

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3. С. 28–38.
Forests of Russia and economy in them. 2023. № 3. P. 28–38.

Научная статья

УДК 574.42, 574.91, 57.045

DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.004

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПРОДВИЖЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ И КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ГОРНУЮ ТУНДРУ ДАЛЬНОГО ТАГАНАЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Андрей Андреевич Григорьев¹, Роман Сергеевич Клям², Сергей Олегович Вьюхин³,
Антон Максимович Громов⁴, Дмитрий Сергеевич Балакин⁵,
Иван Борисович Воробьев⁶, Юлия Валерьевна Шалаумова⁷

^{1, 3, 4, 5, 6, 7} Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

^{2, 3, 4, 5} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ Национальный парк «Таганай», Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Андреевич Григорьев,
grigoryeva@m.usfeu.ru

Аннотация. Изучение процессов и механизмов трансформации растительного покрова в экотоне лес – горная тундра является актуальной задачей в условиях современного изменения климата. В горах Южного Урала за последние десятилетия произошли значительные сокращения площадей, занятых сообществами горных тундр, вследствие продвижения верхней границы древесной и кустарниковой растительности выше в горы. На части вершин к настоящему времени горные тундры полностью исчезли. В данной работе была проведена оценка смещения верхней границы распространения древесной и кустарниковой растительности на г. Дальний Таганай на основе изучения ее возрастной структуры и сравнения разновременных ландшафтных фотоснимков, кроме того, были проанализированы ряды инструментальных наблюдений метеостанции «Таганай-гора». Установлено, что за последнее столетие происходила интенсивная экспансия древостоев ели сибирской в горную тундру г. Дальний Таганай. Безлесные пространства активно заселялись не только древесной, но и кустарниковой растительностью. Например, можжевельник сибирский начал появляться на исследованном участке во второй половине XX в. Наблюдаемые изменения в растительности происходили на фоне потепления климата в районе исследования, отмечаемого преимущественно в зимнее время года (линейный тренд составил 0,14 °C/10 лет). В связи с наблюдаемыми процессами при условии сохранения устойчивого тренда изменения климатических условий, вероятно, существует угроза исчезновения горных тундр на г. Дальний Таганай уже к середине 50-х годов – второй половине XXI в.

Ключевые слова: *Picea obovata*, *Juniperus sibirica*, горные тундры, верхняя граница древесной и кустарниковой растительности, изменение климата

Благодарности: авторы выражают искреннюю благодарность за консультации проф. С. Г. Шиятову и проф. П. А. Моисееву.

Для цитирования: Пространственно-временная динамика древесной и кустарниковой растительности в горную тундру Дальнего Таганая (Южный Урал) / А. А. Григорьев, Р. С. Клям, С. О. Вьюхин, А. М. Громов, Д. С. Балакин, И. Б. Воробьев, Ю. В. Шалаумова // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3 (86). С. 28–38. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.004.

Scientific article

SPATIAL-TEMPORAL DYNAMICS OF TREE AND SHRUB VEGETATION IN THE MOUNTAIN TUNDRA OF DALNIY TAGANAY (SOUTHERN URALS)

Andrey A. Grigoriev¹, Roman S. Klyam², Sergey O. Vyukhin³, Anton M. Gromov⁴, Dmitry S. Balakin⁵, Ivan B. Vorobyov⁶, Yulia V. Shalaumova⁷

^{1, 3, 4, 5, 6, 7} Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

^{2, 3, 4, 5} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ Taganay National Park, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7446-0654>

Corresponding author: Andrey A. Grigoriev, grigoryevaa@m.usfeu.ru

Abstract. The study of the mechanisms of vegetation cover transformation in the mountain forest-tundra ecotone is an important task in the context of modern climate change. Significant reductions in the areas occupied by mountain tundra communities have occurred on the Southern Urals over the past decades due to upward shifts of the limit of tree and shrub vegetation. On some of the peaks, the mountain tundra has completely disappeared by now. In this article we assessed the shifts of the upper limit of tree and shrub vegetation on the summit of Dalniy Taganay based on the study of the age structure and comparison of similar landscape photographs taken at different times. The series of instrumental observations of the Taganay-Gora station were analyzed. It has been established that the intensive expansion of *Picea obovata* stands into the mountain tundra took place on Dalniy Taganay over the past century. Treeless spaces were actively populated not only by trees, but also by shrubs. For example, *Juniperus sibirica* began to appear in the study area in the second half of the 20th century. The changes in vegetation occurred against the background of climate warming in the study area, which was observed mainly in the cold period (the linear trend was 0,14 °C/10 years). Probably, there is a threat of extinction of the mountain tundra on Dalniy Taganay in the period from the mid-1950s to the second half of the 21st century, which is due to the observed processes, provided that a stable trend of climate change is maintained.

Keywords: *Picea obovata*, *Juniperus sibirica*, mountain tundra, upper limit of tree and shrub vegetation, climate change

Acknowledgments: the authors express their sincere gratitude for the advice of Prof. S. G. Shiyatov and Prof. P. A. Moiseev.

For citation: Spatial-temporal dynamics of tree and shrub vegetation in the mountain tundra of Dalniy Taganay (Southern Urals) / A. A. Grigoriev, R. S. Klyam, Sergey O. Vyukhin, A. M. Gromov, D. S. Balakin, I. B. Vorobyov, Y. V. Shalaumova // Forests of Russia and economy in them. 2023. № 3 (86). P. 28–38. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.004.

