

Леса России и хозяйство в них. 2022. № 2. С. 4–10
Forests of Russia and economy in them. 2022. № 2. P. 4–10

Научная статья

УДК 528.854:630*5

Doi: 10.51318/FRET.2022.63.84.001

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЕВ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Евгений Антонович Госьков¹, Татьяна Сергеевна Воробьева², Иван Борисович Воробьев³

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

³ Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

¹ gekagoskow@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3199-6448>

² vorobyevats@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9776-9689>

³ vorobev_ib@ipae.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2563-585X>

Аннотация. При изучении структуры древостоев на верхней границе леса был применен новый метод получения и обработки полевого материала путем наземного лазерного сканирования. Информация о структуре растительного покрова на верхней границе леса, наиболее чувствительной к изменениям климата, в современных исследованиях раскрыта недостаточно. Результаты лазерного сканирования могут дать подробную информацию о структуре и динамике наземной растительности в изучаемых условиях. Была проверена возможность применения лазерного сканирования в экотоне верхней границы леса. В качестве объекта исследований послужили вершины горного массива Ирмель, расположенного на Южном Урале (граница Челябинской области и Республики Башкортостан). Лазерное сканирование проводилось на высотном профиле в 2020 г. на высоте 1329–1411 м над уровнем моря. С помощью данного метода получены цифровые модели местности и лесного полога. Данные модели позволили определить границы крон деревьев и кустарников. На основе проанализированных данных проведено картирование древесно-кустарниковой растительности с определением основных таксационных характеристик (высота дерева, протяженность кроны, площадь кроны). Исследования позволили получить подробную информацию о местоположении (широта и долгота) 2639 деревьев и кустарников на изучаемом высотном профиле. Также выявлено, что средняя высота деревьев на профиле снижается постепенно от 3,7 до 2,8 м с увеличением высоты от 1340 до 1400 м над уровнем моря, как и степень сомкнутости крон. Длина и ширина проекции крон, напротив, увеличиваются, и площадь кроны изменяется от 2,2 до 3,1 м².

Ключевые слова: лазерное сканирование, наземная лидарная съемка, цифровая модель рельефа местности, цифровая модель лесного полога, верхняя граница леса, Южный Урал

Scientific article

LASER SCANNING IN THE STUDY OF THE STRUCTURE OF FOREST STANDS OF THE UPPER FOREST BOUNDARY IN THE SOUTHERN URALS

Evgeniy A. Goskov¹, Tatyana S. Vorobyeva², Ivan B. Vorobyev³

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

³ Institute of Plant and Animal Ecology Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

¹ gekagoskow@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3199-6448>

² vorobyevats@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9776-9689>

³ vorobev_ib@ipae.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2563-585X>

Abstract. When studying the structure of forest stands on the upper border of the forest, a new method was used to obtain and process field material by ground laser scanning. Information about the structure of the vegetation cover on the upper forest boundary, which is most sensitive to climate change, is not sufficiently disclosed in modern studies. The results of laser scanning can provide detailed information about the structure and dynamics of aboveground vegetation in the studied conditions. The possibility of using laser scanning in the upper forest boundary ecotone was tested. The peaks of the Iremel mountain range located in the southern Urals (the border of the Chelyabinsk region and the Republic of Bashkortostan) served as the object of research. Laser scanning was carried out on a high-altitude profile in 2020 at an altitude of 1329–1411 m above sea level. Using this method, digital terrain and forest canopy models were obtained. These models made it possible to determine the boundaries of the crowns of trees and shrubs. Based on the analyzed data, mapping of tree and shrub vegetation was carried out with the determination of the main taxation characteristics (tree height, crown length, crown area). The research allowed obtaining detailed information about the location (latitude and longitude) of 2639 trees and shrubs on the studied altitude profile. It was also found that the average height of trees on the profile gradually decreases from 3,7 m to 2,8 m with an increase in height from 1340 to 1400 m above sea level, as well as the degree of crown density. The length and width of the projection of the crowns, on the contrary, increase and the crown area changes from 2,2 to 3,1 m².

