ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2023;(5):130-141
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 528.837 DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_130

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Р.А. Друзь[1], А.В. Протасова[1], Ш.Р. Охунов[1], А.В. Кшановская[1]

[1] Иркутский национальный исследовательский технический университет, e-mail: druz01@inbox.ru

Аннотация: Проведен анализ результатов съемок, выполненных воздушным лазерным сканированием (ВЛС) и аэрофотосъемкой (АФС) с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) на высокогорных залесенных участках местности. В качестве объекта работ был принят участок «Хохсолах», расположенный в Томпонском районе Республики Саха (Якутия). По результатам полевых работ получены следующие данные: 3D-массив точек лазерных отражений с помощью воздушного лазерного сканирования на базе БПЛА «Геоскан 401 LiDAR»; набор фотографий, полученных с помощью БПЛА «Геоскан 101 Lite». «Облако» точек было классифицировано по принципу земля/не земля. Фактически это цифровая модель истинного рельефа высокой плотности и точности, основа для ортофотопланов, цифровых топографических планов масштабом 1:1000 и мельче, трехмерных моделей рельефа и объектов. Установленный на летательном аппарате (самолете, вертолете) сканер, который работает в импульсном режиме, проводит дискретное сканирование местности и объектов, расположенных на ней. Массив 3D-точек разбит на 10 блоков равной площади. Подсчитана плотность точек на 1 м^2 в каждом блоке. Посчитаны фактическое и теоретическое количество точек рельефа местности. Сравнены данные показатели при обработке АФС и ВЛС.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование, аэрофотосъемка, беспилотный летательный аппарат, топографический план, карта, высокогорные залесенные участки местности, дистанционное зондирование, LiDAR.

Для цитирования: *Друзь Р. А., Протасова А. В., Охунов Ш. Р., Кшановская А. В.* Сравнительная оценка воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 5. – С. 130–141. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_130.

Comparison of airborn laser scanning and aerial survey using unmanned air vehicles

R.A. Druz'[1], A.V. Protasova[1], Sh.R. Ohunov[1], A.V. Kshanovskaja[1]

[1] Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, e-mail: druz01@inbox.ru

Abstract: The data obtained by airborn laser scanning and aerial survey using unmanned air vehicles in mountainous forested areas are analyzed. The test object was Khokhsolakh site in the Tompo district in the Republic of Sakha (Yakutia). The field surveys produced: 3D array of laser reflection points obtained by airborn air scanning using UAV Geoscan 401 LiDAR; a set of photographs obtained using UAV Geoscan 101 Lite. The array of the points was classified

© Р.А. Друзь, А.В. Протасова, Ш.Р. Охунов, А.В. Кшановская. 2023.

using the ground / off-ground principle. Actually, this is a high-density and accuracy digital model of a true terrain, a framework for the orthophotomaps, digital topography at a scale of 1:1000 and smaller, or 3D modeling of terrain and objects. A scanner mounted on a flight vehicle (a plane, a helicopter) performs pulsed discrete scanning of an area and objects located in this area. The 3D array of points is divided to 10 blocks of equal areas. The density of points per 1 square meter is calculated in each block. The theoretical and actual number of the terrain points is counted. These data obtained in airborn laser scanning and aerial survey are compared.

Key words: airborn laser scanning, aerial survey, unmanned air vehicle, topographic plan, map, mountainous forested areas, remote sensing, LiDAR.

For citation: Druz' R. A., Protasova A. V., Ohunov Sh. R., Kshanovskaja A. V. Comparison of airborn laser scanning and aerial survey using unmanned air vehicles. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(5):130-141. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_130.

Введение

В настоящее время инновационные технологии играют важную роль. Современные методы измерения, новое оборудование в геодезии и маркшейдерии дают возможность автоматизировать процесс работ, что сокращает сроки их выполнения и обеспечивает необходимые точность и качество [1]. Приобретает популярность применение при съемке беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). С развитием БПЛА появилась возможность установки разного рода полезной нагрузки — как цифровой фотокамеры, так и лазерного сканирующего устройства (LiDAR). На сегодняшний день передовыми технологиями съемки для создания топографических планов и карт являются ВЛС и АФС [2].

В современной горной отрасли БПЛА применяются для построения цифровых моделей местности и рельефа, а также для подсчета объемов добытых полезных ископаемых на открытых складах. По результатам съемки, выполненной БПЛА, строится ортофотоплан, на основе которого создаются топографические планы и карты [3].

Материалы и методы

Существует несколько разновидностей БПЛА: самолетного типа, вертолетного типа и мультикоптеры (квадрокоптеры, гексакоптеры, октокоптеры) [4]. Использование оборудования первых двух типов предполагает длительную съемку протяженных объектов, а с помощью мультикоптеров возможно оставаться в одной точке, что позволяет увеличить число снимков, например, для составления панорамного фотоизображения [5].

Лазерное сканирование — это технология измерения поверхностей, а точнее, получения пространственных координат характерных точек поверхностей при помощи лазерного сканера [6].

