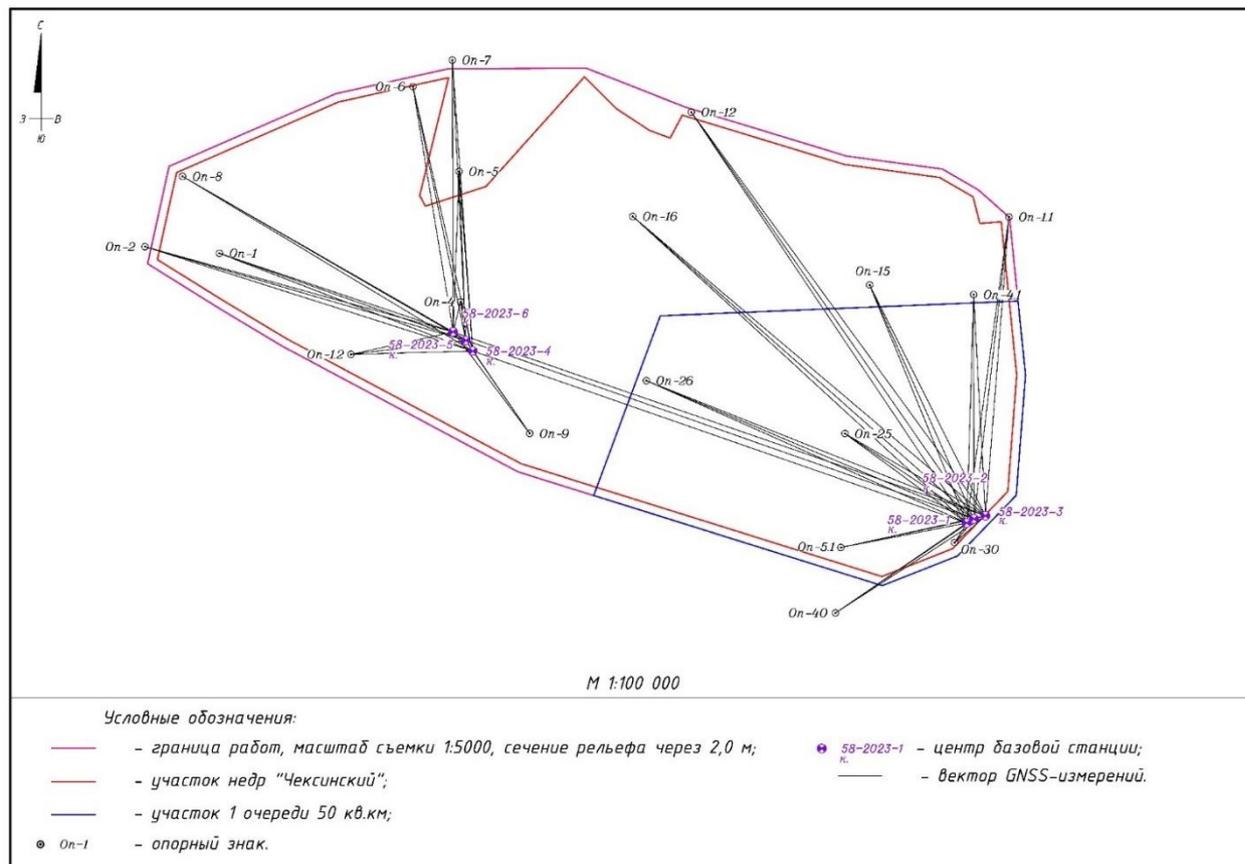


Рис. 3. Схема определения координат и высот опознаков (часть)
Fig. 3. Scheme for determining the coordinates and heights of ground control points (part)

Табл. 1. Средняя квадратическая ошибка пространственного положения
пунктов планово-высотной подготовки
Table 1. Mean squared error of the spatial position of the AFS
planning and altitude preparation points

Уровень сети	Метод спутниковых геодезических измерений	Средняя квадратическая ошибка планового положения исходных пунктов, м	Средняя квадратическая ошибка высотного положения относительно исходных пунктов, м
Базовая станция	Статика	0,008	0,007
Опознак	Статика	0,017	0,006

На используемую камеру был получен сертификат калибровки, использованный как начальный при уточнении параметров при самокалибровке на опознаках. Инерциальной системы на борту не установлено, поэтому углы крена, тангажа и рыскания не включены в элементы внешнего ориентирования. Фотограмметрическое уравнивание производилось на цифровой фотограмметрической станции PHOTOMOD 7.5 методом связок и в Metashape 2.1. (рис. 4 и 5).