Keywords: laser scanning, ground-based lidar survey, digital terrain model, digital model of the forest canopy, upper forest boundary, Southern Urals

Введение

Размеры деревьев на местности традиционно принято оценивать по высоте дерева, диаметру на высоте груди и полндревесности ствола. Ручной сбор этих параметров при инвентаризации леса в полевых условиях может занять много времени и подвержен субъективным ошибкам. Это часто имеет место при оценке высоты деревьев с использованием стандартных оптических методов, где точность ограни-

чена взаимодействием наблюдателя, прибора и условиями местопроизрастания. Кроме того, неблагоприятные условия на площадке (например, густая растительность или болото) могут затруднить доступ и проведение инвентаризационных измерений. С недавними достижениями в области наземных технологий лазерной съемки (Blackburn, 2002; Assessing forest..., 2004; Данилин и др., 2005; Низаметдинов и др., 2021; Multi-station

LiDAR..., 2021) теперь становится возможным автоматизированное, бесконтактное, объективное и целесообразное измерение в полевых условиях этих важных атрибутов деревьев на уровне участка.

Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель работы – изучение возможности применения результатов наземной лидарной съемки для ускоренного определения

точных линейных размеров отдельных деревьев и кустарников, произрастающих на верхней границе леса.

Объект исследования – массив Большой Иремель, расположенный на Южном Урале на северо-востоке Белорецкого района Башкортостана, северо-западные склоны которого находятся в границах Катав-Ивановского района Челябинской области (54°32'00" с. ш.; 58°50'20" в. д.) (рис. 1). Вершины здесь достигают высоты 1582 м и имеют четкую вертикальную (высотную) поясность: горно-лесной, подгольцовый и горно-тундровый пояс.

Сосновые леса и суходольные луга занимают нижнюю часть

горнолесного пояса от 500 до 650–700 м. От 650–700 до 1250 м начинается елово-пихтовый лес, покрывающий склоны Иремельских гор. На высоте 1200–1250 м над уровнем моря лес становится ниже и разрежается, появляются широкие гольцовые поляны и каменные россыпи, здесь отмечается начало подгольцового пояса. В горно-тундровом поясе преобладают мхи и лишайники, образующие в сочетании с травами и приземистыми кустарниками разновидности горных тундр.

На высотном профиле были зафиксированы уровни: верхний – 1411 м, средний – 1370 м и нижний – 1329 м над уровнем

моря. Ширина профиля составляет 200 м. Для изучения структуры древостоев были заложены площадки размером 20 × 20 м от 3 до 5 шт. на каждом уровне.

Все деревья и кустарники были пронумерованы уникальными бирками перед измерением положения дерева или кустарника, высоты и диаметра на высоте груди, чтобы можно было сравнить с эквивалентной лидарной метрической информацией о лесе.

В июле 2020 г. было проведено наземное лазерное сканирование древостоя мобильным комплексом Л-СКАН-2, оснащенный 3D-сканером Velodyne VLP-16. Длина волны луча – 905 нм,

