

Леса России и хозяйство в них. 2024. № 2 (89). С. 48–57.

Forests of Russia and economy in them. 2024. № 2 (89). P. 48–57.

Научная статья

УДК 630.531

DOI: 10.51318/FRET.2024.89.2.006

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВОСТОЕВ В ЭКОТОНЕ ЛЕС – ГОРНАЯ ТУНДРА (г. ДАЛЬНИЙ ТАГАНАЙ, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Ольга Алексеевна Разжигаева<sup>1</sup>, Иван Борисович Воробьев<sup>2</sup>, Антон Максимович Громов<sup>3</sup>, Павел Александрович Моисеев<sup>4</sup>, Зуфар Ягфарович Нагимов<sup>5</sup>

<sup>1-4</sup> Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>1,5</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ольга Алексеевна Разжигаева,

kislrodna.maska@gmail.com

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований особенностей формирования древостоев в высокогорьях Южного Урала (г. Дальний Таганай), проведенных с применением различных методов: измерительно-перечислительной таксации, лазерного сканирования древостоев и дистанционной съемки их с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Установлено, что лидарная съемка позволяет с достаточной точностью определить высоту деревьев, форму и размеры их крон. При этом небольшое систематическое занижение высоты, обусловленное, на наш взгляд, наличием плотного живого напочвенного покрова, при необходимости может быть устранено установлением поправочных коэффициентов. В исследуемом экотоне сомкнутость полога древостоев и их средняя высота закономерно повышаются с уменьшением высоты над уровнем моря. Это связано с улучшением почвенно-климатических условий и увеличением возраста деревьев с понижением высотного положения лесных участков. Имеющиеся отклонения от этой закономерности объясняются локальными условиями местопроизрастания. На склонах различной экспозиции процессы формирования древостоев протекают с неодинаковой интенсивностью. Это обусловлено тем, что экспозиция в значительной степени определяет степень инсоляции склонов, особенности перераспределения снежных масс господствующими в районе западными и юго-западными ветрами и их глубину, сроки снеготаяния, содержание влаги в почве и другие важные для возобновления и роста древесных растений условия. В высокогорьях г. Дальний Таганай более благоприятные условия для формирования древесной растительности складываются на склонах северной экспозиции, ограниченных румбами СЗ 45° – СВ 45°. Древостои на этих склонах продвигаются выше в гору, на одних и тех же высотных уровнях имеют более высокие показатели сомкнутости полога и средней высоты, чем на склонах других экспозиций.

**Ключевые слова:** Южный Урал, лазерное сканирование, дистанционная съемка, экотон лес – горная тундра, формирование древостоя

**Финансирование:** сбор, обработка и анализ данных, а также написание статьи выполнены за счет государственного задания ФГБУН Института экологии растений и животных УрО РАН № 122021000083-7.

*Для цитирования:* Особенности формирования древостоев в экотоне лес – горная тундра (г. Дальний таганай, Южный Урал) / О. А. Разжигаева, И. Б. Воробьев, А. М. Громов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 2 (89). С. 48–57.

Original article

## SPATIAL STRUCTURE OF TREE STANDS IN THE ECOTONE FOREST – MOUNTAIN TUNDRA ON THE SLOPES OF DALNIY TAGANAI (SOUTHERN URAL)

Olga A. Razzhigaeva<sup>1</sup>, Ivan B. Vorobyov<sup>2</sup>, Anton M. Gromov<sup>3</sup>,  
Pavel A. Moiseev<sup>4</sup>, Zufar Ya. Nagimov<sup>5</sup>

<sup>1-4</sup> Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

<sup>1,5</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Olga Alekseevna Razzhigaeva,  
kislrodna.maska@gmail.com