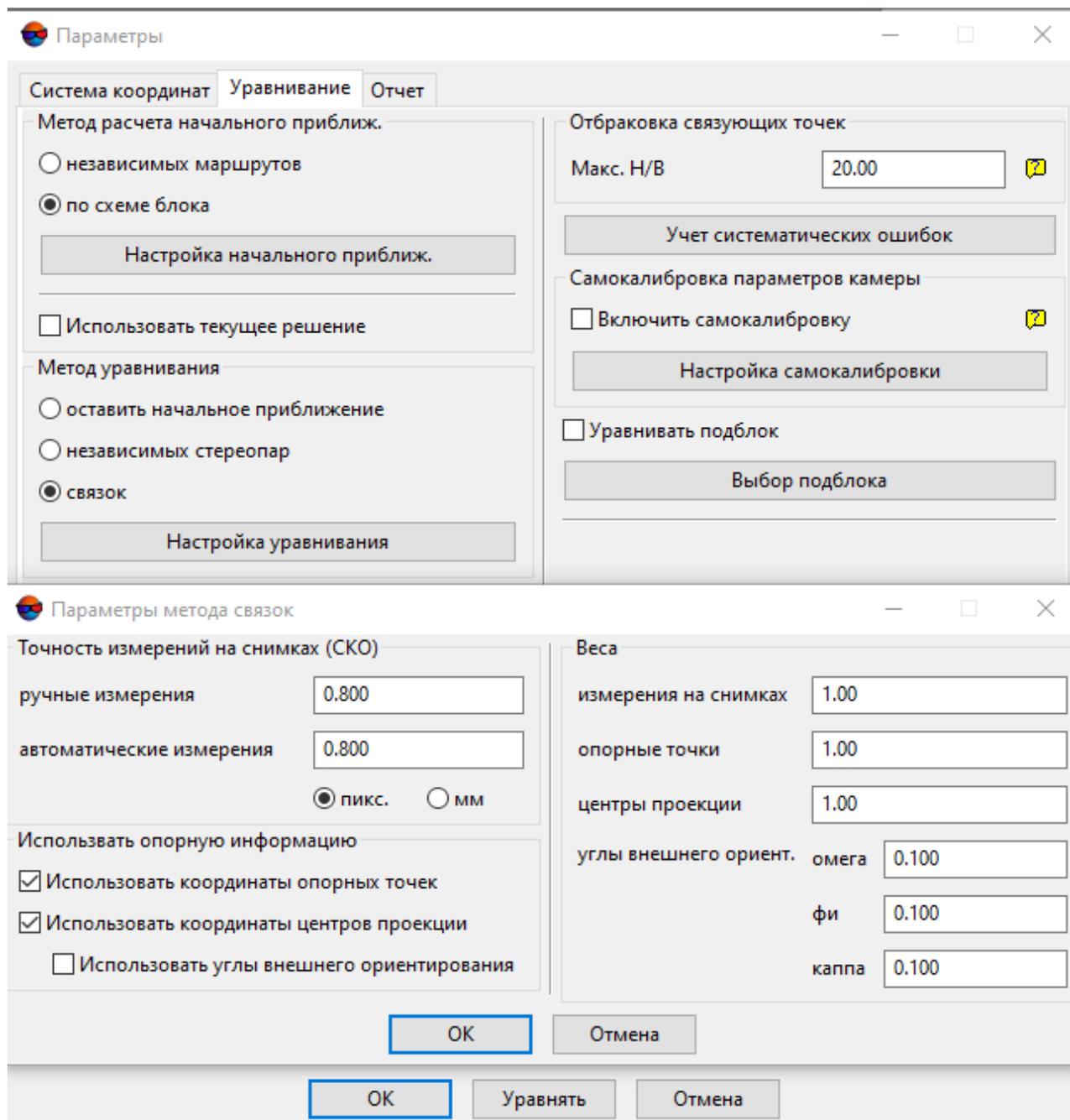


Рис. 4. Параметры метода связок при уравнивании в PHOTOMOD
Fig. 4. Parameters of the bundle method for adjustment in PHOTOMOD

Оценка точности фотограмметрического уравнивания для обоих программных продуктов представлена в табл. 2. Геопривязка, расчет параметров ориентации фотоснимков и уточнение координат центров фотографирования выполнены в каждом из видов программного обеспечения отдельно, с использованием массива опознаков. Для оценки точности использован массив контрольных точек [Rangel et al., 2018].

