

Н.И. Башарин

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия

СРАВНЕНИЕ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ С ФОТОГРАММЕТРИЕЙ С БПЛА ПРИ СЪЕМКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЯКУТИИ

Аннотация. В настоящее время картография и дистанционное зондирование стремительно развиваются в связи с появлением различных современных технологий. GNSS технологии позволили определить местоположение объекта в пространстве с точностью до первых сантиметров, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) дали возможность получения разновременных аэрофотоснимков местности и существенно снизили временные затраты на полевые исследования, лазерное сканирование (Лидар) позволило проводить съемку местности с точностью до миллиметров. С целью мониторинга геокриологических процессов на автомобильных дорогах, летом 2021 г. нами были проведены съемки участков с наземного лазерного сканера (НЛС) Trimble TX8 и с помощью БПЛА DJI Phantom 4 Adv RTK/PPK с дополнительным на борту высокоточным геодезическим GNSS приемником EmlidReach RTK, в большинстве которых идет в термокарстовый процесс. На исследуемых участках на дорожном полотне наблюдаются просадки, которые формируют волнистую поверхность на автодороге. Причиной образования такой поверхности является вытаивание подземных льдов и образования просадочного микрорельефа – былларов. Эти просадочные формы рельефа имеют отчетливый полигональный рисунок. Проведен сравнительный анализ затрат времени и точность съемки каждого метода. Как показал анализ, во всех этапах временные затраты на съемку с НЛС оказались больше примерно в 2 раза. Несмотря на большие временные затраты, самым важным и огромным преимуществом НЛС перед БПЛА является высокая точность сбора, близкая к реальным значениям рельефа. В зависимости от поставленных целей и задач данные методы съемки можно использовать, как по отдельности, так и в комплексе, где они прекрасно дополняют друг друга. На данном этапе исследования мы получили первичные данные о поверхности, для ежегодного мониторинга просадки дорожного полотна.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, мерзлотные ландшафты, термокарст, повторно-жильные льды, картографирование, фотограмметрия, БПЛА, лазерное сканирование, DJI, Trimble.

N.I. Basharin

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

COMPARISON OF TERRESTRIAL BASED LIDAR WITH UAV PHOTOGRAMMETRY WHEN SURVEYING ROADS IN YAKUTIA

Abstract. Currently, cartography and remote sensing are rapidly developing in connection with the emergence of various modern technologies. GNSS technologies made it possible to determine the location of an object in space with an accuracy of the first centimeters, unmanned aerial vehicles (UAVs) made it possible to obtain aerial photographs of the area at different times and significantly reduced the time spent on field research, LiDAR made it possible to survey the area with an accuracy of millimeters. In order to monitor geocryological processes on highways, in the summer of 2021, we surveyed areas with a terrestrial based LiDAR (TBL) Trimble TX8 and with UAV a DJI Phantom 4 Adv RTK/PPK. On the investigated sections on the roadbed, subsidence was observed, which form an undulating surface on the road. The reason for the formation of such a surface was the thawing of underground ice and the formation of the formation of subsidence microrelief – *byllars*. These subsidence landforms have a distinct polygonal pattern. A comparative analysis was carried out in terms of time consumption and shooting accuracy. As the analysis showed, at all stages, the surveying from the TBL took twice as much time. Despite the large time costs, the most important and huge advantage of the TBL over the UAV was the high

БАШАРИН Николай Ильич – м.н.с, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. E-mail: Nikolay_B89@mail.ru

BASHARIN Nikolay Ilyich – Junior Researcher, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. E-mail: Nikolay_B89@mail.ru

acquisition accuracy, close to the real values of the relief. Depending on the goals and objectives, these survey methods can be used both individually and in combination, where they perfectly complement each other. At this stage of the study, we received primary data on the surface for the annual monitoring of the roadway subsidence.