Введение

В многочисленных исследованиях последних десятилетий было показано, что на фоне современного изменения климата наблюдаются сдвиги границ распространения деревьев во многих горных регионах мира (см. метаанализ (Hansson, Dargusch, Schulmeister, 2021)). Данные процессы в первую очередь сказываются на увеличении биологической продуктивности высокогорных лесов (Latitudinal decline..., 2020) и сокращении биоразнообразия высокогорных регионов (Recent plant diversity..., 2012) вследствие сокращения площадей горных тундр и альпийских лугов. Южный Урал является одним из немногих горных регионов, в котором проблема сокращения горных тундр проявляется наиболее остро. За последние десятилетия произошли беспрецедентные в масштабах истории наблюдений сдвиги границ распространения лесов выше в горы – на части горных вершин Южного Урала отмечается полное исчезновение горных тундр в результате этих процессов

(Шиятов и др., 2020). В связи с этим необходимы глубокие и всесторонние исследования динамических процессов в экотоне лес – горная тундра, особенно на тех вершинах, где существует угроза исчезновения горных тундр в XXI в. Одной из таких вершин является Дальний Таганай.

Цель, методика и объекты исследования

Целью настоящего исследования явилась оценка смещения верхней границы распространения древесной и кустарниковой растительности в горные тундры г. Дальний Таганай за последнее столетие.

Гора Дальний Таганай – плоскообразная вершина высотой 1112 м над ур. м. ($55^{\circ}22'10''$ с. ш., $59^{\circ}54'27''$ в. д.), составляющая хр. Большой Таганай, расположенного в северной части гор Южного Урала (рис. 1). Это самая северная вершина Южного Урала, где распространены горные тундры. Средняя температура января в горной части

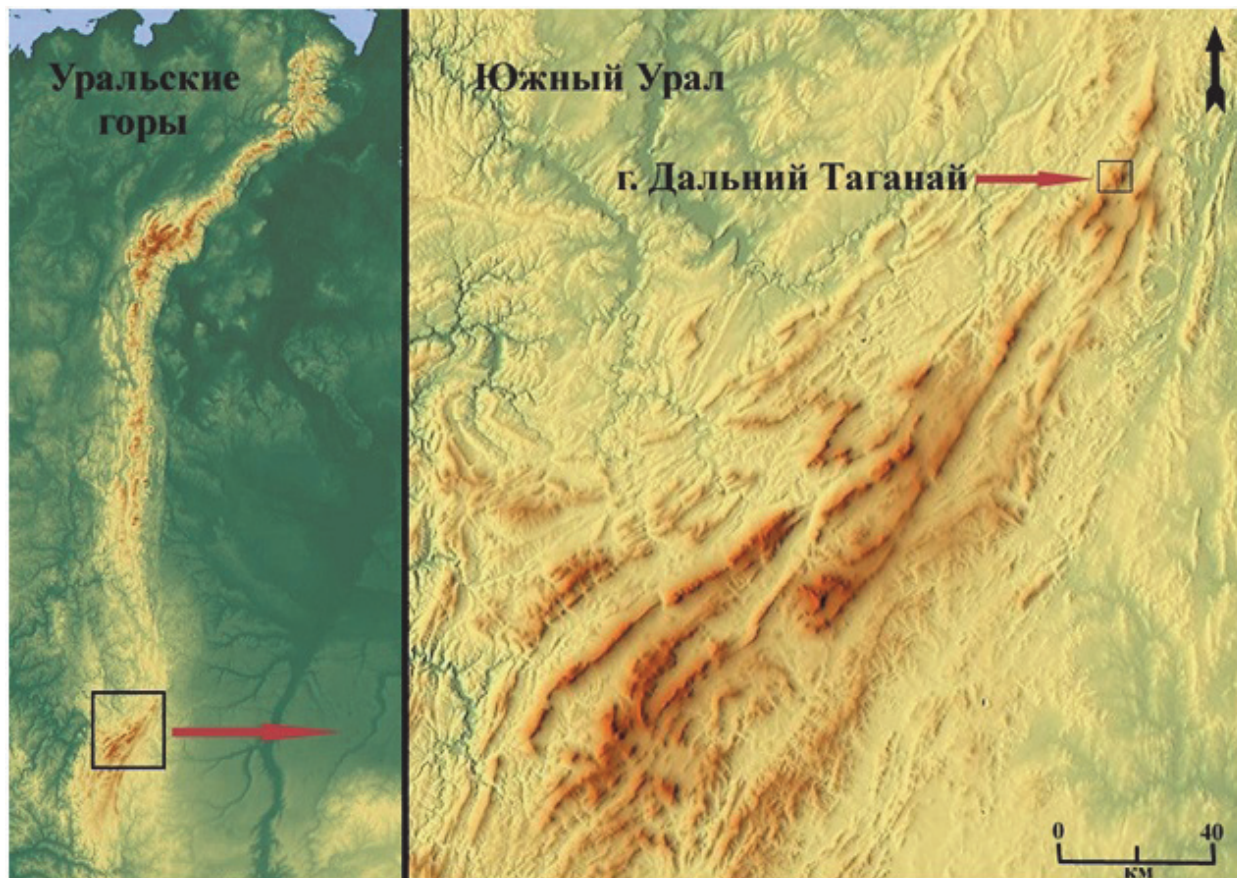


Рис. 1. Карта-схема района исследования
Fig. 1. Location of the study area

составляет -15°C . Годовое количество осадков превышает 800 мм. Скорость ветра в среднем составляет от 9,6 до 13 м/с, зимой может достигать 40 м/с. Температура промерзания почвы на открытых участках (горной тундре) опускается (в январе) до $-20,4^{\circ}\text{C}$ и летом (в августе) повышается до $15,6^{\circ}\text{C}$. Высота снега на открытых участках составляет от 5 до 20 см, в сомкнутом лесу – до 2 м, в надувах может достигать 4 м (Моисеев и др., 2016). Доминирующий древесный вид – *Picea obovata* Ledeb., на отдельных участках *Betula pubescens ssp. tortuosa* Ledeb. Выше границы леса на открытых участках в тундре произрастает *Juniperus sibirica*.