**Abstract.** The article presents the results of studies of the features of the formation of forest stands in the highlands of the Southern Ural (Dalniy Taganay), carried out using various methods: enumerative inventory, laser scanning of forest stands and their remote shooting from unmanned aerial vehicles (UAVs). It has been established that lidar survey allows to determine the height of trees, the shape and size of their crowns with sufficient accuracy. At the same time, a slight systematic underestimation of the height due in our opinion to the presence of a dense living ground cover can if necessary be eliminated by establishing correction factors. In the studied ecotone, the density of the canopy of forest stands and their average height naturally increase with decreasing height above sea level. This is due to the improvement of soil and climatic conditions and an increase in the age of trees with a decrease in the altitudinal position of forest areas. The existing deviations from this regularity are explained by the local conditions of the habitat. On the slopes of different exposures, the processes of formation of forest stands proceed with unequal intensity. This is due to the fact that the exposition largely determines the degree of insolation of the slopes, the features of the redistribution of snow masses by the western and southwestern winds prevailing in the area and their depth, the timing of snowmelt, the moisture content in the soil, and other important for the renewal and growth of trees. -spring plant conditions. In the highlands of the city of Dalniy Taganay, more favorable conditions for the formation of woody vegetation are formed on the slopes of the northern exposure, limited by points NW 45° – NW 45°. Forest stands on these slopes move higher uphill, at the same altitude levels they have higher indicators of canopy closure and average height than on the slopes of other exposures.

**Keywords:** Southern Ural, laser scanning, remote sensing, forest-mountain tundra ecotone, forest formation

**Funding:** collection, processing and analysis of data, as well as writing the article were carried out at the expense of the state task of the Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences № 122021000083-7.

**For citation:** Spatial structure of tree stands in the ecotone forest-mountain tundra on the slopes of Dalniy Taganai (Southern Ural) / O. A. Razzhigaeva, I. B. Vorobyov, A. M. Gromov [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 2 (89). P. 48–57.

### Введение

Важнейшей научной проблемой последних десятилетий стало изучение реакции экосистемы и ее отдельных компонентов на потепление климата (Влияние..., 2004). Для оценки изменения климатической обстановки, ее влияния на формирование и рост лесных насаждений наиболее привлекательными территориями являются высокоширотные и высокогорные районы. В экстремальных почвенно-климатических условиях, определяющих границы произрастания видов, климатогенные изменения структуры и динамики растительности проявляются наиболее четко (Шиятов, 2009). Наблюдается изменение видового состава, возрастной и пространственной структуры древостоев, произрастающих в экотоне лес – горная тундра (Современная динамика..., 2018).

Несмотря на активизацию исследований, древостой на верхнем пределе произрастания до сих пор остаются недостаточно изученными. Сдерживающими факторами при этом является труднодоступность территорий и сложность проведения оценочных работ в высокогорьях. В условиях редколесья, занимающих обширные территории, за короткий вегетационный период, учитывая обилие осадков в горах, собрать достаточный по объему (репрезентативный) экспериментальный материал традиционными наземными методами достаточно проблематично. Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для проведения съемки местности с высоким разрешением (Новый метод..., 2016) и лазерные сканеры для получения 3D-модели местности (Госьков и др., 2022) могут значительно сократить сроки проведения полевых работ по сбору материала и увеличить объем выборки деревьев. Однако данные, полученные указанными технологиями, требуют проведения их верификации по материалам, полученным на основе измерительно-перечислительной таксации (Низаметдинов и др., 2021).

### Цель, задача, методика и объекты исследований

Цель работы – изучение особенностей формирования древостоев в экотоне лес – горная тундра

на основе их дистанционной съемки с БПЛА и лазерного сканирования.

Основными задачами исследований явились: получение фотографий территории с известными географическими координатами центров съемки и ортофотопланов; разбивка территории экотона на высотные уровни и сектора с учетом экспозиций и геоморфологического строения склонов; измерительно-перечислительная таксация и лазерное сканирование древостоев; оценка точности определения таксационных показателей деревьев при лазерном сканировании древостоев; оценка современного состояния древостоев по выделенным секторам и высотным уровням.

Дальний Таганай – самая северная и наиболее обширная по площади вершина хребта Большой Таганай. Она расположена в 20 км к северо-востоку от города Златоуст Челябинской области. Высота вершины – 1112 м над ур. м. Конкретным объектом исследований явилась переходная полоса от сомкнутого леса к горной тундре, которая в зависимости от экспозиции склона начинается на высоте от 1045 до 1085 м над ур. м. Произрастающие на ее территории древостой в основном сформированы елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) с примесью березы извилистой (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa* (Ledeb.) Nyman) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Исследования по сбору экспериментального материала проводились в июне – июле 2020 г. Наряду с наземной таксацией древостоев, осуществлялись их дистанционная съемка с БПЛА и лазерное сканирование.