Keywords: permafrost, permafrost landscape, thermokarst, wedge ice, mapping, photogrammetry, UAV, LiDAR, DJI, Trimble.

Введение

В настоящее время картография и дистанционное зондирование стремительно развиваются в связи с появлением различных современных технологий. Хотелось бы отметить технологии, которые за последние 10 лет произвели революцию в точности и скорости съемки:

- Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) технологии высокоточного позиционирования;
- различные виды съемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);
- лазерное сканирование (LiDAR).

ГНСС технологии позволили определить местоположение объекта в пространстве с точностью до первых сантиметров, БПЛА дали возможность получения разновременных аэрофотоснимков местности и существенно снизили временные затраты на полевые исследования [1], лазерное сканирование позволило проводить съемку местности с точностью до миллиметров.

С целью мониторинга геокриологических процессов на автомобильных дорогах, летом 2021 г. нами были проведены съемки участков с наземного лазерного сканера (НЛС) и с помощью беспилотного летательного аппарата, в большинстве которых идет в термокарстовый процесс.

Методы исследования

Аэрофотосъемка на исследуемых участках проводилась беспилотным летательным аппаратом DJI Phantom 4 Adv RTK/PPK с дополнительным на борту высокоточным геодезическим GNSS приемником EmlidReach RTK, который в момент фотографирования определял координаты с сантиметровой точностью (рис. 1). Геодезический бортовой приемник синхронизирован с камерой и записывает координаты со спутников в момент срабатывания затвора камеры. В качестве базовой станции для полетов использовался GNSS приемник EmlidReach RS+. Она стоит неподвижно в течение всего полета и записывает координаты.



Рисунок 1 – Квадрокоптер DJI Phantom 4 Advanced с установленным на него высокоточным GNSS оборудованием EmlidReach RTK

На следующем этапе выполняется постобработка GNSS измерений для определения высокоточных координат изображений. Постобработка проводилась в программном обеспечении

Toposetter 2.0 Pro (рис. 2). В программу загружаются снимки, снятые на квадрокоптере, файлы с координатами с квадрокоптера и с базовой станции. Далее после обработки полученные координаты центров фотографирования были вписаны на каждый снимок.