Объектом исследования явились еловые древостои и заросли можжевельника сибирского, произрастающие в экотоне лес – горная тундра.

С целью визуальной оценки изменений высотного и пространственного положения древесной и кустарниковой растительности был проведен поиск мест прежних фотосъемок с последующим

фотографированием растительности с той же точки (Шиятов, 2009). В работе были использованы исторические снимки, сделанные П. Л. Горчаковским в 1961 г. Для осуществления повторного фотографирования находилось точное место, с которого ранее производилось съемка. Обязательными условиями для данных работ являлись: ясная погода и соответствие времени года старого и повторного фотографирования. К сожалению, на некоторых участках прежней фотосъемки уже произрастал сомкнувшийся древостой, поэтому осуществить повторное фотографирование не представлялось возможным. В общей сложности в 2022 г. было сделано 5 повторных фотоснимков.

В июне 2022 г. в экотоне верхней границы древесной растительности, под которым понимается переходный пояс в горах между верхней границей распространения сомкнутых лесов и отдельных деревьев в тундре (Горчаковский, Шиятов, 1985), был заложен высотный профиль на склоне северо-западной экспозиции (рис. 2).

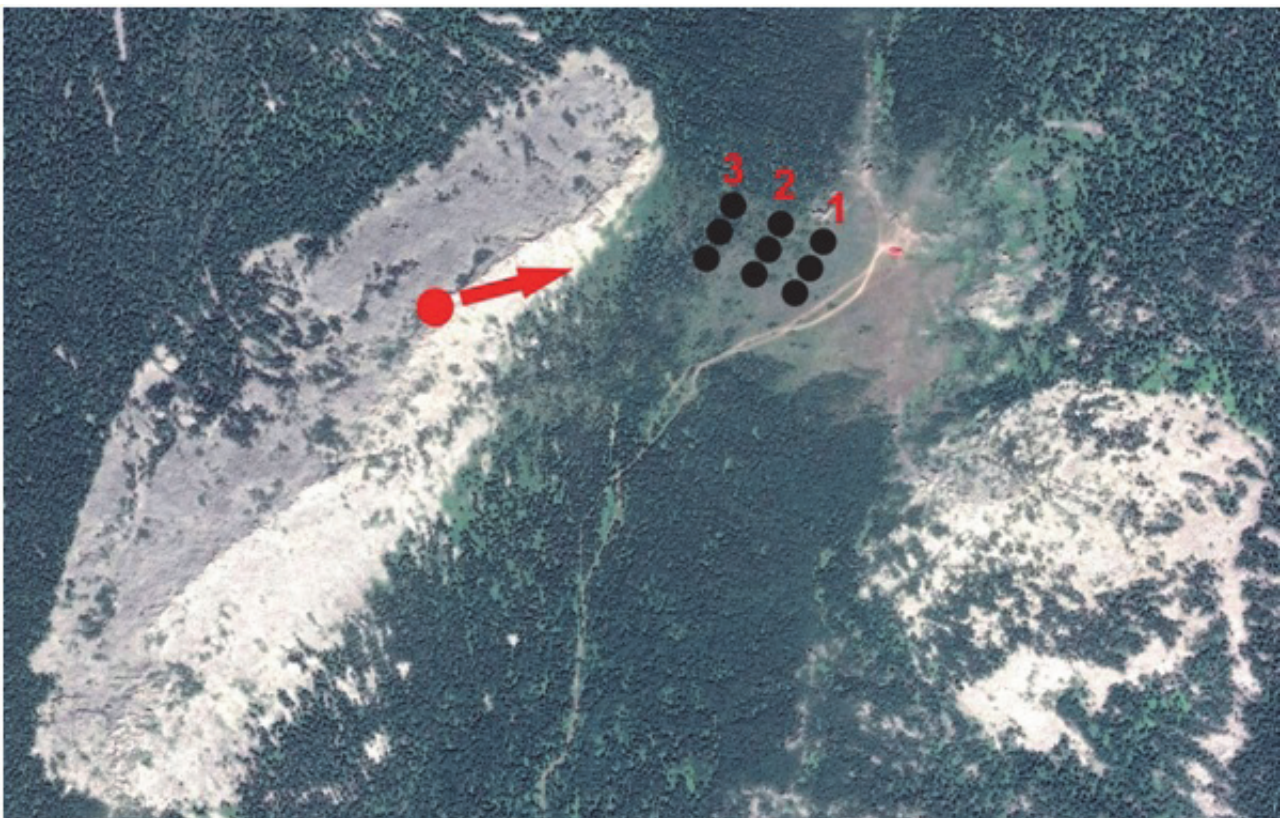


Рис. 2. Схема закладки высотного профиля. Красным кругом и стрелкой обозначено место и направление фотосъемки

Fig. 2. Scheme of the altitudinal transects. The red circle and arrow indicate the location and direction of photography

На профиле фиксировалось три высотных уровня, расположенных вблизи верхней границы распространения различных типов фитоценозов: верхний уровень – отдельные деревья в тундре (1095 м над ур. м.), средний уровень – редины (1090 м над ур. м.), нижний уровень – редколесья (1085 м над ур. м.). На каждом высотном уровне было заложено по 3 постоянных круговых пробных площади размером 0,0227 га.