Камерой квадрокоптера DJI Mavic-2 Pro (с разрешением 20 Мп) с высоты 50–100 м на исследуемую территорию получены фотографии с известными географическими координатами центров съемки. На их основе создан ортофотоплан в приложении Photoscan-4. Для дальнейшей работы в полевых условиях ортофотоплан был загружен в электронный планшет в приложение Adobe Photoshop. В ходе наземной таксации на дополнительно созданных слоях ортофотоплана фиксировалось месторасположение каждого дерева, а в ведомость учета заносились установленные для него вид, диаметры ствола на высоте груди (1,3 м)

и у основания, высота, диаметр кроны в двух перпендикулярных направлениях. Эти показатели в лесу определялись общепринятыми в лесной таксации методами.

Лазерное сканирование древостоя осуществлялось мобильным комплексом Л-СКАН-2, оснащенный 3D-сканером Velodyne VLP-16. Данный комплекс позволяет создать 3D-модель местности и определить координаты каждого отдельного элемента съемки с географической привязкой. В камеральных условиях проводилась обработка полученного облака данных лазерной съемки в программе LIDAR360 Version 5. При этом точки отражения делились на два типа: точки поверхности земли (которые составили цифровую модель рельефа – ЦМР) и точки на поверхности земли. После исключения первых была получена цифровая модель лесного полога (ЦМЛП), представляющая собой изображение крон деревьев и кустарников.

Для выделения контуров крон деревьев и кустарников проводилась сегментация растровой цифровой модели лесного полога в программе QGIS. Данные, полученные в результате сегментации, позволили определить площадь проекции крон и высоту дерева. Первый показатель вычислялся программой автоматически как площадь полигона. Второй определялся как максимальное значение пикселя в распределении яркостей в растре ЦМЛП в пределах контура кроны отдельного дерева. Выделенные контуры крон деревьев и кустарников были наложены дополнительным слоем на ортофотоплан в приложении Adobe Photoshop.

Для анализа пространственной структуры древостоев вся исследуемая территория с учетом особенностей геоморфологического строения склонов была разделена на 16 секторов, ограниченных условными линиями, исходящими от вершины горы (рис. 1).

