

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 4–17.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97) С. 4–17.

Научная статья

УДК 581.524.32

DOI: 10.51318/FRET.2026.96.1.001

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ЭКОТОНЕ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ МАКРОСКЛОНЕ ГОРНОГО МАССИВА РАЙ-ИЗ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ, РОССИЯ)

А. П. Михайлович¹, В. В. Фомин², В. Е. Рогачев³, Е. М. Агапитов⁴, Е. А. Костоусова⁵,
Е. Б. Коритняк⁶, С. П. Паршин⁷, Д. Д. Стратонов⁸, Ю. О. Сайко⁹

¹⁻⁸ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹⁻⁴ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

⁹ Свердловский областной медицинский колледж, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Валерий Владимирович Фомин,

fominvv@m.usfeu.ru

Аннотация. В районе исследований, расположенном на юго-восточном макросклоне горного массива Рай-Из (Полярный Урал, Ямало-Ненецкий автономный округ, Россия), изучены особенности распределения снежного покрова в экотоне верхней границы древесной растительности. На основе данных прямых измерений глубины снега на четырех высотных снегомерных профилях установлены количественные различия в глубине снежного покрова в градиенте высоты местности и густоты древостоя. На участке исследуемой территории с более выраженным мезо- и микро-рельефом медианные значения глубины снега достоверно различаются в 2,7–2,9 раза, тогда как на более пологом участке с менее выраженным рельефом – примерно в 1,2–2,3 раза. Варьирование глубины снега в тундре с отдельно стоящими деревьями в 1,5–3,0 раза выше, чем в области лиственничных редин, редколесий и лесов. На слабо облесенных участках исследуемой территории на вершинах бугров и гряд глубина снежного покрова, как правило, находится в интервале 0,10–0,20 м; на наветренных участках этих форм рельефа глубина снега варьирует от 0,5 до 1,5 м, а наибольшей глубины снежный покров достигает на заветренных нижних частях бугров и гряд – от 1,0 до 2,0 м. Деревья выступают препятствием для ветрового переноса снега, формируя за группами деревьев снежные наносы, глубина которых на 0,5–1,0 м больше, чем глубина снежного покрова перед препятствием. Снег обладает хорошими теплоизоляционными свойствами. Негативное влияние низких значений температуры на молодые экземпляры лиственницы сибирской происходит при небольшой глубине снежного покрова, не способного защитить их от действия этого фактора. Второй фактор, негативно влияющий на древесные растения, – снеговая коррозия ствола и ветвей, находящихся выше уровня снега. Большие сугробы (2 м и более) также негативно влияют на молодые экземпляры лиственницы из-за позднего освобождения напочвенного покрова от снега, сокращая и без того достаточно короткий вегетационный период. Положительная роль снега обусловлена его защитой от низких температур и снеговой коррозии при оптимальной глубине снежного покрова.

Ключевые слова: экотон, верхняя граница, снежный покров, рельеф, густота древостоя, лиственница сибирская, Полярный Урал

Финансирование: результаты исследований получены в рамках выполнения государственной госбюджетной темы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (шифр проекта РНФ 24-24-00235).

Для цитирования: Особенности распределения снежного покрова в экотоне верхней границы древесной растительности на юго-восточном макросклоне горного массива Рай-Из (Полярный Урал, Россия) / А. П. Михайлович, В. В. Фомин, В. Е. Рогачев [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 4–17.

Original article

SNOW COVER DISTRIBUTION FEATURES IN THE TREE LINE ECOTONE ON THE SOUTHEASTERN MACROSLOPE OF RAI-IZ MOUNTAIN MASSIF (POLAR URALS, RUSSIA)

A. P. Mikhailovich¹, V. V. Fomin², V. E. Rogachev³, E. M. Agapitov⁴,
E. A. Kostousova⁵, E. B. Koritnyak⁶, S. P. Parshin⁷, D. D. Stratonov⁸, Yu. O. Saiko⁹

¹⁻⁸ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹⁻⁴ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

⁹ Sverdlovsk Regional Medical College, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Valery V. Fomin,

fominvv@m.usfeu.ru

Abstract. The features of snow cover distribution in the tree line ecotone in the area on the southeastern macroslope of the RaiIz mountain massif (Polar Urals, YamaloNenets Autonomous District, Russia) were researched. Quantitative differences in snow depth were found across gradients of terrain elevation and forest stand density of the basis of direct measurements of snow depth along four snow survey profiles. Median value of snow depths differ significantly by a factor of 2,6–2,9 in the part of the research area with more pronounced mesorelief, whereas in the flatter area with less pronounced relief, the difference ranges from 1,1 to 2,3 times. The variation in snow depth in the tundra with single trees is 1,5–3,0 times higher than in areas of light, open and closed forests. In tundra with single trees, on the tops of hummocks and ridges, snow depth typically ranges from 0,10 to 0,20 m; on the windward sides of these landforms, snow depth usually varies from 0,5 to 1,5 m, while the deepest snow cover occurs on the leeward lower parts of hummocks and ridges – ranging from 1,0 to 2,0 m. Trees act as an obstacle to wind-driven snow transport, forming snow deposits behind tree groups, the depth of snow blanket is 0,5–1,0 m greater than the snow depth in front of the obstacle. Snow has good thermal insulation properties. The negative impact of low temperatures on young specimens of Siberian larch occurs when the snow depth is insufficient to protect them from this factor. The second factor that negatively affects woody plants is snow corrosion of the trunk and branches located above the snow level. Large snowdrifts (2 meters or more) also negatively affect young larch specimens due to the delayed release of the ground surface from snow, shortening the already quite short growing season.