Лазерный сканер — это прибор, позволяющий дистанционно создавать плотное «облако» точек. Прибор излучает лазерные лучи, отражаясь, они возвращаются на датчик прибора и обрабатываются в ПО оборудования.

При этом лазерное сканирование бывает трех видов: наземное, воздушное и мобильное [7].

Воздушное лазерное сканирование — лазерное сканирование, которое производится с воздуха при помощи летательных аппаратов [8].

Аэрофотосъемка с помощью БПЛА — это фотографирование поверхности определенной территории с привязкой к координатным данным и создание се-

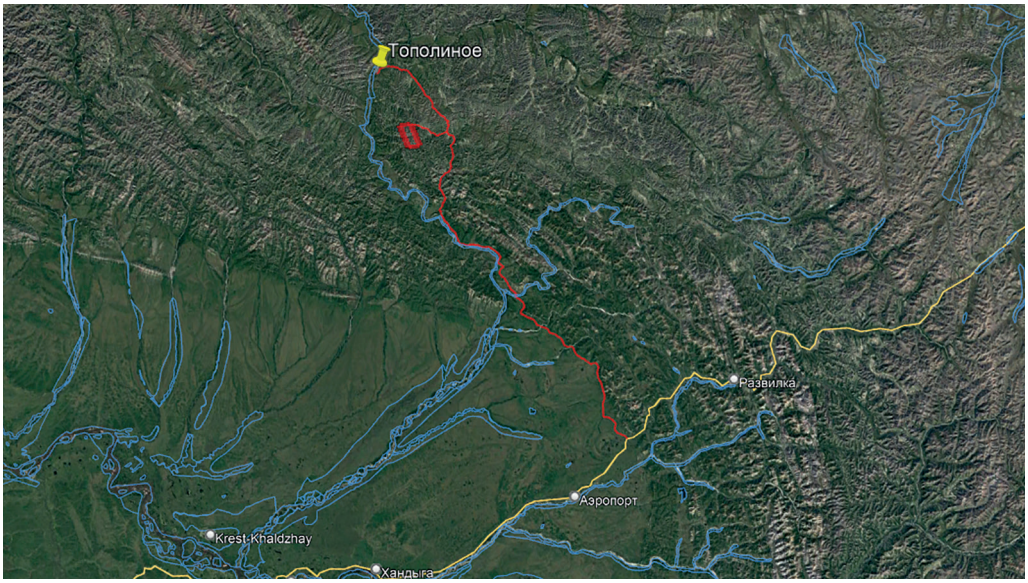

Рис. 1. Обзорная схема расположения участка работ
Fig. 1. Overview diagram of the location of the work site

рий снимков рельефа, которые формируются с небольшим перекрытием [9].

Объект работ — участок «Хохсолах», в административном отношении расположенный на территории Томпонского района Республики Саха (Якутия), на левобережье р. Томпо (правого притока р. Алдан), рис. 1.

В орографическом отношении территория расположена на северном замыкании хребта Сетте-Дабан. Рельеф территории альпинотипный, низко- и среднегорный. Размах абсолютных высотных отметок колеблется от 530 до 1300 м, рис. 2.

Рис. 2. Обзорное фото участка работ
Fig. 2. Overview photo of the work site

Долины водотоков узкие с крутыми (до 40—45°) склонами. Наиболее крупными водотоками, пересекающими площадь работ с востока на запад, являются ручьи Хохсолах, Усун-Юрях, Дягдагындя, которые впадают в р. Томпо. В пределах участка наиболее широкую долину (до 250 м) имеет ручей Дягдагындя. У ручьев Хохсолах, Усун-Юрях ширина долины не превышает десятков метров. Склоны гор изрезаны множеством распадков, рис. 3.

Растительность района относится к горно-таежному типу, распространена, главным образом, по долинам и пониженным участкам склонов (даурская лиственница, тополь, ива, ольха, кедровый стланик, карликовая береза, мох).

ВЛС осуществлялось с применением БПЛА «Геоскан 401 LiDAR», оснащенного лазерным сканером AGM со встро-

енным ГНСС-приемником геодезического класса. Совместно с ВЛС выполнялась АФС с БПЛА «Геоскан 101 Lite». Все работы выполнены в соответствии с ГОСТ Р 59328-2021 «Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования» и ГОСТ Р 59562-2021 «Съемка аэрофототопографическая. Технические требования» [10]. Результаты аэросъемки обработаны в несколько этапов с помощью ПО AGM ScanWorks/PosWorks и Agisoft Metashape Professional [11].

Результаты исследования и их анализ

Выполнен сравнительный анализ результатов, полученных при выполнении ВЛС и аэрофотосъемки с БПЛА высокогорного залесенного участка местности вблизи реки Хохсолох.

Сканирование объекта выполнялось с использованием оборудования «Геоскан 401 LiDAR». В качестве полезной нагрузки на БПЛА установлен лазерный сканер АГМ со встроенным GNSS-приемником и возможностью подключения аэрофотосъемочной камеры Sony A6000 (дальность действия системы сканирования — до 200 м, точность определения положения точки составляет ±30 мм).