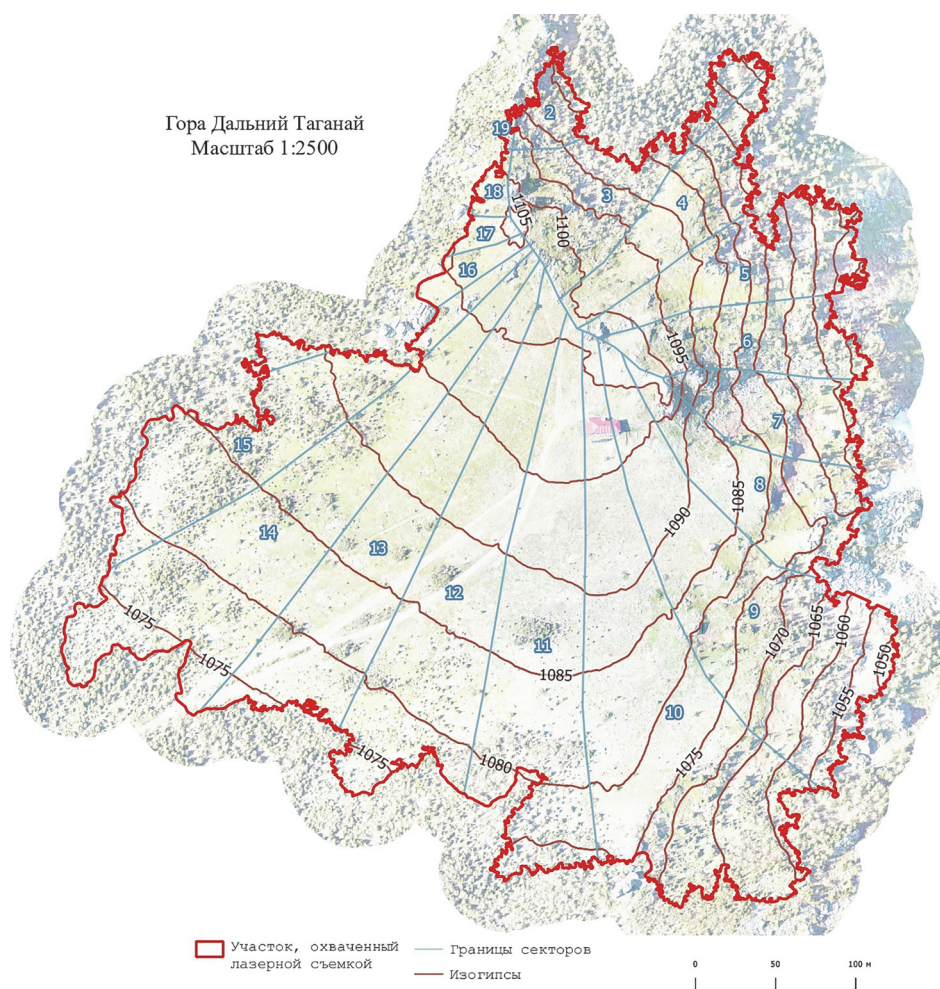


Рис. 1. Карта-схема исследуемого экотона с выделенными секторами и высотными уровнями  
Fig. 1. Schematic map of the studied ecotone with highlighted sectors and altitude levels



Для каждого сектора устанавливались сторона света и азимут – горизонтальный угол между линией направления на север и линией, проходящей по центру сектора. В связи с тем, что вершина горы отличается неправильной формой и сложным геоморфологическим строением, сектора получили неодинаковый угловой размер (от 13 до 33°).

Для отображения рельефа территории (определения высоты элементов рельефа, формы и крутизны склонов) построены изогипсы с интервалами 5 м по вертикальному профилю.

### Результаты исследования

Для решения поставленных задач была создана электронная таблица в программе MS Office Excel, в которую заносились результаты измерений высоты деревьев, линейных размеров и площадей проекций их крон. На первом этапе исследований посредством привязки растровой ЦМЛП к ортофотоплану производилась процедура идентификации деревьев, учтенных разными методами: наземной таксацией и лазерной съемкой. Результаты этой работы позволили оценить точность определения таксационных показателей деревьев при лазерном сканировании древостоев. На рис. 2 представлены данные сопоставления высот деревьев, полученных в результате обработки лазерной съемки и измеренных в ходе наземной таксации.

Аналитическая работа по исследованию связей между высотами, определенными лазерным сканированием и традиционным таксационным методом, выполнялась в программах MS Office Excel и Statistica. Исследуемая связь наиболее удачно описывается уравнением прямой

$$H_l = -0,1823 + 0,8977H_n, \\ R^2 = 0,776,$$

где  $H_l$  – высота дерева, определенная с помощью лазерной съемки, м;

$H_n$  – высота дерева, определенная при наземной таксации, м;

$R^2$  – коэффициент детерминации.

В целом расположение эмпирических данных на рис. 2 и статистические показатели разработанного уравнения свидетельствуют о тесной корреляции высот, полученных рассматриваемыми методами. Следует отметить, что на всем протяжении исследованного диапазона высот при лазерной съемке наблюдается систематическое занижение величины данного показателя.

Можно предположить, что такое положение связано с наличием на исследуемой территории довольно плотного живого напочвенного покрова, который в процессе получения ЦМР мог быть определен как поверхность земли. Однако для получения более обоснованных выводов данный вопрос требует дальнейшего изучения.