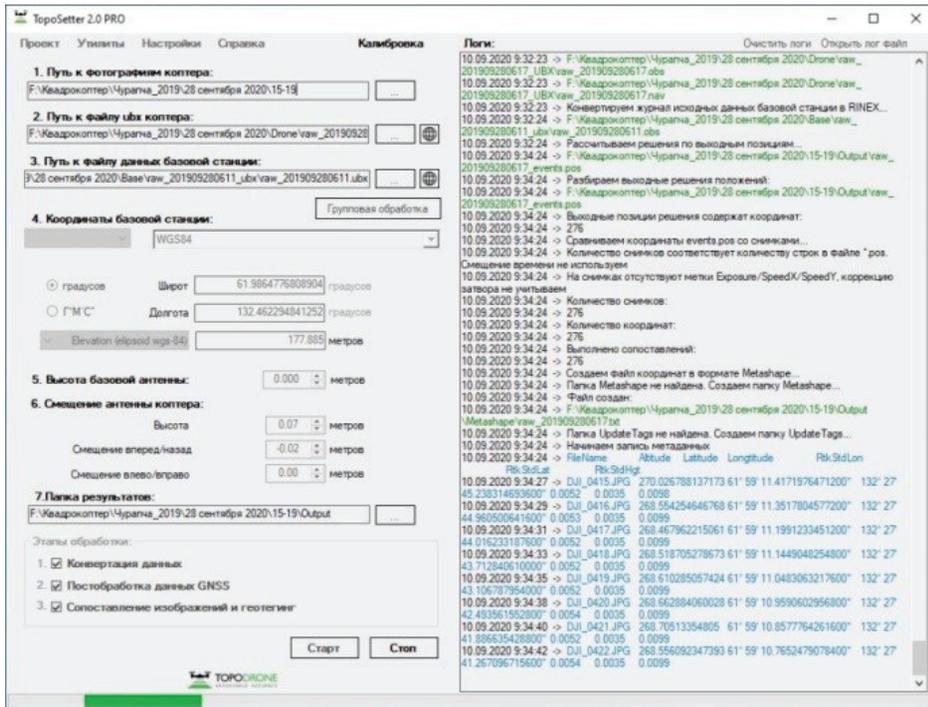


Рисунок 2 – Процесс вписания координат центров фотографирования на снимки

Дальнейшая обработка материалов аэрофотосъемки проводилась в программном обеспечении Agisoft Metashape и включала в себя несколько этапов: уравнивание снимков (создание разреженного облака точек), проверка и аффинное преобразование облака по точкам планово-высотного обоснования (ПВО), построение плотного облака точек, а на его основе – ЦММ (рис. 3) и ортофотоплана [2].

Съемки были проведены с высоты 150 м. С такой высоты можно получить разрешение ортофотоплана и карты высот 2,3 см/пкс.

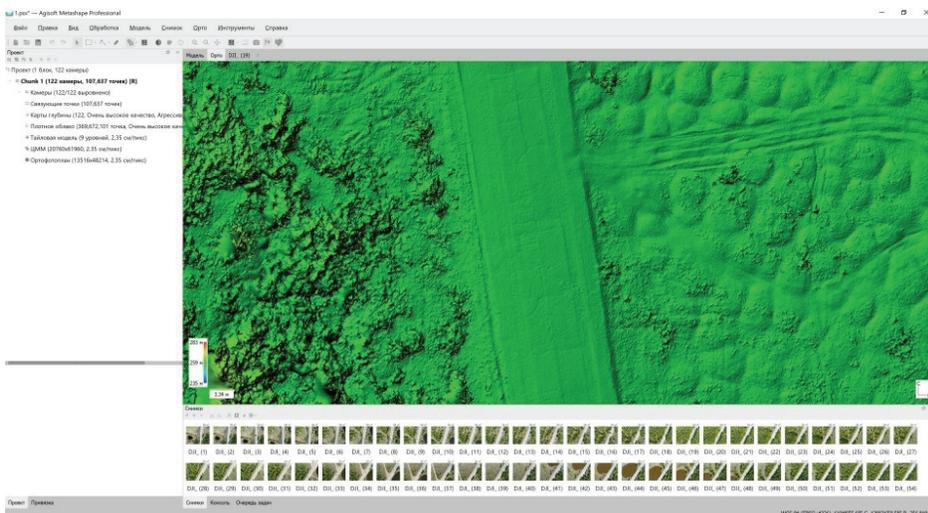


Рисунок 3 – Цифровая модель местности участка автодороги «Умнас» в Agisoft Metashape

Кроме съемок с БПЛА в настоящее время широкую популярность начинают получать лазерное сканирование.

LiDAR (Light Identification, Detection and Ranging) – технология получения информации о земной поверхности с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеивания в прозрачных и полупрозрачных средах [3].

Лидар работает аналогично радару и сонару, но вместо радио или звуковых волн использует световые волны от лазера. Система лидар подсчитывает, сколько времени требуется для того, чтобы свет попал в объект и отразился обратно в сканер. Расстояние рассчитывается с использованием скорости света. Результатом съемки сканером является совокупность точек объекта, каждая из которых имеет свою прямоугольную координату X, Y, Z.