На каждой пробной площади фиксировалось точное местоположение каждого дерева, диаметр ствола у основания, диаметр на высоте 1,3 м, диаметр кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях, возраст и жизненное состояние. У каждой особи можжевельника сибирского фиксировалось точное местоположение, диаметр кроны, высота и возраст.

Возраст деревьев определяли путем взятия образцов древесины (кернов) в основании ствола либо взятием поперечного спила (менее 3 см в диаметре). Каждый образец древесины был наклеен на деревянную основу, зачищен острым лезвием и для лучшей визуализации годичных колец пигментирован зубным порошком. Подсчет годичных колец и датировку кернов проводили по общепринятой методике (Шиятов и др., 2000) в лабораторных условиях. Все образцы древесины измерены на полуавтоматической установке Lintab 5. Для выявления ложных и выпадающих колец была построена обобщенная древесно-кольцевая хронология по кернам (40 шт.), специально взятым у старых деревьев в районе исследований. К подросту были отнесены деревья высотой не более 1,5 м. Возраст кустов можжевельника определялся путем поиска мест прикрепления самой крупной ветви к основанию стволика с последующим ее спилом. Обработка спилов проводилась апробированными методами (Григорьев и др., 2021) также с использованием методов дендрохронологии.

В целом на общей площади 0,2 га были определены морфометрические параметры 430 деревьев (включая подрост) и крупных кустарников.

Оценка климата в регионе исследования проводилась по данным станции «Таганай-гора», реконструированным по данным станции «Златоуст»

(55°22'00" с.ш., 59°55'00" в.д., 1102 м над ур. м.). Динамика температуры приземного воздуха была изучена за период 1837–2012 гг. суммарных осадков – за период 1876–2012 гг. Уникальность этой станции заключается в том, что она располагалась на вершине г. Дальний Таганай в непосредственной близости от пробных площадей. Климатические данные взяты из базы данных Росгидромета России (ВНИИГМИ-МЦД, 2023). Данные о суммарном количестве осадков были скорректированы поправками на смачивание и смену приборов.

Для анализа климатических данных рассматривались теплый (июнь – август) и холодный (ноябрь – март) сезоны. Выбор теплого периода соответствовал фазе наиболее активного роста древесно-кустарниковой растительности на исследуемых участках, когда дневные температуры превышают 5 °С. К холодному периоду относились месяцы со средней температурой воздуха ниже 0 °С и относительно стабильной высотой снежного покрова. Аномалии климатических параметров в теплый и холодный периоды каждого года определялись по отклонению текущего значения от среднего за базовый период 1961–1990 гг. при группировании данных по пятилетиям. Были построены модели линейной регрессии для оценки трендов климатических аномалий.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве примера приведены фотоснимки, сделанные с северной оконечности юго-западного скалистого гребня (рис. 3). На заднем плане изображен южный склон и вершина г. Дальний Таганай. Верхний снимок сделан П.Л. Горчаковским. Сравнение изображений на разновременных фотоснимках показывает, что за последние 63 года произошло формирование еловой редины из многоствольных и одноствольных елей в сомкнутый березово-еловый лес, за исключением участков у подножия гребня и на вершине горы. На южном склоне верхняя граница сомкнутых лесов поднялась выше в горы на 10–20 м. Именно в той части склона, где произошли наиболее заметные изменения в распределении лесопокрываемых площадей, расположен высотный профиль.

Средние таксационные показатели и площадные характеристики еловых и березовых древостоев и кустов можжевельника, произрастающих на заложенных высотных профилях, приведены в таблице. Данные таблицы свидетельствуют, что по мере продвижения в гору (по мере ухудше-

ний условий для роста) закономерно изменяются (уменьшаются) средние и максимальные таксационные показатели деревьев ели. Так, средняя высота уменьшается в 3–6 раз, средняя высота в 2–3 раза, средний диаметр крон в 1,5–2 раза, средний возраст в 2–2,5 раза.