Табл. 2. Средняя квадратическая ошибка пространственного положения центров снимков АФС и отклонения итоговых ортофотопланов и облака точек на опознаках и контрольных точках

Table 2. The mean square error of the spatial position of the centers of the AFS images and the deviations of the final orthomosaics and point clouds at identification marks and control points

Показатель СКО	PHOTOMOD 7.5		Metashape 2.1	
	Плановое положение XY	Высотное положение Н	Плановое положение XY	Высотное положение Н
Опознаки	0.290	0.078	0.074	0.075
Центры фотографирования	0.107	0.076	0.067	0.072
Контрольные точки	0.192	0.206	0.141	0.173

По итогам обработки данных были получены фотограмметрические модели, по которым были набраны в автоматическом режиме точки на поверхности всех объектов местности и на земле, и на растительности [Mancini et al., 2013]. Для Photomod пикеты набирались с шагом в 1 м, для Metashape 2.1 шаг не может быть задан (используются настройки уровня детальности Low, Medium, High, Highest), работа велась в режиме High как на этапе уравнивания блока снимков (Alignment), так и на этапе генерирования плотного облака фотограмметрических точек (Point Cloud). Затем, используя встроенные средства фильтрации строений и растительности, были убраны объекты, отличные от класса точек «земля». Фильтрация набранных обоими методами массивов точек проводилась в ПО Terrasolid (модуль Terra Scan). Качество фильтрации проверялось визуально:

- в среде Terrasolid — методом визуального профилирования, а также методом построения системы горизонталей и их визуального сравнения;
- в стереорежиме PHOTOMOD, куда также погружались точки из Metashape и Terrasolid;
- дополнительно строились TIN-модели, а по ним — матрицы высот с шагом 1 м, анализировалось качество фильтрации на самых сложных участках местности: затененных склонах с северной экспозицией и максимально густой растительностью.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После проверки массивов точек выяснилось, что ЦФС PHOTOMOD набирает более разреженный массив точек, чем Metashape, но фильтрация растительности гораздо лучше в PHOTOMOD, чем Metashape. При этом фильтрация облака точек из Metashape в ПО Terrasolid дала наилучший результат при контроле в стереорежиме и визуально на матрицах высот.

Для сравнения облаков точек наиболее удобным методом мы считаем профилирование совместных двух облаков точек (от Photomod и от Metashape), каждое из которых отнесено к одному из классов. Для наглядности облако точек Photomod было смещено вверх на 0,3 м. Это позволило избежать «слияния» точек при профилировании и более отчетливо видеть степень полноты отображения ситуации тем или иным массивом данных.

Учитывая природно-географические особенности территории, были выделены несколько типов ландшафтов, обладающих характерными сочетаниями рельефа и растительности. Рассмотрим наиболее репрезентативные случаи.

Как видно на рис. 5, облако точек Photomod является более шумным (присутствует большое количество точек как над, так и под поверхностью, количество точек на земле в разы меньше, чем у точек Metashape. Кроны деревьев описываются точками Metashape гораздо более плотно.

Как видно на рис. 5 и 6, русловой врез ручья не читается в точках обоих типов. Облако Metashape заметно плотнее и детальнее описывает и рельеф, и кроны деревьев. Хорошо виден «шум» облака Photomod.