При аэрофотосъемке участка использовался БПЛА «Геоскан 101 Lite» (тип планера — «летающее крыло», минимальная высота полета — 100 м, максимальная высота полета — 4000 м, скорость полета — 64—130 км/ч) [12].

Рассмотрены процессы обработки результатов измерений. ВЛС было обработано с использованием (ПО) AGM ScanWorks/PosWorks. Аэрофотосъемка обработана с использованием (ПО) Agisoft Metashape Professional [13]. В обработке ортофотоплана и «облака» точек первой ступенью является классифицирование точек и отрисовка контуров объектов поверхности. Обработка осуществляется в программе MicroStation

Рис. 3. Границы участка работ
Fig. 3. The boundaries of the work area

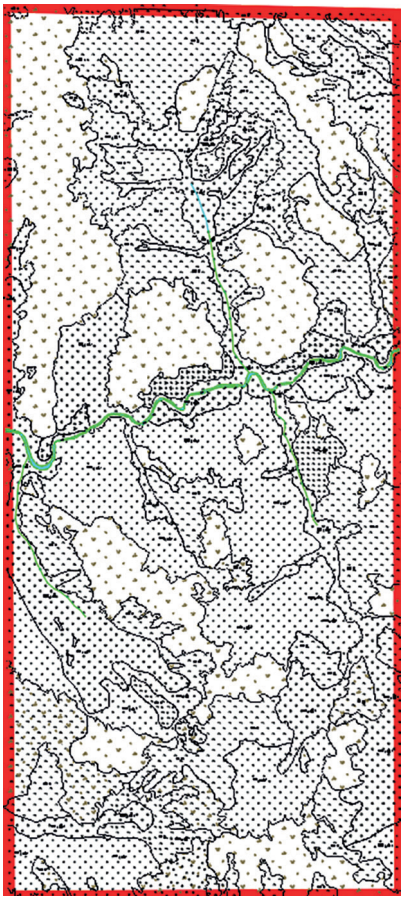

Рис. 4. Контурный план
Fig. 4. Contour plan

Рис. 5. Ортофотоплан
Fig. 5. Orthophotoplan

и AutoCAD Civil 3D [14]. В AutoCAD Civil 3D происходит общее редактирование. Конечным итогом работ являются цифровые топографические планы М 1:1000 с сечением рельефа горизонталями через 1 м. Построенный контурный план по итогам работ показан на рис. 4. Отметим, что пространственное разрешение ортофотоплана составило 10 см/пкс.

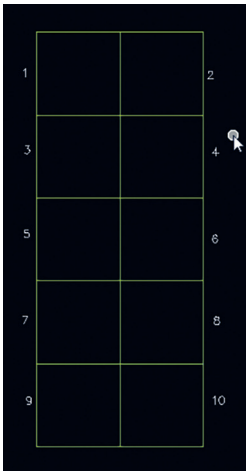

Рис. 6. Блоки для участка съемки
Fig. 6. Blocks for the survey area

Ввиду небольшой дальности сканера в местах резких перепадов высот были «дыры» в облаке точек, что требовало дополнительных полетов для перекрытия этих участков; дальнейшее полетное задание составлялось с учетом опыта предыдущих съемок (рис. 5) [15].

По полученным данным можно сделать вывод о корректном выполнении двух методов съемки.

Обсуждение

Для анализа данных при воздушном лазерном сканировании и аэрофотосъемке была принята следующая методика исследования. С помощью ПО Micro Station производилась классификация точек воздушного лазерного сканирования и данных, полученных при обработке аэрофотосъемки. По итогам классификации были выделены точки рельефа местности.

Для подробного анализа ВЛС и АФС участок съемки был разбит на 10 блоков размером 528×528 м (рис. 6).

Для наглядного понимания полноты заполнения рельефа местности точками были проведены 2 разреза по блокам *1* (рис. 7) и *2* (рис. 8).

Полнота заполнения площади точками рельефа показана на рис. 9.

Для точного анализа данных приведены скриншоты палаточного городка при съемке с помощью ВЛС (рис. 10, *а*) и АФС (рис. 10, *б*).

Для расчета заполнения площади земной поверхности точками рельефа была вычислена плотность точек на 1 м^2. Рассчитано теоретическое количество точек, при которых блок будет заполнен на 100%, и проведено сравнение с фактическим количеством. Результаты расчетов приведены в таблице.

На основании вычисленных данных были составлены столбчатые диаграммы сравнений плотностей точек и процентов заполнения пространства.