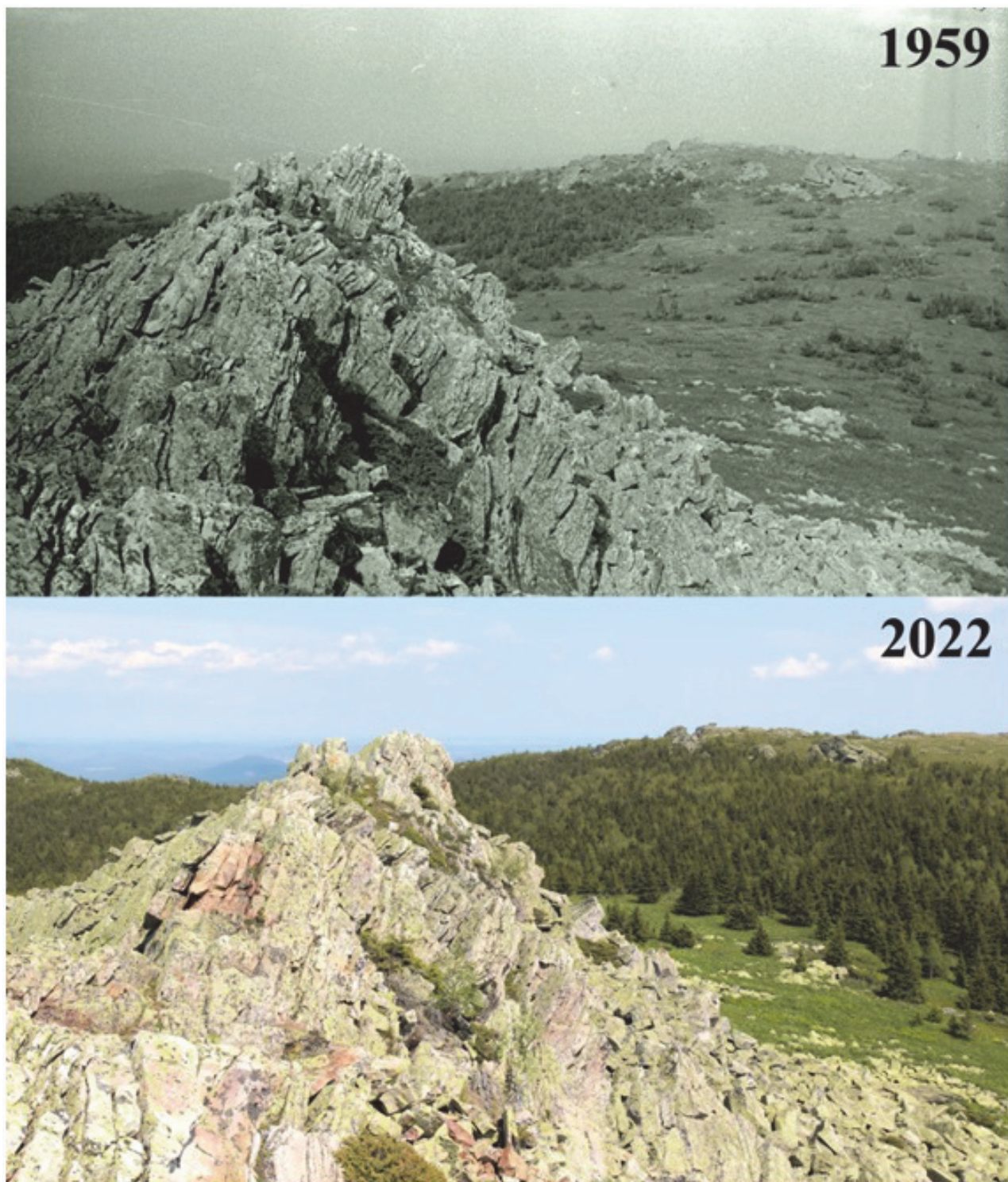


Рис. 3. Разновременные ландшафтные фотоснимки (точка 8)
Fig. 3. Similar landscape photographs taken at different times (point 8)

Средние таксационные показатели и площадные характеристики еловых древостоев и зарослей можжевельника, произрастающих на заложенных высотных профилях
Average morphometric parameters and areal characteristics of spruce forest stands and juniper bushes growing on the established altitudinal transects

Уровень Level	Виды Species	Диаметр на 1,3 м, см Diameter at 1,3 m, cm	Высота ствола, м Stem height, m	Возраст, лет Stem height, m	Диаметр кроны, м Crown diameter, m	Площадь пр. покрытия крон, м ² /га Crown projection areas, m ² /ha	Отпад, шт./га Mortality, pcs/ha	Густота, шт./га Density, pcs/ha	
								< 1,5 м < 1,5 m	> 1,5 м > 1,5 m
Верхний Top	Е S	2,8±2,4	1,9±0,5	25±12	1,4±0,4	128	0	158	78
	Б B	3,1±1,6	2,0±0,5	–	1,6±0,9	42	0	3	33
	Мж J	–	0,32±0,10	31±16	1,3±0,5	111	0	86	
Средний Middle	Е S	8,6±5,4	3,7±1,6	40±18	1,9±0,9	5419	177	3700	1395
	Б B	7,5±2,9	4,1±1,1	35±8	2,2±0,6	1747	0	44	426
	Мж J	–	0,50±0,2	24±10	0,7±0,4	205	0	323	
Нижний Bottom	Е S	14,6±6,1	5,6±1,5	68±19	2,5±1,1	8781	250	602	
	Б B	–	–	–	–	0	0	0	0
	Мж J	–	–	–	–	0	0	0	0

Наиболее значительно уменьшаются площадь проективного покрытия кроны и густота древостоев по мере продвижения в гору. Древостои березы на нижнем уровне отсутствуют, произрастают только лишь в качестве небольшой примеси на среднем и верхнем уровнях. Можжевельник распространен только на верхнем уровне на границе отдельных деревьев в тундре, где отсутствует конкуренция с елью.

Исследование распределения количества деревьев по периодам их появления показало, что первые деревья ели на исследованном участке склона стали появляться еще в начале XX в., причем более массово на нижнем высотном уровне (рис. 4). На среднем высотном уровне отдельные деревья появились в 1915–1940 гг. Более массово здесь деревья стали заселяться после 1940-х годов. В целом можно констатировать, что на нижнем и среднем высотных уровнях деревья заселялись достаточно

синхронно («скачкообразно») с четырьмя явными периодами массового заселения: с 1915 по 1940 гг., с 1945 по 1970 гг., с 1980 по 1995 гг. и с 2005 по 2015 гг. Наиболее массово этот процесс происходил в последний период. На верхнем высотном уровне первые деревья появились только в 1980-х годов и продолжают заселяться по настоящее время.