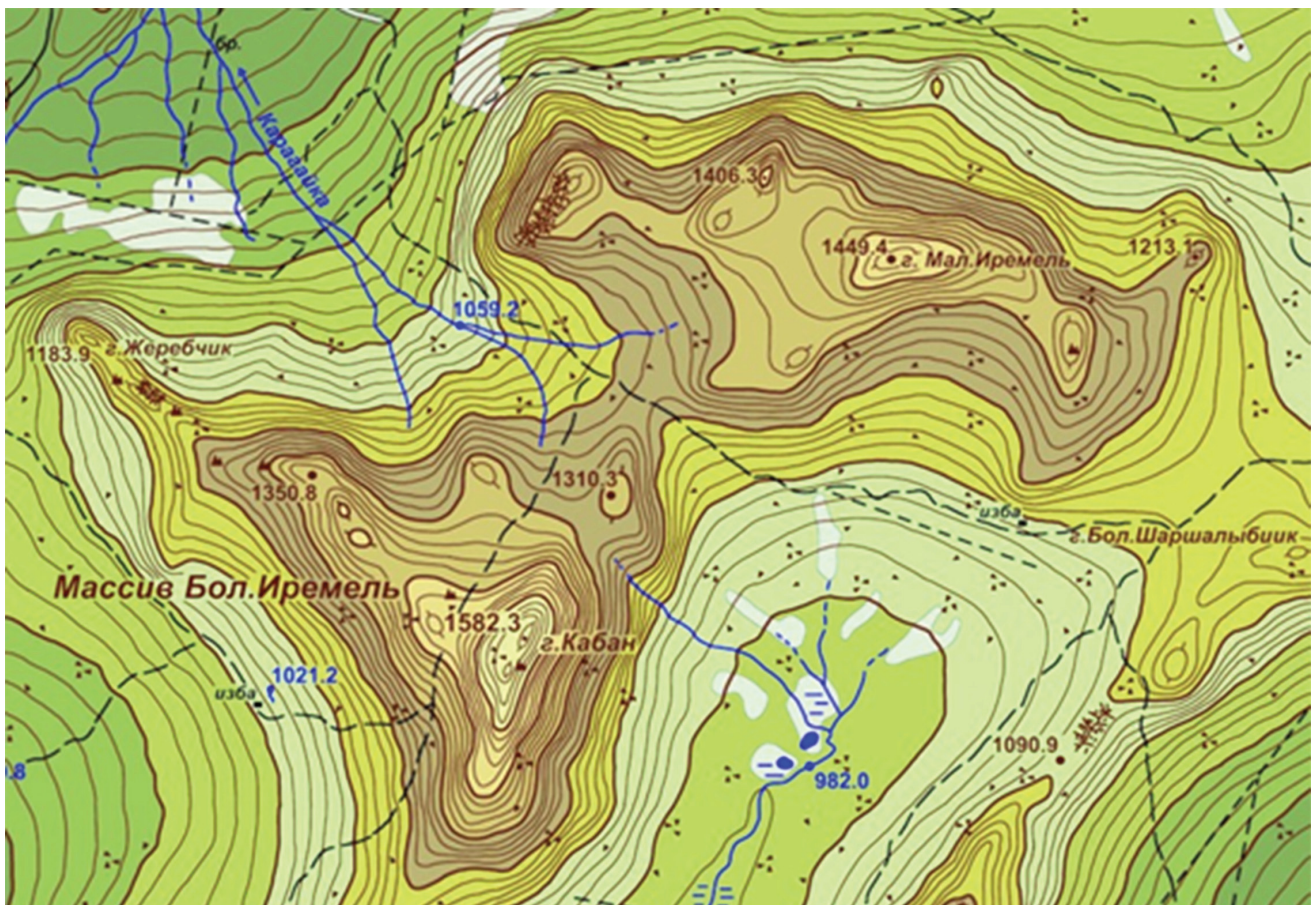


Рис. 1. Массив Большой Иремель
Fig. 1. Big Iremel massif

скорость измерений – 0,3 млн точек в секунду, дальность сканирования – до 100 м. Данный комплекс позволяет определить координаты X, Y и Z с географической привязкой. Результаты съемки приводятся в файлах с расширением *pcap*, которые в дальнейшем обрабатывали, преобразовывая данные в единое облако точек-отражений в формате LAS.

На рис. 2 показано облако точек с траекторией визирования в заложенном профиле. Визирование проводилось через каждые 50–60 м.

Камеральная обработка полученного облака данных проводилась в программе Lidar 360 Version 4. Точки отражения классифицировались на два типа: 1-й тип – точки поверхности земли; 2-й тип – объекты на поверхности земли. Точки 1-го типа составили цифровую модель рельефа местности (ЦМР). По средствам исключения точек 1-го типа была получена цифровая модель лесного полога (ЦМЛП), представляющая собой изображение крон деревьев и кустарников. Высота деревьев определялась как разность высот между цифровой моделью поверхности отснятой местности (рис. 3) и ЦМР.

Далее проводилась сегментация растровой цифровой модели лесного полога в программе QGIS. В результате были выделены контуры крон деревьев и кустарников высотой от 1 м (рис. 4). Сегментация крон позволила определить их размеры и площадь.