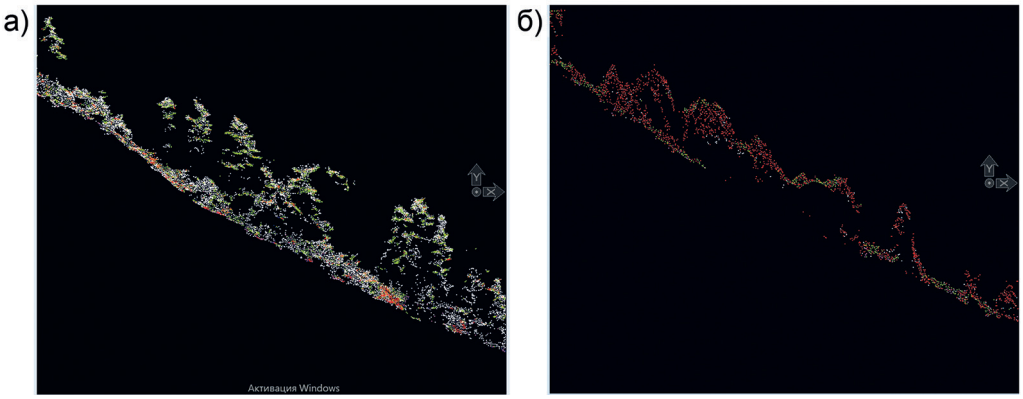

Рис. 7. Анализ полноты данных при ВЛС (а) и АФС (б) на примере блока 1
Fig. 7. Analysis of the completeness of data for VLS (a) and APS (b) using the example of block 1

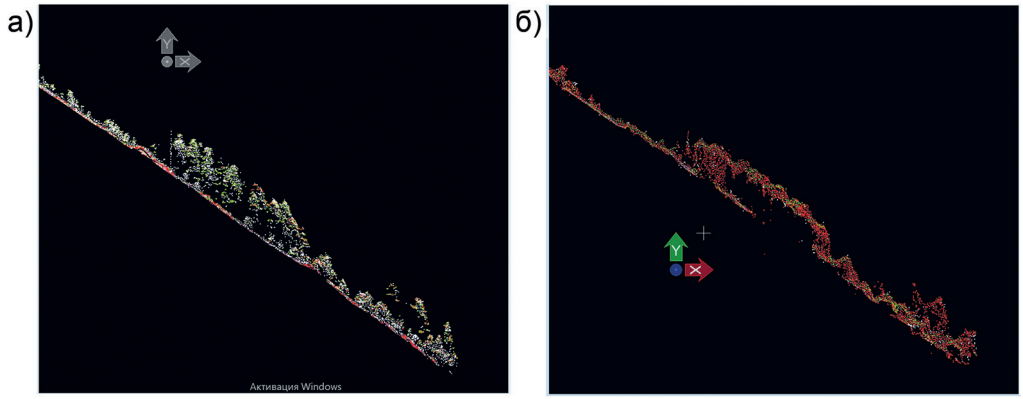

Рис. 8. Анализ полноты данных при ВЛС (а) и АФС (б) на примере блока 2
Fig. 8. Analysis of the completeness of data for VLS (a) and APS (b) using the example of block 2

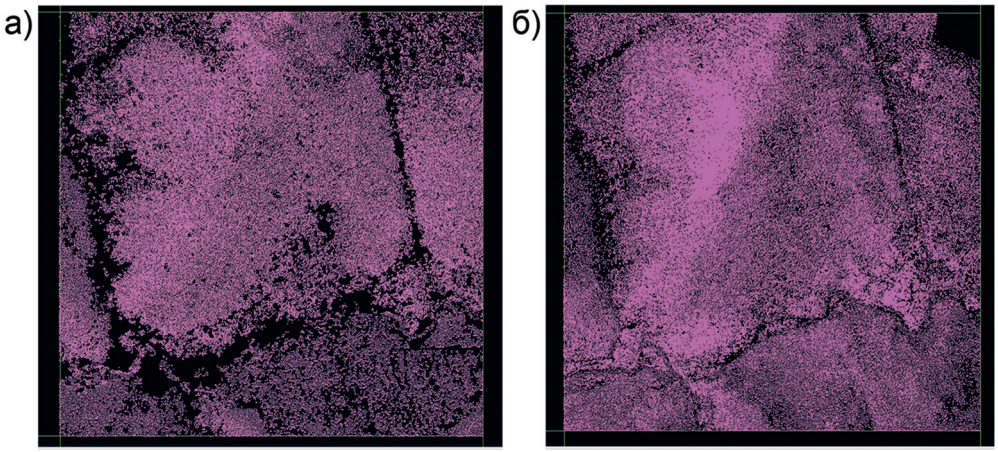

Рис. 9. Наглядность заполнения точками рельефа при АФС (а) и ВЛС (б) в плане на примере блока 4
Fig. 9. Visualization of filling with relief points during APS (a) and VLS (b) in plan using the example of block 4

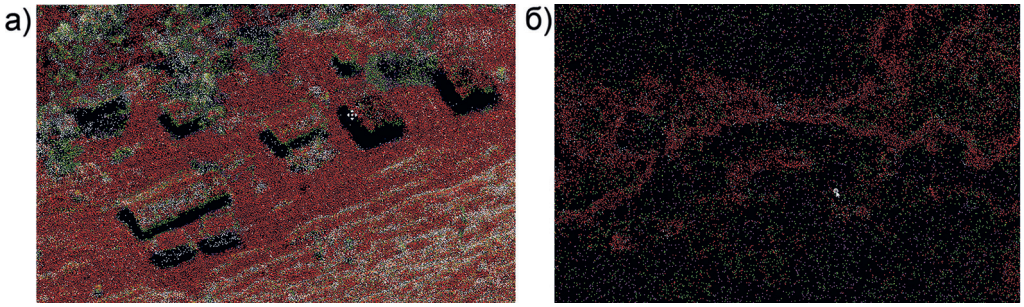

Рис. 10. Анализ полноты данных при съемке палаточного городка при ВЛС (а) и АФС (б)
Fig. 10. Analysis of data completeness when surveying a tent camp during VLS (a) and APS (b)