Ныне произрастающие особи можжевельника на исследованном участке склона появились только во второй половине XX в. на верхнем уровне (рис. 5). Наиболее массово на обоих высотных уровнях заселение началось в 1980-е годы и продолжается по настоящее время.

Результаты анализа климатических показателей выявили выраженные тенденции потепления и увлажнения климата в районе исследования (рис. 6). В холодное время года повышение температуры воздуха было практически в 3 раза выше, чем в теплое время года (0,14°C/10 лет

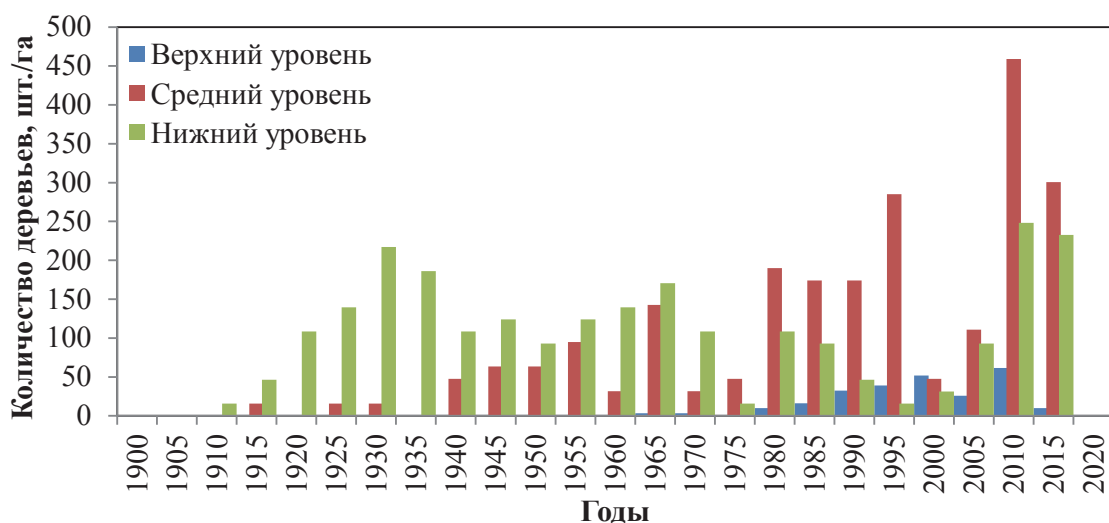


Рис. 4. Распределение количества деревьев ели по периодам их появления на заложенном высотном профиле

Fig. 4. Distribution of the number of spruce trees according to the periods of their appearance on the altitudinal transects

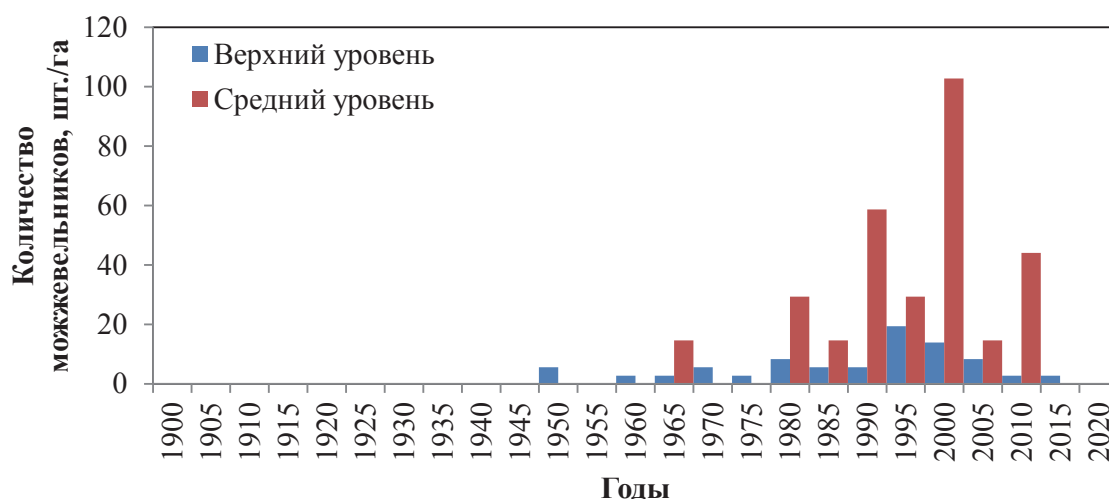


Рис. 5. Распределение количества можжевельников по периодам их появления на заложенном высотном профиле

Fig. 5. Distribution of the number of junipers by the periods of their appearance on the altitudinal transects

против $0,05^{\circ}\text{C}/10$ лет). Прирост осадков также был почти в два раза больше в холодном периоде по сравнению с теплым ($4,9$ мм/10 лет против $2,1$ мм/10 лет).

Таким образом, повторное фотографирование высокогорной древесной и кустарниковой растительности, произрастающей в экотоне верхней границы леса на г. Дальний Таганай, наглядно свидетельствует, что за последние 50–60 лет произошло значительное сокращение площадей, занятых

сообществами горных тундр. Данное обстоятельство обусловлено стремительным продвижением («наступлением») древесной растительности, преимущественно ели сибирской, выше в горы, где она начинает формировать сомкнутые заросли, вытесняя травянистую растительность горных тундр. Это также подтверждается данными по возрастной и таксационной структуре елово-березовых древостоев, произрастающих на заложенных высотных профилях.