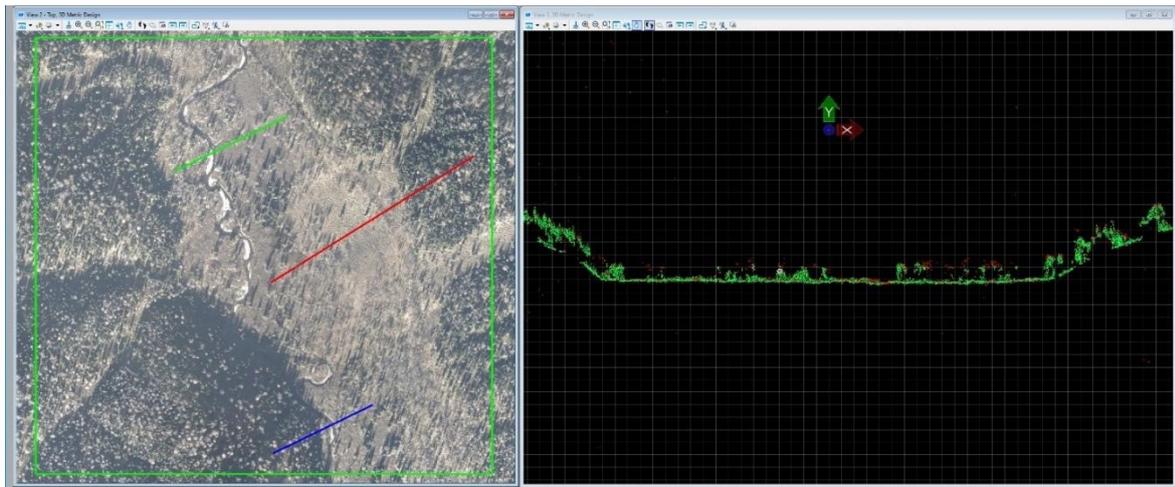


Рис. 5. Заболоченная пойма ручья с отдельными низкорослыми деревьями. Профиль по зеленой линии. Красные точки — данные Photomod, зеленые точки — данные Metashape
Fig. 5. Swampy floodplain of a stream with isolated stunted trees. Profiled along green line. Red points were generated in Photomod, green points in Metashape

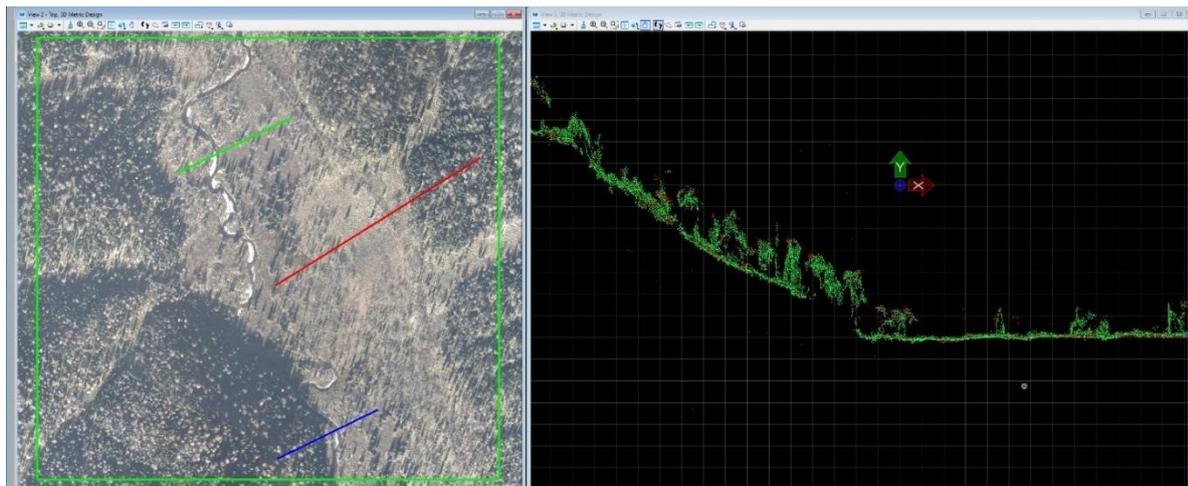


Рис. 6. Борт речной долины и пойма ручья с отдельными низкорослыми деревьями. Профиль по синей линии. Красные точки — данные Photomod, зеленые точки — данные Metashape
Fig. 6. Side of river valley with steep slope and floodplain of a stream with isolated stunted trees. Profiled along blue line. Red points were generated in Photomod, green points in Metashape

На рис. 7 и 8 видно, что в условиях редколесья оба программных продукта справляются хорошо, однако полнота отображения крон у Photomod совершенно недостаточна.