При съёмке с одной станции неизбежно возникают неснятые (теневые) области, обусловленные как наличием естественных препятствий (крупные камни, деревья, кустарники и др.), так и расчленённостью рельефа снимаемой местности. Для увеличения площади сканирования и устранения теневых мест съёмку таких участков следует производить с нескольких точек стояния. В этом случае возникает задача сшивки соседних сканов в единое облако точек. Для решения задачи необходимо равномерно расположить в зоне перекрытия сканов не менее трех объемных визирных марок, по которым и производится сшивка соседних сканов. Выбор точек съёмки и зоны перекрытия сканов определяются исходя из площади и рельефа снимаемой местности, точностных характеристик сканера. Опять же следует учесть труднодоступность площадок для оптимальной установки сканера. Отметим, что даже при съёмке с нескольких точек невозможно снять участки местности, лежащие всегда вне плоскости сканирования – ямы, промоины, овраги, ложбины и т.д. [4].

После съемки на исследуемом участке на следующем этапе выполняется постобработка. Выполняется она в программе Trimble Real Works и заключается в создании прореженных сканов на снимке каждой станции, сшивке всех сканов в одно облако точек по маркам, классификации по разным объектам облака и экспорта для дальнейшего построения ЦМР (рис. 4) [5]. После построения ЦМР на основе полученных облаков точек была получена растровая поверхность с разрешением 1,2 см/пкс.

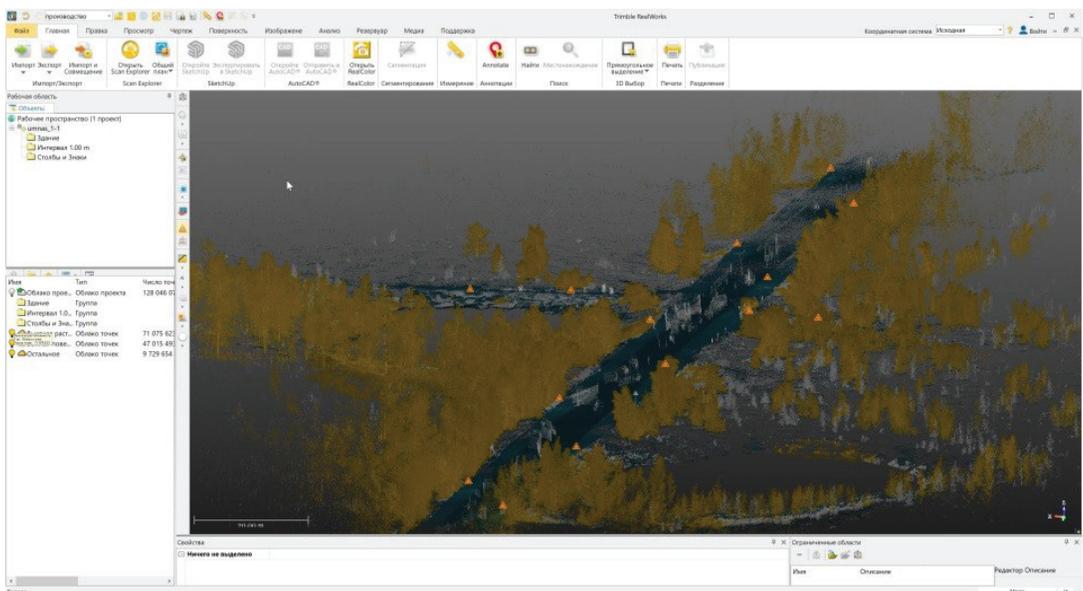


Рисунок 4 – Облако точек на участке автомобильной дороги «Умнас» 30й км

Результаты исследования

Проведем сравнительный анализ результатов, полученных при выполнении аэрофотосъемки с БПЛА и НЛС участка автомобильной дороги «Умнас», 30-й км.

Съемка объекта выполнялась беспилотником DJI Phantom 4 Adv RTK/PPK с дополнительным на борту высокоточным геодезическим GNSS приемником EmlidReach RTK, высота полета – 100 м, скорость полета – 10 км/ч.

Сканирование участка проводилось наземным лазерным сканером Trimble TX8 Extended (рис. 5). Дальность сканирования – 120 м, точность – 5 мм/120 м. Сканирование проводилось «зигзагом» и с шагом между точками скана 35-40 м.