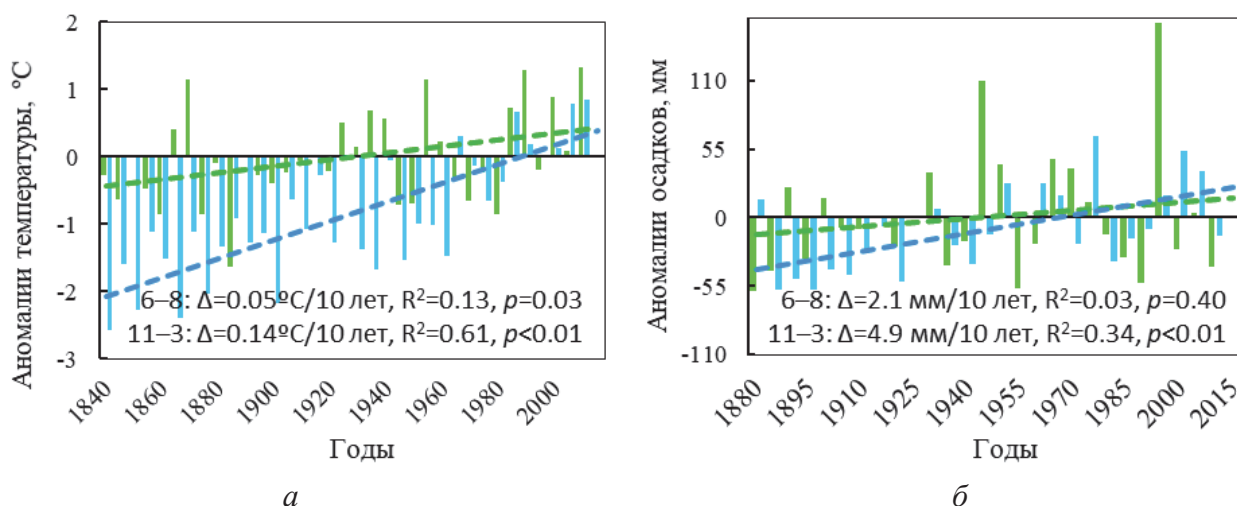


Рис. 6. Аномалии средней температуры воздуха (а) и суммарных осадков (б) в теплом (июнь – август) и холодном (ноябрь – март) периодах, сгруппированные по 5-летиям для метеостанции «Таганай-гора». Пунктирными линиями показаны линейные тренды

Fig. 6. Anomalies of mean air temperature (a) and total precipitation (b) in the warm (June – August) and cold (November – March) periods, grouped by five years for the Taganay-Gora station. Dotted lines show linear trends

Мы предполагаем, что причины наблюдаемых трансформаций природной среды могут быть обусловлены наблюдаемым изменением (потеплением) климата в районе исследования. Преимущественно эти изменения произошли в зимние месяцы: зимы стали теплее и многоснежнее.

Базируясь на полученных оценках, можно предположить, что при сохранении текущих тенденций полное зарастание г. Дальний Таганай возможно в середине 50-х годов этого столетия даже без учета прогнозных моделей (Lawrence et al., 2005; A greener Greenland..., 2013), предсказывающих продолжение потепления климата в глобальном масштабе от 2 до 5 °С. Профессор С.Г. Шиятов с коллегами (Изменения климата..., 2001) предполагал, что полное зарастание вершины г. Дальний Таганай произойдет к 2040–2050 гг., однако наличие курумной границы замедляет данный процесс.

Выводы

В горах Южного Урала начиная с 1910-х годов происходило стремительное продвижение верхней границы леса (представленной преимущественно еловыми древостоями) в горную тундру г. Дальний Таганай. Можжевельник сибирский начал заселяться только во второй половине XX в. Наблюдаемые изменения в растительности происходили на фоне изменения (потепления) климата в районе исследования преимущественно в зимнее время года. В результате этих процессов и формирования на ранее безлесных территориях сомкнутых древостоев произошло сокращение площадей, занятых сообществами горных тундр. При сохранении текущих тенденций полное зарастание г. Дальний Таганай возможно уже к середине 50-х годов – второй половине XXI в.

Список источников

- ВНИИГМИ-МЦД. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации. Мировой центр данных : [сайт]. URL: <http://meteo.ru> (дата обращения: 16.01.2023).
- Горчаковский П. Л., Шиятов С. Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М. : Наука, 1985. 208 с.
- Григорьев А. А., Шалаумова Ю. В., Балакин Д. С. Современная экспансия *Juniperus sibirica* Burgsd. в горные тундры Северного Урала // Экология. 2021. № 5. С. 1–8.