По итогам подсчета процентов заполнений площади земной поверхности точками лазерных отражений (ТЛО) и точками, полученными после обработки АФС, были получены следующие результаты:

- при ВЛС процент покрытия площади земной поверхности варьируется от 73% до 97%;
- при АФС этот же показатель не превышает 23%, что в 3 раза меньше, чем при ВЛС. Это связано с тем, что на участке имеются места с плотным лесным массивом (рис. 11).

Плотность точек при ВЛС превышает плотность точек при АФС в 2,5 раза (рис. 12).

Был определен уровень перекрытия земной поверхности кронами деревьев, при котором рекомендуется изменить метод съемки с АФС на ВЛС. Для этого были выбраны 6 участков леса с разными плотностями деревьев и перекрытием кронами.

Фактические и теоретические характеристики точек в блоках
Actual and theoretical characteristics of points in blocks

Характеристики	ВЛС			
	блоки			
	1	4	5	8
Площадь блока, м^2	279 084,3	279 084,3	279 084,3	279 084,3
Фактическое число точек в блоке, шт.	1 627 391	2 697 789	2 515 972	1 997 696
Плотность точек, шт. / м^2	8	10	10	9,6
Теоретическое число точек в блоке, шт.	2 232 674	2 790 843	2 790 843	2 679 209
Процентное соотношение фактического числа точек к теоретическому числу, %	72,89	96,67	90,15	74,56

Характеристики	АФС			
	блоки			
	1	4	5	8
Площадь блока, м^2	279 084,3	279 084,3	279 084,3	279 084,3
Фактическое число точек в блоке, шт.	281 555	200 350	219 272	216 680
Плотность точек, шт. / м^2	4,4	3,6	4,1	3,7
Теоретическое число точек в блоке, шт.	1 227 971	1 004 703	1 144 244	1 032 612
Процентное соотношение фактического числа точек к теоретическому числу, %	22,93	19,94	19,16	20,98

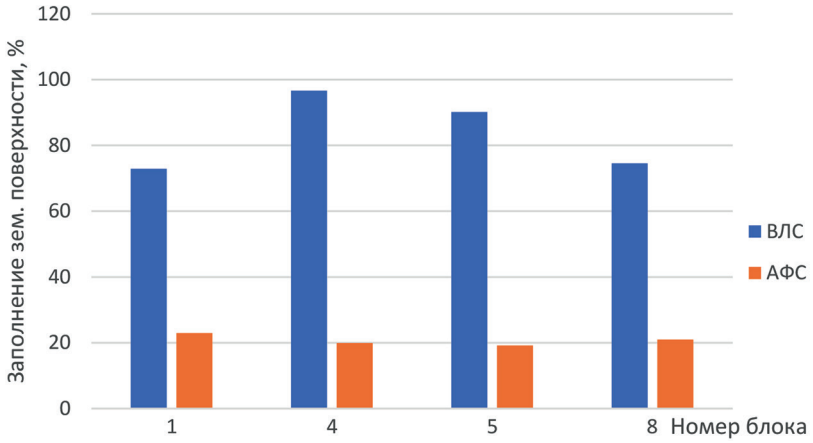

Рис. 11. Диаграмма сравнения заполнения земной поверхности точками, полученными при ВЛС и обработке АФС

Fig. 11. Chart comparing the filling of the earth's surface with points obtained during VLS and APS processing

На основании заполнения точками площади земли в этих участках было проведено сравнение результатов аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования.

Необходимо отметить, что при перекрытии кронами деревьев поверхности земли более чем на 55% в облаке точек АФС наблюдается неполнота данных. Соответственно, в связи с этим нельзя объективно оценивать рельеф местности в данных участках.

Заключение

По результатам сравнительной оценки выделены преимущества ВЛС и АФС на объекте работ [16—21]. ВЛС целесообразно использовать в условиях съемки участков земной поверхности с плотным лесным массивом по следующим причинам:

- позволяет передать фактический рельеф местности за счет того, что сканер, работающий в импульсном режиме, проводит дискретное сканирование