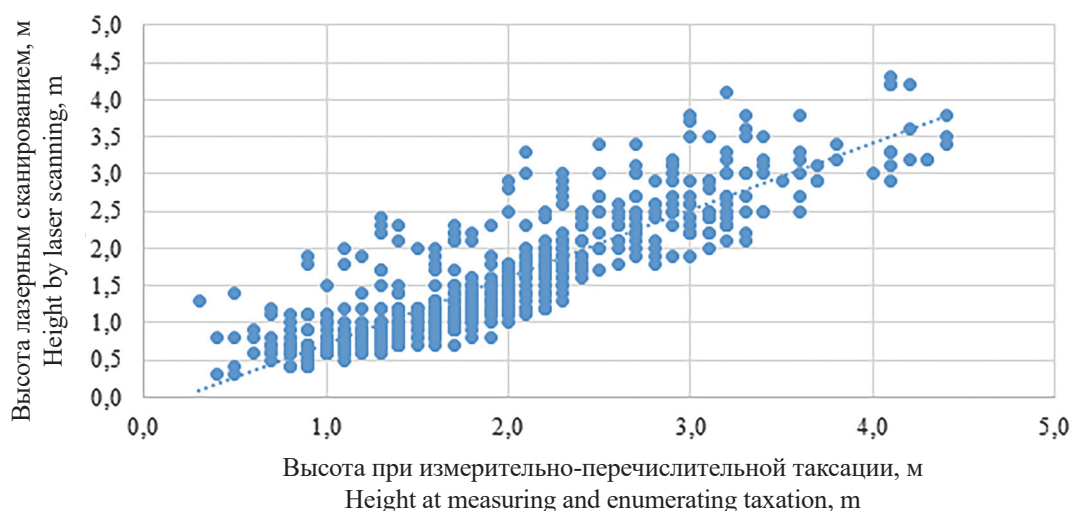


Рис. 2. Сопряженность высот, полученных при лазерном сканировании и измерительно-перечислительной таксации  
 Fig. 2. Comparative graph of heights measured by laser survey and natural survey

Как отмечалось выше, примененная технология лазерного сканирования позволяет в автоматическом режиме определять площадь проекции кроны каждого отдельно взятого дерева. Причем, на наш взгляд, она обеспечивает более точные результаты, чем традиционные методы оценки этого показателя, основанные на измерении поперечников кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Это связано с тем, что при лазерной съемке проекция кроны получает реальную конфигурацию, которая в действительности отличается от формы геометрических фигур (окружности, круга, эллипса, овала), по формулам которых, как правило, определяется площадь проецируемой на горизонтальную плоскость формы кроны.

По результатам лазерного сканирования древостоев (совокупности деревьев высотой более 1,5 м) определена сомкнутость их полога – отношение суммы площадей горизонтальных проекций крон деревьев (без учета площади их перекрытия) к общей площади участка леса. Данная работа проводилась дифференцированно по секторам, а в пределах их – по высотным уровням. Результаты ее представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют, что исследуемые древостои характеризуются низкой сомкнутостью полога и высоким варьированием этого показателя по секторам и высотным уровням (от 0,3 до 40,1 %).

На всех секторах сомкнутость полога имеет выраженную тенденцию повышения с уменьшением высоты над уровнем моря. Неравномерный (ступенчатый) характер этого процесса на некоторых секторах связан с особенностями геоморфологии участков.

Показатели сомкнутости полога древостоев в значительной степени связаны с экспозицией склонов, определяющей микроклимат, распределение снежных масс, содержание влаги в почве и другие условия для роста растений. В нашей работе к склонам северной экспозиции отнесены сектора 2, 3 и 4 (ограниченные румбами СЗ 45° – СВ 45°), восточной экспозиции – сектора 5, 6, 7 и 8 (СВ 45° – ЮВ 45°), южной экспозиции – сектора 9, 10, 11, 12 и 13 (ЮВ 45° – ЮЗ 45°)

и западной экспозиции – сектора 14, 15 и 16 (ЮЗ 45° – СЗ 45°).

Наиболее высоким относительно уровня моря местоположением древостоев (1095–1100 м над ур. м) характеризуются сектора 2, 3, 14 и 15, ориентированные преимущественно на север и запад. Для сравнения на склонах восточной и южной экспозиций (сектора 6 и 10 соответственно) верхняя граница древесной растительности расположена значительно ниже (1085–1090 м над ур. м).