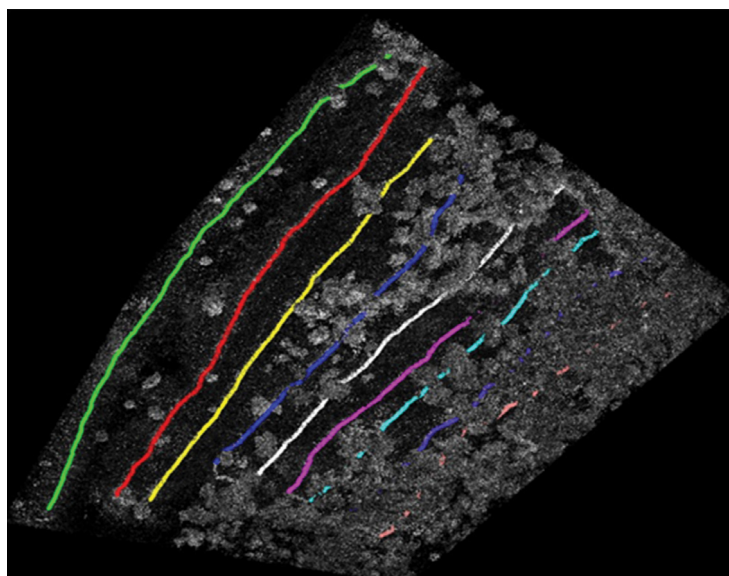


Рис. 2. Облако точек-отражений с траекторией визирования
Fig. 2. Reflection point cloud with sighting path

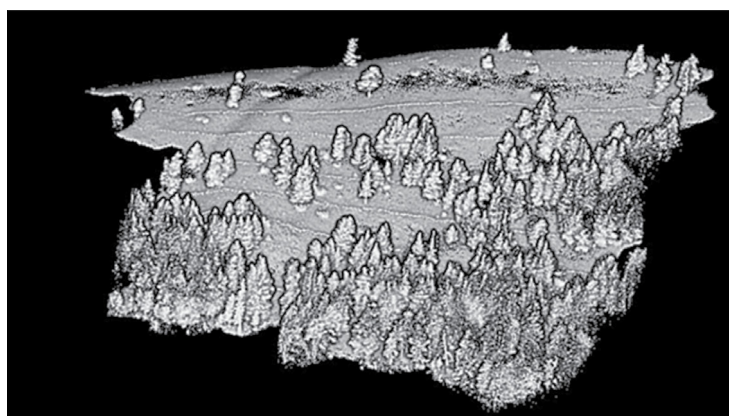


Рис. 3. Пример изображения цифровой модели поверхности отснятой местности
Fig. 3. An example image of a Digital Surface Model (DSM) of the captured area

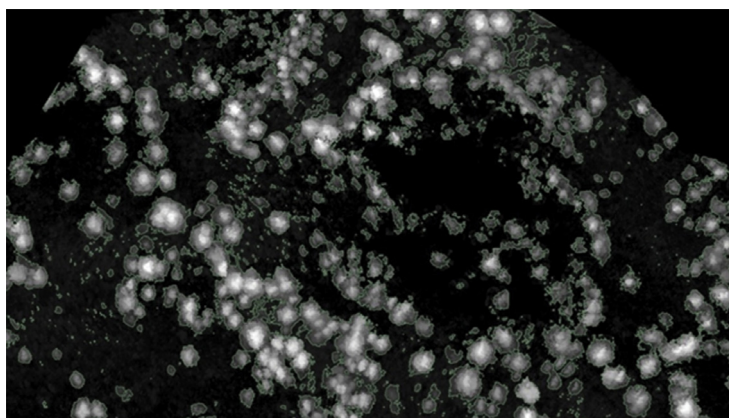


Рис. 4. Географически привязанная цифровая модель лесного полога и контуры крон деревьев, полученные путем сегментации
Fig. 4. Terrain-referenced digital forest canopy model and tree crown contours obtained by segmentation

Результаты и обсуждение

В пределах обследованного профиля было проведено картирование древесно-кустарниковой растительности с определением её высот и размеров крон (рис. 5 и таблица).