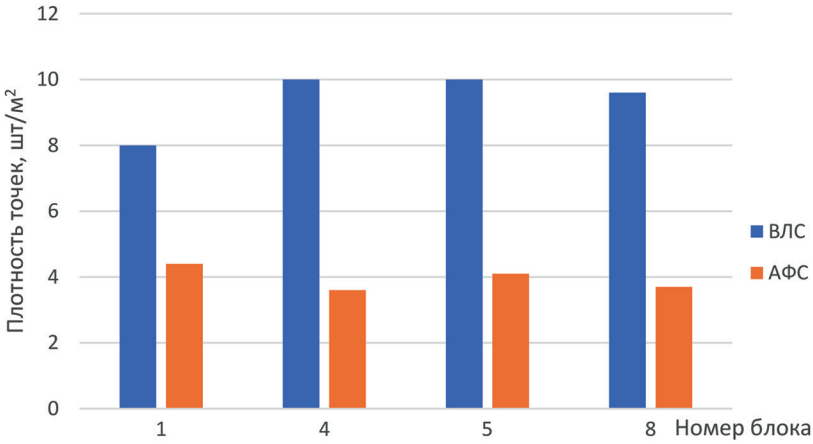

Рис. 12. Диаграмма сравнения плотностей точек, полученных при ВЛС и обработке АФС

Fig. 12. Chart comparing the densities of points obtained during VLS and APS processing

местности и объектов, в результате формируется плотное облако точек даже в условиях густой залесенности;

- обеспечивает среднюю квадратическую ошибку цифровых моделей рельефа, равную 15 см;
- результаты могут быть получены при камеральной обработке в любой системе координат;
- может выполняться на объектах с любой сложностью рельефа и независимо от времени суток.

При создании топографических планов для участков с лесным массивом и значительным перепадом абсолютных высот применение ВЛС предпочтительно, так как у данного вида съемки относительно АФС процент покрытия площади земной поверхности точками рельефа в 3 раза выше.

В случаях отсутствия лесного массива (например, карьер) и при съемках больших площадей рациональней использовать аэрофотосъемку с помощью БПЛА. АФС также позволяет получить большой массив данных и обеспечить высокую точность.

По точности оба метода соответствуют требованиям, предъявляемым к планам масштаба 1:1000.

При съемке участков, в которых встречаются площади с лесным массивом, имеющим кроны деревьев, перекрывающие поверхность земли более чем на 55%, рекомендуется использовать воздушное лазерное сканирование, так как аэрофотосъемка не может в полном объеме обеспечить объективность рельефа местности.

Стоит отметить, что оба метода в отдельности не решают всех задач, возникающих при съемке залесенных высокогорных участков обширной площади, что требует индивидуального подхода к решению задач и разработки комплексного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брынь М. Я.*, *Баширова Д. Р.* Сравнительная оценка эффективности мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов при съемке автомобильных дорог // Вестник СГУГиТ. — 2021. — Т. 26. — № 3. — С. 20—27. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-3-200-27.

2. *Рыльский И. А.* Лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка: новый уровень детальности // Геоматика. — 2015. — № 4. — С. 53—56.

3. *Косоногов П. В.*, *Филатова А. В.* Применение беспилотных летательных аппаратов для решения картографических задач в г. Самара // Вестник научных конференций. — 2017. — № 10-4 (26). — С. 47—48. DOI: 10.17117/cn.2017.10.04.

4. *Костин А. С.* Классификация гражданских беспилотных летательных аппаратов и сферы их применения // Системный анализ и логистика. — 2019. — № 1. — С. 70—80.

5. *Полякова Е. В.*, *Гофаров М. Ю.* Применение аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата при составлении цифровой модели местности (на примере субантарктического термального урочища Пымвашор) // Известия Коми научного центра УрО РАН. — 2012. — № 3(11). — С. 52—55.

6. *Солодунов А. А.*, *Сарксян Л. Д.* Воздушное лазерное сканирование / Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник тезисов по материалам Всероссийской (национальной) конференции. — Краснодар: КубГАУ, 2019. — С. 494—495.

7. *Andriolo U., Gonçalves G., Bessa F., Sobral P.* Mapping marine litter on coastal dunes with unmanned aerial systems. A showcase on the Atlantic Coast // Science of the Total Environment. 2020, vol. 736, article 139632. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139632.

8. *Kim M., Stoker J., Irwin J., Danielson J., Park S.* Absolute accuracy assessment of lidar point cloud using amorphous objects, USA // Remote Sensing. 2022, vol. 14, no. 19, article 4767. DOI: 10.3390/rs14194767.

9. *Хлебникова Т. А.*, *Ямбаев Х. К.*, *Опритова О. А.* Разработка технологической схемы сбора и обработки данных аэрофотосъемки с использованием беспилотных авиационных систем для моделирования геопространства // Вестник СГУГиТ. — 2020. — Т. 25. — № 1. — С. 106—118. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-106-118.

10. *Баборыкин М. Ю.* Воздушное лазерное сканирование — нормативно-технические документы и регулирование ценообразования // Наука и мир. — 2017. — № 6-2(46). — С. 70—73.

11. *Кочнева А. А.*, *Мальченко Е. Л.* Оценка качества цифровых моделей рельефа, построенных по данным воздушного лазерного сканирования / Научные тенденции: вопросы точных и технических наук. Сборник научных трудов по материалам VI международной научной конференции. — СПб.: ЦНК МНИФ «Общественная наука», 2017. — С. 48—51. DOI: 10.18411/spc-12-05-2017-16.