Рисунок 5 – Наземной лазерный сканер Trimble TX8 Extended

Важной особенностью при съемке является то, сколько времени требуется для съемки 1 участка – начиная от подготовки до конечного результата.

Сравнение затрат времени мы разделили на 3 этапа:

1. Подготовка и планирование;
2. Съемка участка оборудованием на месте;
3. Постобработка, т.е. получение конечного результата.

Подготовка и планирование. На этапе планирования одного участка для облета квадрокоптером потребуется от 1 до 2 ч. Этот этап предполагает подготовку оборудования перед отъездом и построение траектории полета на исследуемом участке для автоматического облета по заданной траектории. Для лазерного сканера данный этап включает подготовку оборудования перед отъездом, определение оптимального расположения меток на схеме участка и планирование точек съемки на плане участка, и занимает в среднем от 3 до 4 ч.

Съемка участка оборудованием на месте. Следует отметить, что если мы хотим сравнить оба метода, то мы должны взять территорию равной площади. Съемка НЛС с одной точки (станции) занимает около 5 минут, а для полной съемки 1 участка нам нужно сделать не менее 30 разных точек съемки. Поэтому сначала мы сделали съемку с помощью НЛС столько, сколько смогли до конца рабочего дня. А потом этот участок будем снимать с помощью БПЛА, т.к. изначально известно, что на нем съемка будет быстрее.

Перед съемкой на лазерном сканере надо расставить метки на участке, в нашем случае это сферы. Они должны располагаться на определенном расстоянии друг от друга и в зоне видимости лазерного сканера. На этом этапе съемка одного участка занимает 6-8 ч.

Для БПЛА на данном этапе, помимо самой аэрофотосъемки, входят постановка базы и включения высокоточного GNSS оборудования. Съемка с БПЛА участка с такой же площадью занимает гораздо меньше времени, и занимает полчаса. При этом съемка на одном аккумуляторе захватывает больше территории, чем лазерный сканер.

Постобработка. Обработка материалов проводится на одном и том же компьютере. Вначале выполняется постобработка GNSS измерений для определения высокоточных координат изображений. В результате обработки полученные координаты центров фотографирования были вписаны на каждый снимок. По времени на данная процедура занимает в среднем 10-15 минут. Затем обработка материалов аэрофотосъемки осуществляется в программном обеспе-

чении Agisoft Metashape и включает в себя несколько этапов: уравнивание снимков (создание разреженного облака точек), проверка и аффинное преобразование облака по точкам планово-высотного обоснования (ПВО), построение плотного облака точек, а на его основе – ЦММ и ортофотоплана. На 1 участок делается около 150 фотографий, и обработка этих фотографий на самом высоком качестве занимает примерно 10-12 часов.

Постобработка данных лазерного сканера включает в себя – создание прореженных сканов на снимке каждой станции, сшивка всех сканов в одно облако точек по маркам, классификация по разным объектам облака. Для обработки порядка 30 станций понадобилось около 15-20 ч рабочего времени. Далее после экспорта облака точек в программном обеспечении ArcMap делается растровый слой ЦМР за 20-30 минут.