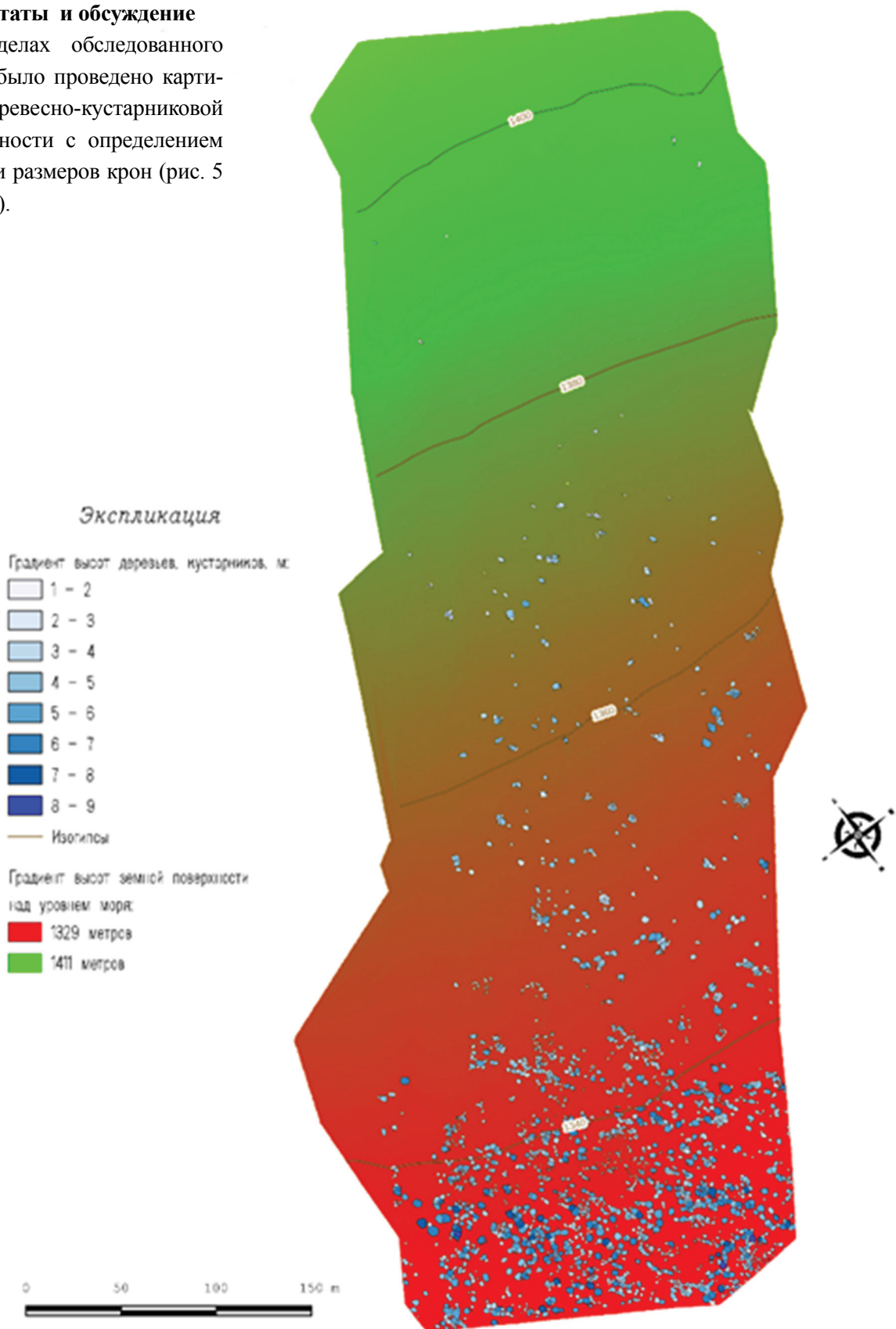


Рис. 5. Карта-схема пространственного размещения древесно-кустарниковой растительности на высотном профиле
Fig. 5. Map-scheme of the spatial distribution of tree and shrub on an altitudinal profile

Обмеры деревьев (кустарников), полученные в результате лазерного сканирования (фрагмент)
The results of measurements of trees (shrubs) obtained as a result of laser scanning (fragment)