Древостои с относительно высокими показателями сомкнутости полога (более 20 % с учетом экстремальных условий для произрастания древесной растительности в высокогорьях) на северных склонах формируются на более высоких уровнях, чем на склонах других экспозиций. Более низкое расположение верхней границы древесной растительности на южных склонах, на наш взгляд, связано с выраженной их инсоляцией, которая приводит к сильному иссушению верхнего горизонта почвы и снижению уровня доступной влаги для подроста и молодых деревьев в засушливые летние периоды.

Причиной пониженного расположения древостоев с сомкнутостью полога более 20 % на склонах западной и восточной экспозиций является характер отложения на них снега. Причем определяющую роль в этом играют господствующие в районе западные и юго-западные ветры, перераспределяющие снежные массы. Так, на верхних уровнях западных склонов в результате сдувания снега его высота не превышает 10–30 см. В то же время на северо-восточном и восточном склонах на высотах 1060–1070 м над ур. м. высота снега достигает 2–3 м и более. Здесь наблюдается более позднее стаивание снега, которое задерживает начало роста растений.

При фиксированных значениях высоты над уровнем моря сомкнутость полога древостоев на северных и западных склонах в большинстве случаев характеризуется более высокими показателями, чем на восточных и южных.

Представление об изменении средней высоты древостоев по секторам и высотным уровням можно получить из данных табл. 2.

Таблица 1  
Table 1

Сомкнутость полога древостоев по секторам и высотным уровням исследуемого экотона, %  
Canopy density of forest stands by sectors and altitudinal levels of the studied ecotone, %

Номер сектора Sector number	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Экспозиция, град. Exposure, degrees	21	25	43	53	77	93	114	153	176	188	200	213	238	246	279
Высотный уровень Altitude level	С N	СВ NE	СВ NE	СВ NE	В E	В E	ЮВ SE	ЮВ SE	Ю S	Ю S	Ю S	ЮЗ SW	ЮЗ SW	ЮЗ SW	3 W
Интервал высот, м над ур. м. Height interval, m a.s.l.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	5,7	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,5	0,4	–
3	3,9	10,1	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	2,5	8,6	–
4	20,6	17,8	–	0,3	–	0,7	0,5	0,8	–	0,5	0,7	0,8	6,7	9,2	5,3
5	7,4	9,4	1,8	4,9	3,2	0,7	4,0	4,2	0,6	9,7	1,4	2,5	1,5	8,0	–
6	–	23,3	12,7	6,6	1,3	1,1	2,2	4,9	4,6	23,9	5,0	4,9	5,7	4,8	–
7	–	28,4	13,1	3,9	1,3	2,5	1,9	8,2	11,9	40,1	–	6,4	5,8	–	–
8	–	34,0	20,7	8,6	7,4	7,8	9,2	19,4	19,9	–	–	–	–	–	–
9	–	34,7	32,8	12,5	14,1	18,7	23,1	18,1	31,5	–	–	–	–	–	–
10	–	–	–	5,7	24,5	–	–	26,6	30,0	–	–	–	–	–	–
11	–	–	–	–	–	–	–	21,3	–	–	–	–	–	–	–
12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. Серым тоном выделены участки с преобладанием древостоев сомкнутостью более 20 %.  
Note. Areas with a predominance of forest stands are highlighted in gray; density is more than 20 %.

Таблица 2  
Table 2

Средние высоты древостоев по секторам и высотным уровням исследуемого экотона, м  
Average heights of forest stands by sectors and altitudinal levels of the studied ecotone, m