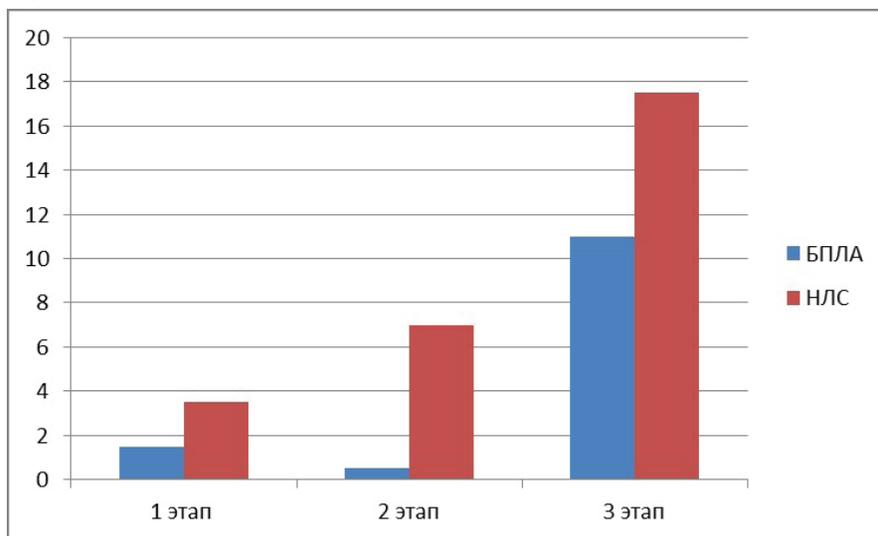


Рисунок 6 – Сравнение затрат времени при съемке с БПЛА и НЛС

Как показывал анализ, во всех этапах временные затраты на съемку с НЛС оказались больше. Если подводить итоги всех этапов, то при съемке одного участка с БПЛА потребуется 12-14 ч, а с НЛС – 25-27 ч. (рис. 6).

Кроме того, во время исследования сравнивалась точность съемки с БПЛА и НЛС. Погрешность облака точек НЛС составляет всего несколько миллиметров, а БПЛА имеет точность несколько сантиметров. А так же, НЛС создает более плотное облако точек, нежели снимки с БПЛА. Исходя из этого мы считаем, что цифровая модель рельефа, полученная из облаков точек НЛС, близка к реальным значениям рельефа. Поэтому было решено сравнить, насколько отличаются полученные значения съемки с БПЛА от НЛС. Проведенный анализ показал, что на ровной поверхности без растений отклонение значений съемки с БПЛА от НЛС не превышает 5-7 см. (рис. 7).

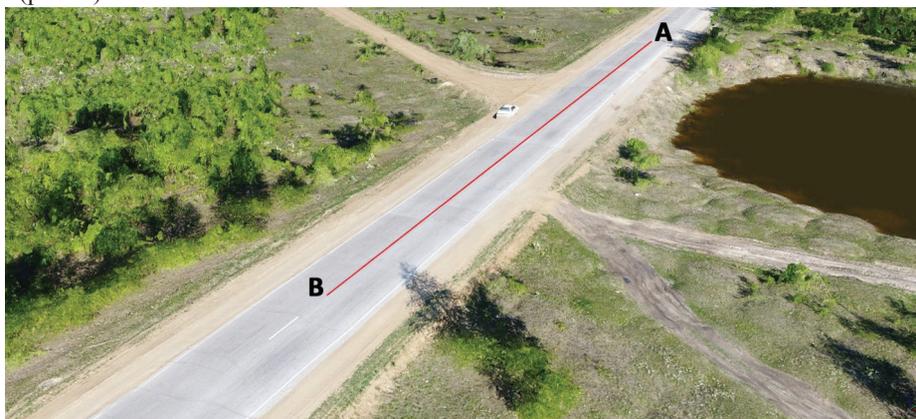
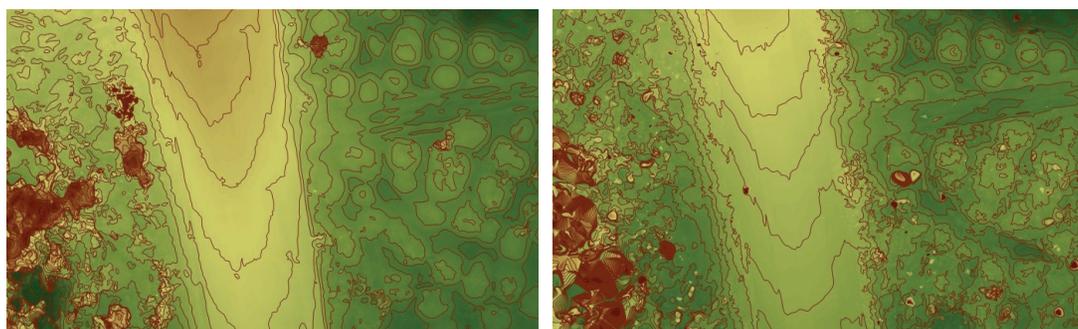