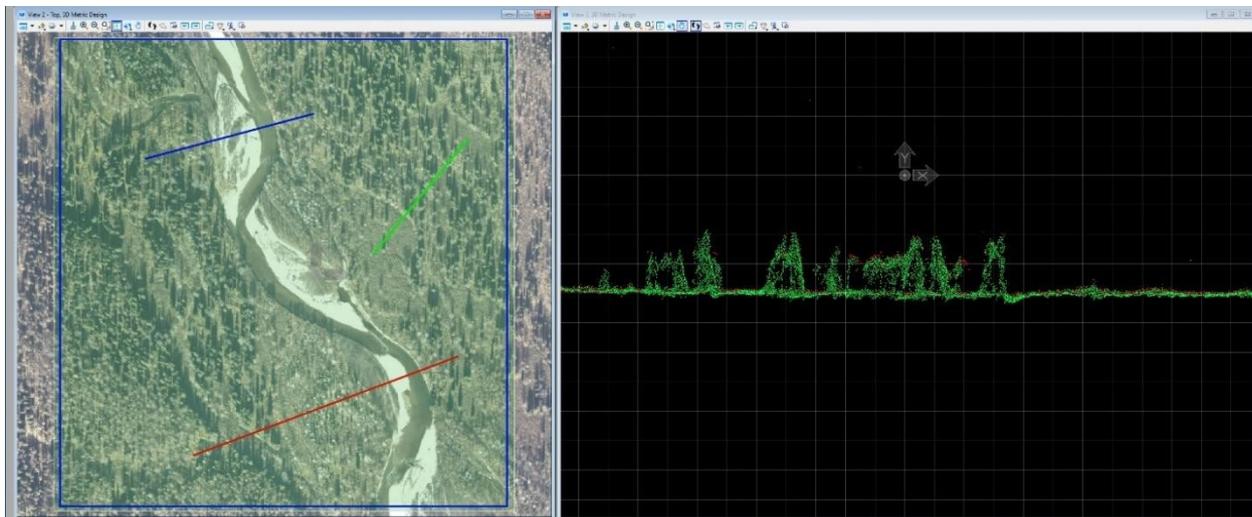


Рис. 7. Редкий высокий лес на плоском участке. Профиль по зеленой линии.

Красные точки — данные Photomod, зеленые точки — данные Metashape

Fig.7. Rare high forest on a flat area. Profile along the green line. Red points were generated in Photomod, green points in Metashape

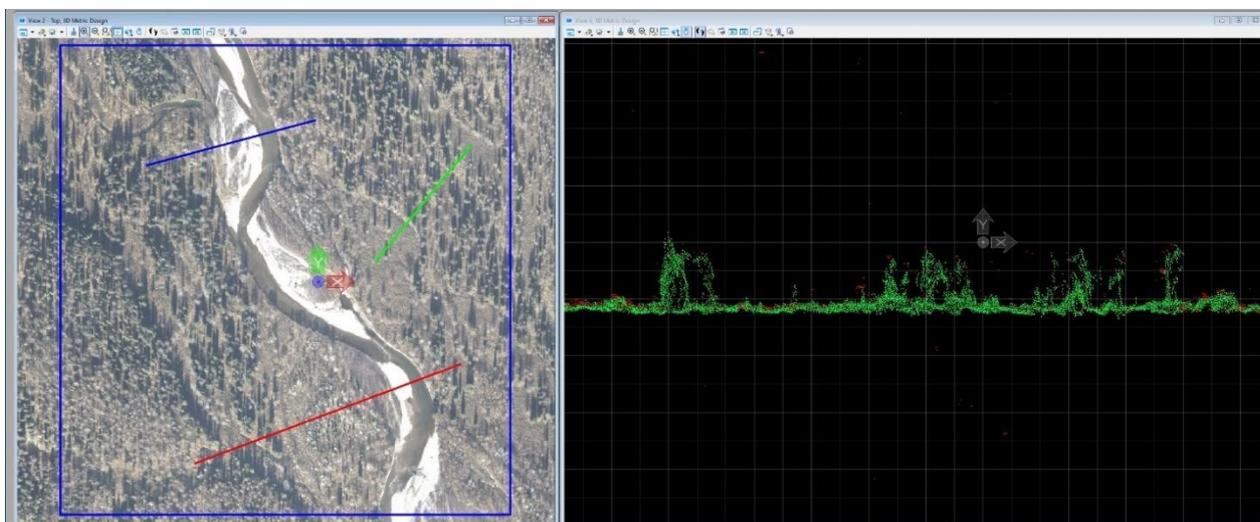


Рис. 8. Редкий высокий лес на плоском участке. Профиль по красной линии.

Красные точки — данные Photomod, зеленые точки — данные Metashape

Fig. 8. Rare high forest on a flat area. Profile along the red line. Red points were generated in Photomod, green points in Metashape

На рис. 9 видно, что оба облака точек не позволяют идентифицировать русловой врез довольно крупного водотока, что говорит об ограниченности возможностей данного вида съемки в части картографирования микрорельефа местности [Zhang, Chen, 2001].