12. *Талыпов К. К.*, *Назаралиева А. Т.*, *Суюмкулов А. А.*, *Альбрехт А. С.* О вычислительных экспериментах по обработке данных аэрофотосъемки с БПЛА «Геоскан 201» // Наука и инновационные технологии. — 2019. — № 11. — С. 7—15.

13. *Талыпов К. К.*, *Назаралиева А. Т.*, *Суюмкулов А. А.* Обработка данных аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата в прикладных задачах // Вестник Кыргызского национального университета имени Жусупа Баласагына. — 2019. — № S1. — С. 49—51.

14. *Шарох Н. Н.*, *Гуцаки М. А.* Технология обработки материалов аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов // Земля Беларуси. — 2019. — № 3. — С. 28—31.

15. *Реджепов М. Б.*, *Колесникова С. А.* Анализ применения наземного и воздушного лазерного сканирования / Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства. Материалы I Международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ. — Воронеж: ВГАУ, 2019. — С. 292—300.

16. *Хабарова И. А.*, *Хабаров Д. А.*, *Яворская И. Д.*, *Иванов И. Н.* Обзор современных достижений в фотограмметрии и аэрофотосъемке // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». — 2019. — № 4-2. — С. 15—33.

17. *Согорин А. А.* Исследование точности воздушного лазерного сканирования // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. — 2022. — Т. 1. — С. 479—484.

18. *Suziedelyte-Visockiene J., Puziene R., Stanionis A., Tumeliene E.* Unmanned aerial vehicles for photogrammetry: Analysis of orthophoto images over the territory of Lithuania // International Journal of Aerospace Engineering. 2016, vol. 2016, article 4141037. DOI: 10.1155/2016/4141037.

19. *Nurunnabi A., Teferle F. N., Li J., Lindenbergh R. C., Hunegnaw A.* An efficient deep learning approach for ground point filtering in aerial laser scanning point clouds / The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2021, pp. 24—31. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2021-31-2021.

20. *Noordermeer L.*, *Orka H. O.*, *Bollandsås O. M.*, *Næsset E., Gobakken T.* Comparing the accuracies of forest attributes predicted from airborne laser scanning and digital aerial photogrammetry in operational forest inventories // Remote Sensing of Environment. 2019, vol. 226, no. 2-3, pp. 26—37. DOI: 10.1016/j.rse.2019.03.027.

21. *Yifang Shi, Tiejun Wang, Skidmore A. K., Heurich M.* Improving LiDAR-based tree species mapping in Central European mixed forests using multi-temporal digital aerial colour-infrared photographs // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2020, vol. 84, article 101970. DOI: 10.1016/j.jag.2019.101970. ГИАБ

REFERENCES

1. Bryn M. Ya., Bashirova D. R. Comparative evaluation of the effectiveness of mobile laser scanning and aerial photography from unmanned aerial vehicles when shooting roads. *Vestnik*

SSUGT. 2021, vol. 26, no. 3, pp. 20 – 27. [In Russ]. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-3-200-27.

2. Rylsky I. A., Laser scanning and digital aerial photography: a new level of detail. *Geomatics*. 2015, no. 4, pp. 53 – 56. [In Russ].

3. Kosonogov P. V., Filatova A. V. The use of unmanned aerial vehicles for solving cartographic problems in Samara. *Vestnik nauchnykh konferentsiy*. 2017, no. 10-4 (26), pp. 47 – 48. [In Russ]. DOI: 10.17117/cn.2017.10.04.

4. Kostin A. S. Classification of civil unmanned aerial vehicles and their applications. *Sistemnyy analiz i logistika*. 2019, no. 1, pp. 70 – 80. [In Russ].

5. Polyakova E. V., Gofarov M. Yu. Application of aerial photography from an unmanned aerial vehicle in compiling a digital terrain model (on the example of the subantarctic thermal tract Pymvashor). *Proceedings of the Komi Science centre Ural branch Russian academy of sciences*. 2012, no. 3(11), pp. 52 – 55. [In Russ].

6. Solodunov A. A., Sarksyan L. D. Airborne laser scanning. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa. Sbornik tezisov po materialam Vserossiyskoy (natsional'noy) konferentsii* [Scientific support of the agro-industrial complex. Collection of abstracts based on the materials of the All-Russian (national) conference], Krasnodar, KubGAU, 2019, pp. 494 – 495. [In Russ].

7. Andriolo U., Gonçalves G., Bessa F., Sobral P. Mapping marine litter on coastal dunes with unmanned aerial systems. A showcase on the Atlantic Coast. *Science of the Total Environment*. 2020, vol. 736, article 139632. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139632.

8. Kim M., Stoker J., Irwin J., Danielson J., Park S. Absolute accuracy assessment of lidar point cloud using amorphous objects, USA. *Remote Sensing*. 2022, vol. 14, no. 19, article 4767. DOI: 10.3390/rs14194767.

9. Khlebnikova T. A., Yambaev Kh. K., Opritova O. A. Development of a technological scheme for collecting and processing aerial photography data using unmanned aerial systems for geospatial modeling. *Vestnik SSUGT*. 2020, vol. 25, no. 1, pp. 106 – 118. [In Russ]. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-106-118.