Номер дерева (куста) Tree (bush) number	Площадь проекции кроны, м ² Crown projection area, m ²	Высота, м Height, m	Средний рост, м Height median, m	Длина выступа коронки, м Crown projection length, m	Ширина выступа коронки, м Crown projection width, m	Широта, ° Latitude, °	Долгота, ° Longitude, °	Высота над уровнем моря, м Height above sea level, m
1	2,8	2,6	1,8	2,1	2,0	54,525099	58,832593	1394
2	2,3	2,7	2,0	2,0	1,7	54,525106	58,832611	1394
3	3,0	2,6	1,7	2,4	1,7	54,524939	58,832648	1396
4	0,9	2,3	1,2	1,4	1,1	54,524926	58,832644	1396
5	0,9	2,5	1,6	1,6	1,0	54,524952	58,832669	1396
6	0,5	1,8	1,3	1,0	0,8	54,526752	58,834071	1364
7	1,5	2,2	1,4	1,6	1,3	54,526748	58,834084	1364
8	7,3	3,1	2,0	3,8	2,8	54,526487	58,834222	1368
9	4,5	3,7	2,3	3,7	2,0	54,526582	58,834340	1366
10	0,9	2,2	1,6	1,3	1,1	54,525843	58,834321	1376

По результатам данных обмеров линейных и площадных показателей средняя высота деревьев на профиле снижается постепенно от 3,7 м до 2,8 м с увеличением высоты от 1340 до 1400 м над уровнем моря, как и степень сомкнутости крон. Длина и ширина проекции крон, напротив, увеличиваются, и площадь кроны изменяется от 2,2 до 3,1 м².

В дальнейших исследованиях планируется проведение верификации полученных результатов с натурными измерениями деревьев.

Выводы

Данные, полученные с помощью наземной лазерной съемки, могут успешно применяться при картировании древесно-

кустарниковой растительности и определении таксационных характеристик в условиях лесотундрового экотона. Совместное применение данных лазерного сканирования и натурных измерений позволит оперативно изучить большие площади труднодоступных горных регионов страны.

Список источников

1. Данилин И. М., Медведев Е. М., Мельников С. Р. Лазерная локация Земли и леса : учеб. пособие. Красноярск : Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. С. 70–78.
2. Низаметдинов Н. Ф., Моисеев П. А., Воробьев И. Б. Лазерное сканирование и аэрофотосъемка с БПЛА в исследовании структуры лесотундровых древостоев Хибин // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 4. С. 9–22.
3. Blackburn G. A. Remote sensing of forest pigments using airborne imaging spectrometer and LIDAR imagery // Remote Sensing of Environment. 2002. № 82 (2–3). P. 311–321.

4. Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar / Hopkinson C., Chasmer L., Young-Pow C., Treitz P. // Canadian Journal of Forest Research. 2004. № 34 (3). P. 573–583.

5. Multi-station LiDAR scanning-based hierarchical features for generation of an allometric stem volume model / Sun Y., Lin X., Gong Y., (...), Zhang Y., Wen X. // Journal of Applied Remote Sensing № 15 (2), 028503.

References

1. Danilin I. M., Medvedev E. M., Melnikov S. R. Laser location of the Earth and forests : Textbook. Krasnoyarsk : V. N. Sukachev Forest Institute SB RAS, 2005. P. 70–78.

2. Nizametdinov N. F., Moiseev P. A., Vorobyev I. B. Laser scanning and aerial photography from UAVs in the study of the structure of forest-tundra stands of Khibiny // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 2021. № 4. P. 9–22.

3. Blackburn G. A. Remote sensing of forest pigments using an onboard spectrometer and lidar images // Remote sensing of the environment. 2002, № 82 (2–3). P. 311–321.

4. Assessment of forest indicators using ground-based scanning lidar / Hopkinson S., Chasmer L., Yang-Pau S., Treits P. // Canadian Journal of Forest Research. 2004. № 34 (3). P. 573–583.

5. Hierarchical features based on multi-station lidar scanning to create an allometric model of trunk volume / Song, Yu., Lin, H., Gong, Yu., (...), Zhang, Yu., Wen, H. // Journal of Applied Remote Sensing № 15 (2), 028503.

Информация об авторах

Е. А. Госьков – магистр;

Т. С. Воробьева – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

И. Б. Воробьев – старший инженер.

Information about the authors

E. A. Goskov – master's degree;

T. S. Vorobyova – candidate of agricultural sciences, associate professor;

I. B. Vorobyev – senior engineer.

Статья поступила в редакцию 18.04.2022; принята к публикации 29.04.2022.

The article was submitted 18.04.2022; accepted for publication 29.04.2022.