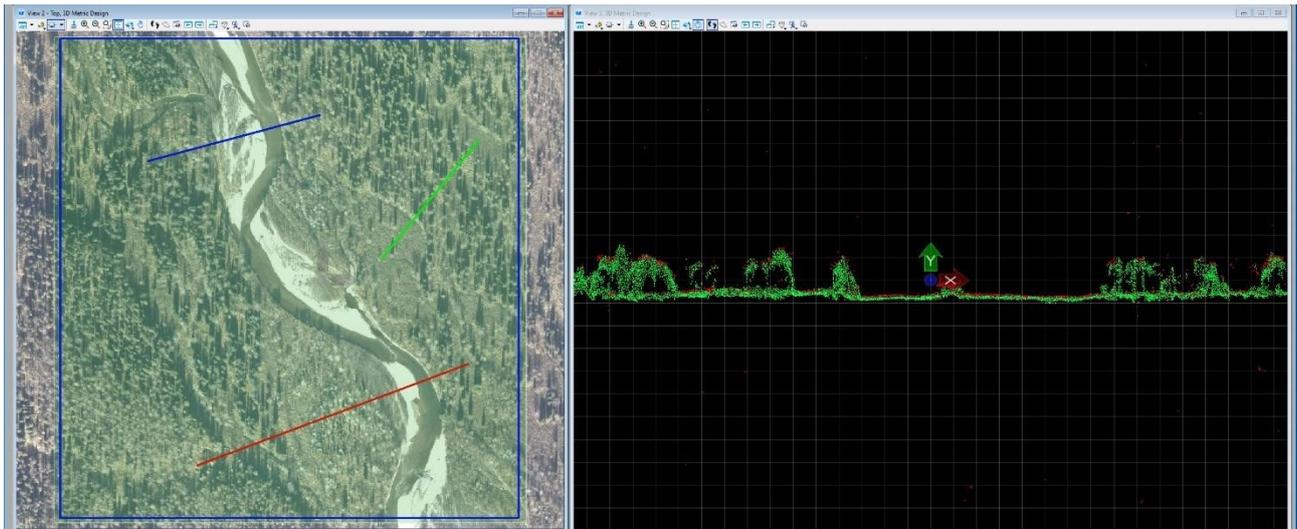


Рис. 9. Редкий высокий лес на участке с отмелями и русловым врезом реки. Профиль по синей линии. Красные точки — данные Photomod, зеленые точки — данные Metashape
Fig. 9. Rare high forest in an area with shallows and a riverbed incision. Profile along the blue line. Red points were generated in Photomod, green points in Metashape

На рис. 10 видно, что в условиях зрелого леса высотой 20–30 м полнота отображения рельефа у материалов, полученных Photomod, очень сильно падает. Качество отрисовки крон деревьев крайне низкое и не позволяет идентифицировать отдельные кроны деревьев, чего нельзя сказать о данных Metashape. Вместе с этим, в более густых участках идентифицировать рельеф не удастся (пробелы в линии рельефа на профиле).

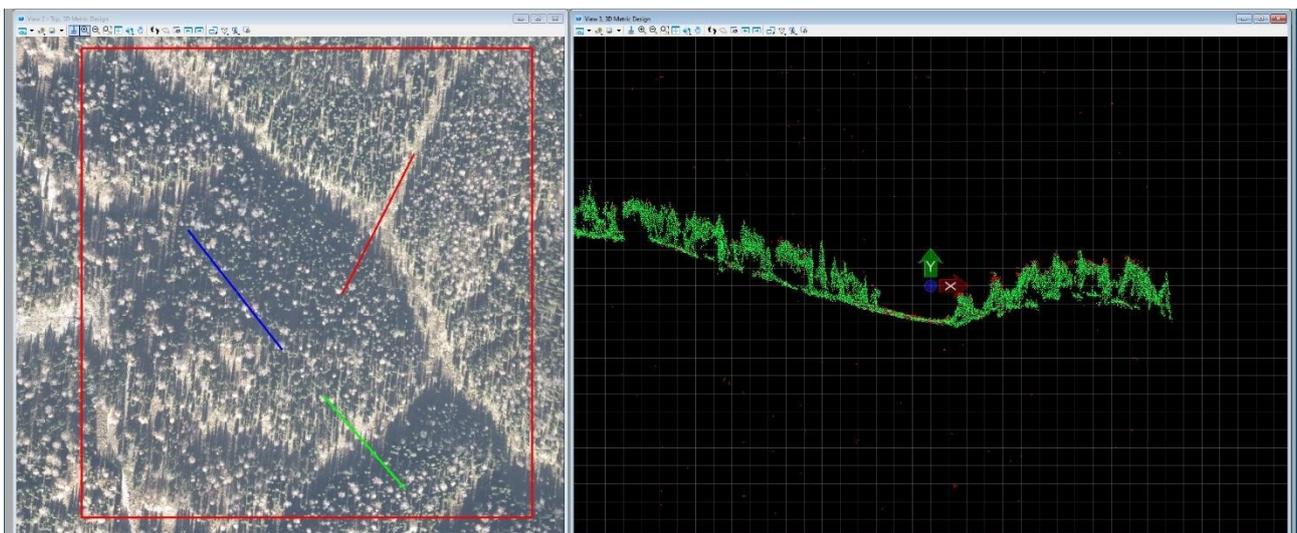


Рис. 10. Высокий лес на холмистом участке с прогалинами. Профиль по зеленой линии. Красные точки — данные Photomod, зеленые точки — данные Metashape
Fig. 10. High forest on a hilly area with clearings. Profile along the green line. Red points were generated in Photomod, green points in Metashape

Из рис. 11 следует, что в условиях густого леса с высотой первого яруса растительности до 25–30 м при высокой сомкнутости крон оба программных продукта показывают наличие обширных пропусков в части отображения рельефа под пологом леса. Плотность точек Photomod значительно ниже плотности точек Metashape в части как растительности, так и рельефа. Отметим, что наличие пропусков в данных, тем не менее, позволяет смоделировать рельеф данной местности [Wilson, 2012], однако он будет существенно менее подробным в части микроформ и общей точности.