Рисунок 7 – Сравнение кривых от точки А до точки В

На исследуемых участках на дорожном полотне наблюдаются просадки, которые формируют волнистую поверхность на автодороге. Причиной образования такой поверхности является вытаивание подземных льдов и образования образования просадочного микрорельефа – былларов. Эти просадочные формы рельефа имеют отчетливый полигональный рисунок. На данном этапе исследования мы получили первичные данные о поверхности, для ежегодного мониторинга просадки дорожного полотна (рис. 8).



а б
Рисунок 8 – Цифровая модель местности ключевого участка «Умнас», полученный с помощью БПЛА (а) и НЛС (б)

Заключение

Результаты, полученные в ходе исследования, оказались достаточно неожиданными. Так, каждый метод обладает своими преимуществами и недостатками. К преимуществам БПЛА перед НЛС можно выделить:

- относительно невысокая стоимость оборудования;
- получения разновременных аэрофотоснимков местности;
- существенно снизили временные затраты на полевые исследования;
- при необходимости можно использовать и при отрицательных температурах.

Несмотря на большие временные затраты, самым важным и огромным преимуществом НЛС перед БПЛА является высокая точность сбора, близкая к реальным значениям рельефа.

В зависимости от поставленных целей и задач данные методы съемки можно использовать, как по отдельности, так и в комплексе, где они прекрасно дополняют друг друга.

Литература

1. Башарин Н.И. Применение беспилотных летательных аппаратов для оценки активизации термокарста / Н.И. Башарин, Л.С. Егорова, Н.Ф. Васильев, Н.А. Федоров, А.Н. Федоров // Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле». – 2020. – № 3(19). – С. 36-44.

2. Agisoft LLC. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan: Professional Edition, v. 1.2. – 2016. – 119 с.
3. Barber C.P., Shortrudge A.M. Light Detection and Ranging (LiDAR) – Derived Elevation Data for Surface Hydrology Applications, Institute of Water Research. – Michigan State University, 2004.
4. Исаков А.Л. Анализ применения метода наземного лазерного сканирования при съемке лавиноопасных участков железных дорог / А.Л. Исаков, С.С. Шевчук, В.И. Юрченко // Известия Транссиба. – 2012. – вып. 1(9). – С. 92-98.
5. Trimble Inc. Руководство пользователя Trimble RealWorks 11.0. – 2018. – 1747 с.

References

1. Basharin N.I. Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlja ocenki aktivizacii termokarsta / N.I. Basharin, L.S. Egorova, N.F. Vasil'ev, N.A. Fedorov, A.N. Fedorov // Vestnik SVFU. Serija «Nauki o Zemle». – 2020. – № 3(19). – S. 36-44.
2. Agisoft LLC. Rukovodstvo pol'zovatelja Agisoft PhotoScan: Professional Edition, v. 1.2. – 2016. – 119 s.
3. Barber C.P., Shortrudge A.M. Light Detection and Ranging (LiDAR) – Derived Elevation Data for Surface Hydrology Applications, Institute of Water Research. – Michigan State University, 2004.
4. Isakov A.L. Analiz primenenija metoda nazemnogo lazernogo skanirovanija pri s#emke lavinoопасnykh uchastkov zheleznykh dorog / A.L. Isakov, S.S. Shevchuk, V.I. Jurchenko // Izvestija Transsiba. – 2012. – vyp. 1(9). – S. 92-98.
5. Trimble Inc. Rukovodstvo pol'zovatelja Trimble RealWorks 11.0. – 2018. – 1747 s.