10. Baborykin M. Yu. Airborne laser scanning — normative and technical documents and pricing regulation. *Science and world*. 2017, no. 6-2(46), pp. 70 – 73. [In Russ].

11. Kochneva A. A., Malchenko E. L. Evaluation of the quality of digital elevation models built from airborne laser scanning data. *Nauchnye tendentsii: voprosy tochnykh i tekhnicheskikh nauk. Sbornik nauchnykh trudov po materialam VI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Scientific trends: questions of exact and technical sciences: collection of scientific papers based on materials VI international scientific conference], Saint-Petersburg, 2017, pp. 48 – 51. [In Russ]. DOI: 10.18411/spc-12-05-2017-16.

12. Talypov K. K., Nazaralieva A. T., Suyumkulov A. A., Albrekht A. S. On computational experiments on processing aerial photography data from the UAV «Geoscan 201». *Science and Innovative Technologies*. 2019, no. 11, pp. 7 – 15. [In Russ].

13. Talypov K. K., Nazaralieva A. T., Suyumkulov A. A. Processing of aerial photography data from an unmanned aerial vehicle in applied problems. *Vestnik Kyrgyzskogo natsional'nogo universiteta imeni Zhusupa Balasagyna*. 2019, no. S1, pp. 49 – 51. [In Russ].

14. Sharokh N. N., Gutsaki M. A. Technology of processing aerial photography materials from unmanned aerial vehicles. *Zemlya Belarusi*. 2019, no. 3, pp. 28 – 31. [In Russ].

15. Redzhepov M. B., Kolesnikova S. A. Analysis of the application of ground and air laser scanning. Aktual'nye problemy zemleustroystva, kadastra i prirodoobustroystva. *Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii fakul'teta zemleustroystva i kadastrov VGAU* [Actual problems of land management, cadastre and environmental management. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference of the Faculty of Land Management and Cadastre of the Voronezh State Agrarian University], Voronezh, VGAU, 2019, pp. 292 – 300. [In Russ].

16. Khabarova I. A., Khabarov D. A., Yavorskaya I. D., Ivanov I. N., Review of modern achievements in photogrammetry and aerial photography. *Integral. International Journal of Applied Science and Technology*. 2019, no. 4-2, pp. 15 — 33. [In Russ].

17. Sogorin A. A. Investigation of the accuracy of air laser scanning. *Problemy razrabotki mestorozhdeniy uglevodorodnykh i rudnykh poleznykh iskopaemykh*. 2022, vol. 1, pp. 479 — 484. [In Russ].

18. Suziedelyte-Visockiene J., Puziene R., Stanionis A., Tumeliene E. Unmanned aerial vehicles for photogrammetry: Analysis of orthophoto images over the territory of Lithuania. *International Journal of Aerospace Engineering*. 2016, vol. 2016, article 4141037. DOI: 10.1155/2016/4141037.

19. Nurunnabi A., Teferle F. N., Li J., Lindenbergh R. C., Hunegnaw A. An efficient deep learning approach for ground point filtering in aerial laser scanning point clouds. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2021, pp. 24 — 31. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2021-31-2021.

20. Noordermeer L., Orka H. O., Bollandsås O. M., Næsset E., Gobakken T. Comparing the accuracies of forest attributes predicted from airborne laser scanning and digital aerial photogrammetry in operational forest inventories. *Remote Sensing of Environment*. 2019, vol. 226, no. 2-3, pp. 26 — 37. DOI: 10.1016/j.rse.2019.03.027.

21. Yifang Shi, Tiejun Wang, Skidmore A. K., Heurich M. Improving LiDAR-based tree species mapping in Central European mixed forests using multi-temporal digital aerial colour-infrared photographs. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020, vol. 84, article 101970. DOI: 10.1016/j.jag.2019.101970.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Друзь Руслан Александрович[1] — студент,
e-mail: druz01@inbox.ru,
Протасова Ангелина Вячеславовна[1] — студент,
e-mail: aprotasova435@gmail.com,
Охунов Шариф Рустамжанович[1] — старший преподаватель, e-mail: okhunov-88@mail.ru,
Кшановская Алина Владиславовна[1] — старший преподаватель, e-mail: alinakshan@yandex.ru,
[1] Иркутский национальный исследовательский технический университет.
Для контактов: Друзь Р.А., e-mail: druz01@inbox.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

R.A. Druz'[1], Student,
e-mail: druz01@inbox.ru,
A.V. Protasova[1], Student,
e-mail: aprotasova435@gmail.com,
Sh.R. Ohunov[1], Senior Lecturer,
e-mail: okhunov-88@mail.ru,
A.V. Kshanovskaja[1], Senior Lecturer,
e-mail: alinakshan@yandex.ru,
[1] Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 664074, Russia.
Corresponding author: R.A. Druz', e-mail: druz01@inbox.ru.

Получена редакцией 24.10.2022; получена после рецензии 17.02.2023; принята к печати 10.04.2023.
Received by the editors 24.10.2022; received after the review 17.02.2023; accepted for printing 10.04.2023.