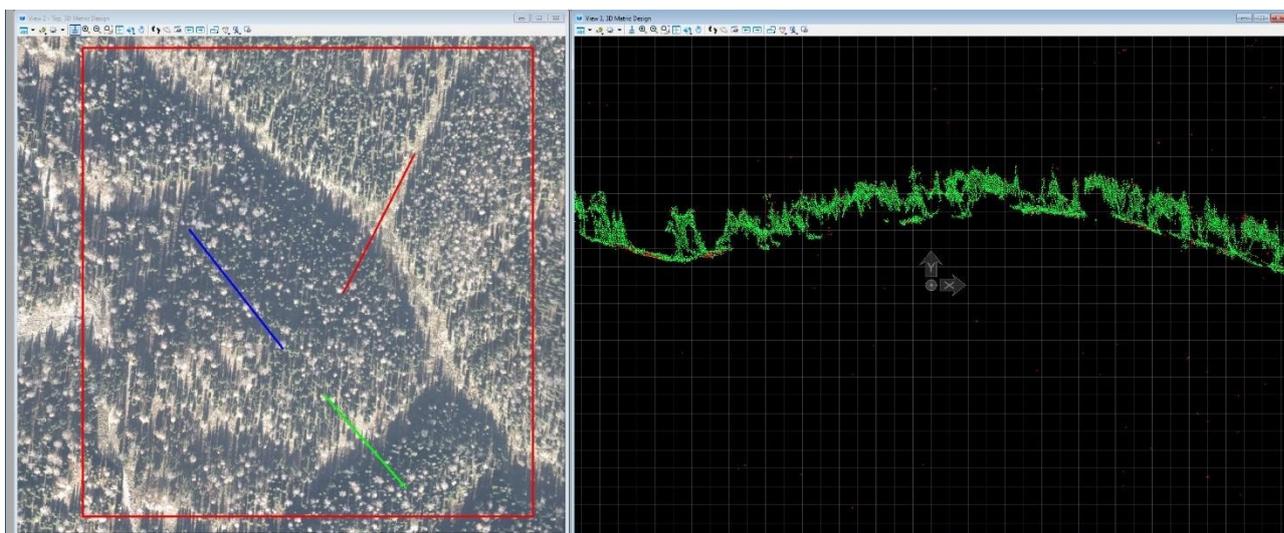


Рис. 11. Высокий и густой лес на холмистом участке. Профиль по синей линии.

Красные точки — данные Photomod, зеленые точки — данные Metashape

Fig. 11. High dense forest in a hilly area. Profile along the blue line. Red points were generated in Photomod, green points in Metashape

ВЫВОДЫ

Отметим, что выполненный залет по своему масштабу, размерам пиксела и другим параметрам соответствует требованиям залета для создания топографических планов 1: 2 000 с сечением рельефа 1 м.

По итогам проделанной работы можно утверждать следующее:

1. Облако точек рельефа, формируемое программным комплексом Photomod, существенно уступает в плотности и подробности облаку точек, формируемых Metashape 2.1.
2. Облако точек растительности, формируемое программным комплексом Photomod, крайне существенно уступает в плотности и подробности облаку точек, формируемому Metashape 2.1. В то время как данные Metashape позволяют идентифицировать отдельные кроны и их форму, материалы из Photomod дают лишь общее представление о высоте растительности.
3. Несмотря на высокую точность уравнивания исходных фотограмметрических блоков, подробность обоих видов данных недостаточна для картографирования мелких форм рельефа с перепадом 0,5–0,7 м (русовые наносы, врезы русел, мелкие водотоки) даже в условиях полностью открытой местности.
4. В условиях пойм с отдельными деревьями, редколесья и зрелого леса средней густоты данные Metashape полностью пригодны для создания продукции 1: 2 000. Данные Photomod имеют меньшую подробность.