Номер сектора Sector number	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Экспозиция, град. Exposure, degrees	21	25	43	53	77	93	114	153	176	188	200	213	238	246	279	
Высотный уровень Altitude level	C N	C N E	C N E	C N E	B E	B E	Ю B S E	Ю B S E	Ю S	Ю S	Ю S	Ю S W	Ю S W	Ю S W	Ю S W	3 W
1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,7	–	–	–
2	3,3	3,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,7	4,3	–	–
3	3,7	3,8	–	–	–	–	–	2,8	–	–	–	–	3,9	3,6	–	–
4	4,2	4,3	–	3,8	–	4,2	3,5	2,7	–	2,8	3,5	3,5	4,0	3,9	3,8	–
5	4,3	4,2	3,1	4,2	3,7	4,1	3,6	3,3	2,7	3,4	3,3	3,5	3,9	3,9	–	–
6	–	4,4	4,0	4,3	3,9	4,0	3,3	3,4	3,3	4,0	4,1	3,9	4,3	4,4	–	–
7	–	4,9	4,3	5,1	4,8	5,8	3,1	3,6	3,9	3,7	–	4,4	4,0	–	–	–
8	–	5,0	4,1	4,6	4,5	3,7	3,6	4,4	3,8	–	–	–	–	–	–	–
9	–	6,0	5,3	4,8	4,0	3,9	4,6	4,0	4,0	–	–	–	–	–	–	–
10	–	–	–	4,4	3,9	–	–	4,4	3,7	–	–	–	–	–	–	–
11	–	–	–	–	–	–	–	4,5	4,1	–	–	–	–	–	–	–
12	–	–	–	–	–	–	–	4,0	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. Серым тоном выделены участки с преобладанием древостоев сомкнутостью более 20 %.  
Note. Areas with a predominance of forest stands are highlighted in gray; density is more than 20 %.



Как видно из представленных в табл. 2 материалов, данный показатель в пределах каждого сектора закономерно повышается с уменьшением высоты над уровнем моря. Это вполне логично, так как с понижением высотного положения участков улучшаются почвенно-климатические условия и повышается возраст деревьев.

При фиксированных значениях высоты над уровнем моря средняя высота древостоев заметно различается по секторам. Наибольшими значениями этого показателя характеризуются древостои на секторах 2 и 3, обращенных в основном к северу.

Как отмечалось выше, на склонах северной экспозиции г. Дальний Таганай складываются более благоприятные условия для выживания и роста древесных растений.

### Выводы

Результаты исследований показали эффективность применения дистанционной съемки с БПЛА и лазерного сканирования древостоев при изучении их формирования, структуры и особенностей роста в труднодоступных условиях экотона лес – горная тундра. Лидарная съемка позволяет с достаточной точностью определить высоту деревьев, форму и размеры их крон.

Сомкнутость полога древостоев и их средняя высота в экотоне лес – горная тундра закономерно повышаются с уменьшением высоты над уровнем моря. Это связано с тем, что с понижением высотного положения участков улучшаются почвенно-климатические условия и повышается возраст деревьев. Имеющиеся отклонения от этой закономерности объясняются геоморфологическими условиями лесных участков в пределах секторов.

Значения обоих показателей в значительной степени обусловлены экспозицией склонов, от которой зависят степень инсоляции, особенности перераспределения снежных масс и их глубина, сроки снеготаяния, содержание влаги в почве и другие важные для появления и роста древесных растений условия. В высокогорьях г. Дальний Таганай более благоприятные условия для формирования древесной растительности складываются на склонах северной экспозиции, ограниченных румбами СЗ 45° – СВ 45°. Древостои на этих склонах продвигаются выше в гору, на одних и тех же высотных уровнях имеют более высокие показатели сомкнутости полога и средней высоты, чем на склонах других экспозиций.

### Список источников

- Влияние изменений климата на формирование поколений ели сибирской в подгольцовых древостоях Южного Урала / П. А. Моисеев, М. Ван дер Меер, А. Риглинг, И. Г. Шевченко // Экология. 2004. № 3. С. 1–9.
- Госьков Е. А., Воробьева Т. С., Воробьев И. Б. Лазерное сканирование в исследовании структуры древостоев верхней границы леса на Южном Урале // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 2 (81). С. 4–10.
- 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.
- Новый метод определения таксационных характеристик насаждений по снимкам сверхвысокого разрешения с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) / А. С. Алексеев, А. А. Никифоров, А. А. Михайлова, М. Р. Вагизов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 215. С. 6–18.
- Современная динамика высокогорных лесов на Северном Урале: основные тенденции / Н. М. Дэви, В. В. Кукарских, А. А. Галимова [и др.] // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология. 2018. № 3. С. 248–259.
- Шиятов С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург : УрО РАН, 2009. С. 3–5.