- Изменения климата и их влияние на горные экосистемы Национального парка «Таганай» за последние столетия / *Шиятов С. Г., Мазепа В. С., Моисеев П. А., Братухина М. Ю.* ; Рос. представительство WWF ; под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина // Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. М. : Рус. ун-т, 2001. С. 16–31.
- Моисеев П. А., Шиятов С. Г., Григорьев А. А.* Климатогенная динамика древесной растительности на верхнем пределе ее распространения на хребте Большой Таганай за последнее столетие : монография. Екатеринбург : Изд-во УМЦ УПИ, 2016. 136 с.
- Шиятов С. Г.* Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург, 2009. 219 с.
- Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Курдянов А. В.* Методы дендрохронологии. Ч. 1: Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск : КрасГУ, 2000. 80 с.
- Шиятов С. Г., Моисеев П. А., Григорьев А. А.* Фотомониторинг древесной и кустарниковой растительности в высокогорьях Южного Урала за последние 100 лет. Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. 191 с.
- A greener Greenland? Climatic potential and long-term constraints on future expansions of trees and shrub // *S. Normand, C. Randin, R. OhlemUller* [et al.] // *Philosophical transactions of the Royal Society B*. 2013. Vol. 368 (1624). URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2012.0479> (accessed: on 11.01.2023).
- Hansson A., Dargusch P., Shulmeister J.* A review of modern treeline migration, the factors controlling it and the implications for carbon storage // *Journal of Mountain Science*. 2021. Vol. 18 (2). P. 291–306.
- Latitudinal decline in stand biomass and productivity at the elevational treeline in the Ural mountains despite a common thermal growth limit / *F. Hagedorn, M. A. Dawes, M. O. Bubnov, N. M. Devi, A. A. Grigoriev, V. S. Mazepa, Z. Y. Nagimov, S. G. Shiyatov, P. A. Moiseev* // *Journal of Biogeography*. 2020. Vol. 47 (8). P. 1827–1842.
- Lawrence D. M., Slater A. G.* A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century // *Geophysical research letters*. 2005. Vol. 32 (24). URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2005GL025080> (accessed: on 11.01.2023).
- Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits / *H. Pauli, M. Gottfried, S. Dullinger* [et al.] // *Science*. 2012. Vol. 336 (6079). P. 353–355.

References

- A greener Greenland? Climatic potential and long-term constraints on future expansions of trees and shrub // *S. Normand, C. Randin, R. OhlemUller* [et al.] // *Philosophical transactions of the Royal Society B*. 2013. Vol. 368 (1624). URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2012.0479> (accessed: 11.01.2023).
- Climate changes and their impact on the mountain ecosystems of the Taganay National Park over the past centuries / *S. G. Shiyatov, V. S. Mazepa, P. A. Moiseev, M. Yu. Bratukhina* ; Russian office of WWF; edited by A. Kokorin, A. Kozharinov, A. Minin // *Impact of climate change on ecosystems. Protected natural territories of Russia: analysis of long-term observations*. Moscow : Russian university, 2001. P. 16–31. (In Russ.)
- Gorchakovsky P. L., Shiyatov S. G.* Phytoindication of environmental conditions and natural processes in high mountain regions. Moscow : Nauka, 1985. 208 p. (In Russ.)
- Grigoriev A. A., Shalamova Yu. V., Balakin. D. S.* Current expansion of *Juniperus sibirica* Burgsd. to the mountain tundras of the Northern Urals // *Russian Journal of Ecology*. 2021. № 5. P. 1–8. (In Russ.)

- Hansson A., Dargusch P., Shulmeister J. A review of modern treeline migration, the factors controlling it and the implications for carbon storage // *Journal of Mountain Science*. 2021. Vol. 18 (2). P. 291–306.
- Latitudinal decline in stand biomass and productivity at the elevational treeline in the Ural mountains despite a common thermal growth limit / F. Hagedorn, M. A. Dawes, M. O. Bubnov, N. M. Devi, A. A. Grigoriev, V. S. Mazepa, Z. Y. Nagimov, S. G. Shiyatov, P. A. Moiseev // *Journal of Biogeography*. 2020. Vol. 47(8). P. 1827–1842.
- Lawrence D. M., Slater A. G. A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century // *Geophysical research letters*. 2005. Vol. 32(24). URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2005GL025080> (accessed: 11.01.2023).
- Moiseev P. A., Shiyatov S. G., Grigoriev A. A. *Climatogenic Dynamics of Woody Vegetation at the Upper Limit of Its Distribution on the Bolshoy Taganay Ridge over the Past Century* : monograph. Yekaterinburg : UMC UPI, 2016. 136 p.
- Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits / H. Pauli, M. Gottfried, S. Dullinger [et al.] // *Science*. 2012. Vol. 336 (6079). P. 353–355.
- RIHMI-WDC. All Russian Research Institute of Hydrometeorological Information. World Data Center : [website]. URL: <http://meteo.ru> (accessed: 16.01.2023).
- Shiyatov S. G., Moiseev P. A., Grigoriev A. A. *Photomonitoring of tree and shrub vegetation in the highlands of the Southern Urals over the past 100 years*. Yekaterinburg : USFEU, 2020. 191 p.
- Shiyatov S. G., Vaganov E. A., Kirilyanov A. V. *Methods of dendrochronology. Part 1. Fundamentals of dendrochronology. Collecting and obtaining tree-ring information*. Krasnoyarsk : KrasGU, 2000. 80 p.
- Shiyatov S. G., Vaganov E. A., Kirilyanov A. V. *Dynamics of tree and shrub vegetation in the mountains of the Polar Urals under the influence of modern climate change*. Yekaterinburg, 2009. 219 p.

Информация об авторах

- А. А. Григорьев – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник;*
Р. С. Клям – магистр;
С. О. Вьюхин – младший научный сотрудник;
А. М. Громов – старший лаборант-исследователь;
И. Б. Воробьев – старший инженер;
Ю. В. Шалаумова – кандидат технических наук, научный сотрудник.

Information about the authors

- A. A. Grigoriev – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher;*
R. S. Klyam – Master's Degree;
S. O. Vyukhin – Junior Researcher;
A. M. Gromov – Senior Laboratory Assistant Researcher;
I. B. Vorobyev – Senior Engineer;
Yu. V. Shalaumova – Candidate of Technical Sciences, Researcher.

Статья поступила в редакцию 05.04.2023; принята к публикации 08.05.2023.
The article was submitted 05.04.2023; accepted for publication 08.05.2023.