5. В условиях густого сомкнутого леса оба программных продукта производят данные, достаточные для отрисовки рельефа с пониженной точностью и подробностью (1: 5 000–1: 10 000).
6. Общее время обработки проекта данных и генерации облаков точек у Metashape в 3,6 раза меньше, чем при использовании Photomod.

Таким образом, в условиях открытой, покрытой редколесьем или лесом средней плотности местности допустимо использовать цифровую аэрофотосъемку для построения цифровых моделей рельефа. Тем не менее, детальность полученных данных даже на открытых территориях недостаточно подробна по сравнению с данными воздушного лазерного сканирования (на которых все микроформы рельефа видны очень хорошо вне зависимости от наличия или отсутствия растительного покрова). В условиях густого леса данные цифровой съемки под масштаб 1: 2 000 недостаточно полны в части отображения форм рельефа и пригодны для производства продукции масштабов 1: 5 000–1: 10 000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тукунов В. С. Основы геоинформатики. Учебное пособие для студентов вузов в 2-х книгах. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 480 с.

Руководство по аэрофотосъемочным работам. М.: Министерство гражданской авиации, 1986. 176 с.

Руководство по аэрофотосъемке в картографических целях. Военно-топографическое управление Генерального Штаба. М.: Редакционно-издательский отдел, 1989. 105 с.

Chandler J. H. Terrain measurement using automated digital photogrammetry. Engineering Geology Special Publications, 2001. V. 18. P. 13–18. DOI:10.1144/GSL.ENG.2001.018.01.02.

Korpela I. Mapping of understory lichens with airborne discrete-return LiDAR data. Remote Sensing of Environment, 2008. V. 112. Iss. 10. P. 3891–3897. DOI: 10.1016/J.RSE.2008.06.007.

Lohr U. Digital elevation models by laser scanning: principle and applications. Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, 1997. P. 174–180.

Mancini F., Dubbini M., Gattelli M., Stecchi F., Fabbri S., Gabbianelli G. Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: the structure from motion approach on coastal environments. Remote Sensing, 2013. V. 5. Iss. 12. P. 6880–6898. DOI: 10.3390/rs5126880.

Rangel J., Goncalves G., Perez J. The impact of number and spatial distribution of GCPs on the positional accuracy of geospatial products derived from low-cost UASs. Remote Sensing, 2018. V. 39. Iss. 21. P. 7154–7171. DOI: 10.1080/01431161.2018.1515508.

Wilson J. Digital terrain modelling. Geomorphology, 2012. V. 137. Iss. 1. P. 107–121. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2011.03.012.

Zhang C., Chen T. Efficient feature extraction for 2D/3D objects in mesh representation. Proceedings of the 2001 International Conference on Image Processing, 2001. P. 935–938. DOI: 10.1109/ICIP.2001.958278.

REFERENCES

Aerial photography guide. Moscow: Ministry of Civil Aviation, 1986. 176 p. (in Russian).

Chandler J. H. Terrain measurement using automated digital photogrammetry. Engineering Geology Special Publications, 2001. V. 18. P. 13–18. DOI:10.1144/GSL.ENG.2001.018.01.02.

Guidance for aerial photography for cartographic purposes. Military topographic administration of High Command. Moscow: Editorial and publishing department, 1989. 105 p. (in Russian).

Kapralov E G., Koshkariov A. V., Tikunov V. S. Basics of geoinformatics. Moscow: Publishing Center “Academia”, 2004. 480 p. (in Russian).

Korpela I. Mapping of understory lichens with airborne discrete-return LiDAR data. *Remote Sensing of Environment*, 2008. V. 112. Iss. 10. P. 3891–3897. DOI: 10.1016/J.RSE.2008.06.007.

Lohr U. Digital elevation models by laser scanning: principle and applications. Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, 1997. P. 174–180.

Mancini F., Dubbini M., Gattelli M., Stecchi F., Fabbri S., Gabbianelli G. Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: the structure from motion approach on coastal environments. *Remote Sensing*, 2013. V. 5. Iss. 12. P. 6880–6898. DOI: 10.3390/rs5126880.

Rangel J., Goncalves G., Perez J. The impact of number and spatial distribution of GCPs on the positional accuracy of geospatial products derived from low-cost UASs. *Remote Sensing*, 2018. V. 39. Iss. 21. P. 7154–7171. DOI: 10.1080/01431161.2018.1515508.

Wilson J. Digital terrain modelling. *Geomorphology*, 2012. V. 137. Iss. 1. P. 107–121. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2011.03.012.

Zhang C., Chen T. Efficient feature extraction for 2D/3D objects in mesh representation. *Proceedings of the 2001 International Conference on Image Processing*, 2001. P. 935–938. DOI: 10.1109/ICIP.2001.958278.