Keywords: ecotone, upper boundary, snow cover, relief, forest stand density, Siberian larches, Polar Urals

Finding: the research results were obtained as part of the state budget project of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (RF Project Code 24-24-00235).

For citation: Snow cover distribution features in the tree line ecotone on the southeastern macro-slope of Rai-Iz mountain massif (Polar Urals, Russia) / A. P. Mikhailovich, V. V. Fomin, V. E. Rogachev [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). P. 4–17.

Введение

Древесная растительность вблизи верхнего предела ее произрастания находится в экстремальных климатических и почвенно-гидрологических условиях. В зависимости от преобладания влияния на нее какого-либо из экологических факторов исследователи выделяют разные типы верхней границы древесной растительности. Например, в условиях, когда ярко выраженным лимитирующим фактором является температура воздуха, выделяют термическую границу, а если таким фактором являются ветер, снег или эдафические факторы, то выделяют ветровую, снеговую или эдафическую границу (Горчаковский, Шиятов, 1985) соответственно. Сочетание перечисленных выше и ряда других факторов определяет условия местопроизрастания древесной растительности и особенности ее пространственно-временной динамики в условиях современного изменения климата (Holtmeier, Broll, 2017; Fomin, Shiyatov, 2021).

Анализ научной литературы, посвященной вопросам влияния температуры, ветра и снега на выживание и рост древесной растительности вблизи верхнего предела ее произрастания, а также влияния деревьев на изменение уровней действия перечисленных выше факторов, достаточно хорошо описан на качественном (Holtmeier, Broll, 2017, 2020) и количественном уровнях отдельных местообитаний (Past the climate..., 2019; Snow properties..., 2022). В частности, для высокогорной растительности детально проработана система прямых и обратных связей между экологическими факторами и древесной растительностью (Fomin, Shiyatov, 2021; Holtmeier, Broll, 2007, 2020). При этом, несмотря на общее понимание возможного негативного и позитивного влияния ветра, снега и температуры на нее, методики количественной оценки этого влияния, учитывающие специфику рельефа, мезоклимата для высокогорных исследуемых территорий, требуют дальнейшей проработки.

Древесная растительность, как и рельеф, влияет на распределение снега по территории, способствуя его существенному накоплению на затененных участках. Данный эффект используется при создании снегозащитных ограждений в виде заборов и щитов, а также лесных снегозащитных насаждений вдоль дорог (Tabler, 1991; Рекомендации..., 2014). При этом если расчет распределения объемов снегопереноса в зависимости от конструкции лесных снегозащитных полос вдоль дорог является решенной инженерной задачей, то для экотона верхней границы древесной растительности количественная оценка распределения снега по исследуемой территории, как необходимого этапа для создания моделей снегопереноса, является актуальной и еще не решенной задачей.

Цель, методика и объекты исследования

Цель работы – исследование закономерностей накопления снега в экотоне верхней границы древесной растительности в горных условиях на основе прямых измерений на высотных снегомерных профилях.

Район исследований расположен на юго-восточном макросклоне горного массива Рай-Из (Полярный Урал, Россия) в пределах $66,7935^{\circ}$ – $66,8383^{\circ}$ с.ш., $65,4976^{\circ}$ – $65,6614^{\circ}$ в.д. (рис. 1). С северной части он граничит с горой Малая Черная, а северо-западной – горой Черная. Данные крупные формы рельефа образованы ультраосновными горными породами: массив Рай-Из состоит из перидотитов, горы Черная и Малая Черная – из габбро. Часть долины реки Енгаю между горами Черная и Малая Черная вблизи северо-восточной границы района исследований является каналом, своеобразными «воротами», которые влияют на формирование преобладающего направления ветра на данной территории (рис. 1).

Под действием ледника был сформирован сложный рельеф исследуемого района. Условно

его можно разделить на два участка: юго-западный (А) и северо-восточный (Б) (рис. 1 и 2). Участок А представляет собой котловину между конечной, правой и левой боковыми моренами. Правый берег реки Енгаю является моренным валом, представляющим правую боковую и конечную морены. С северо-восточной стороны участок А ограничен левой боковой мореной.

На данном участке находится большое количество бугров и впадин, а также вытянутых гряд

и ложбин, которые образованы в результате движения ледника. Гидрографическая сеть представлена рекой Енгаю с впадающими в нее несколькими ручьями и большим количеством временных водотоков. В этой части района исследований находится озеро Ярейты и многочисленные относительно небольшие водоемы (см. рис. 2).

Рельеф участка Б (см. рис. 1 и 2) представляет собой пологий склон с менее выраженными по сравнению с участком А формами рельефа.

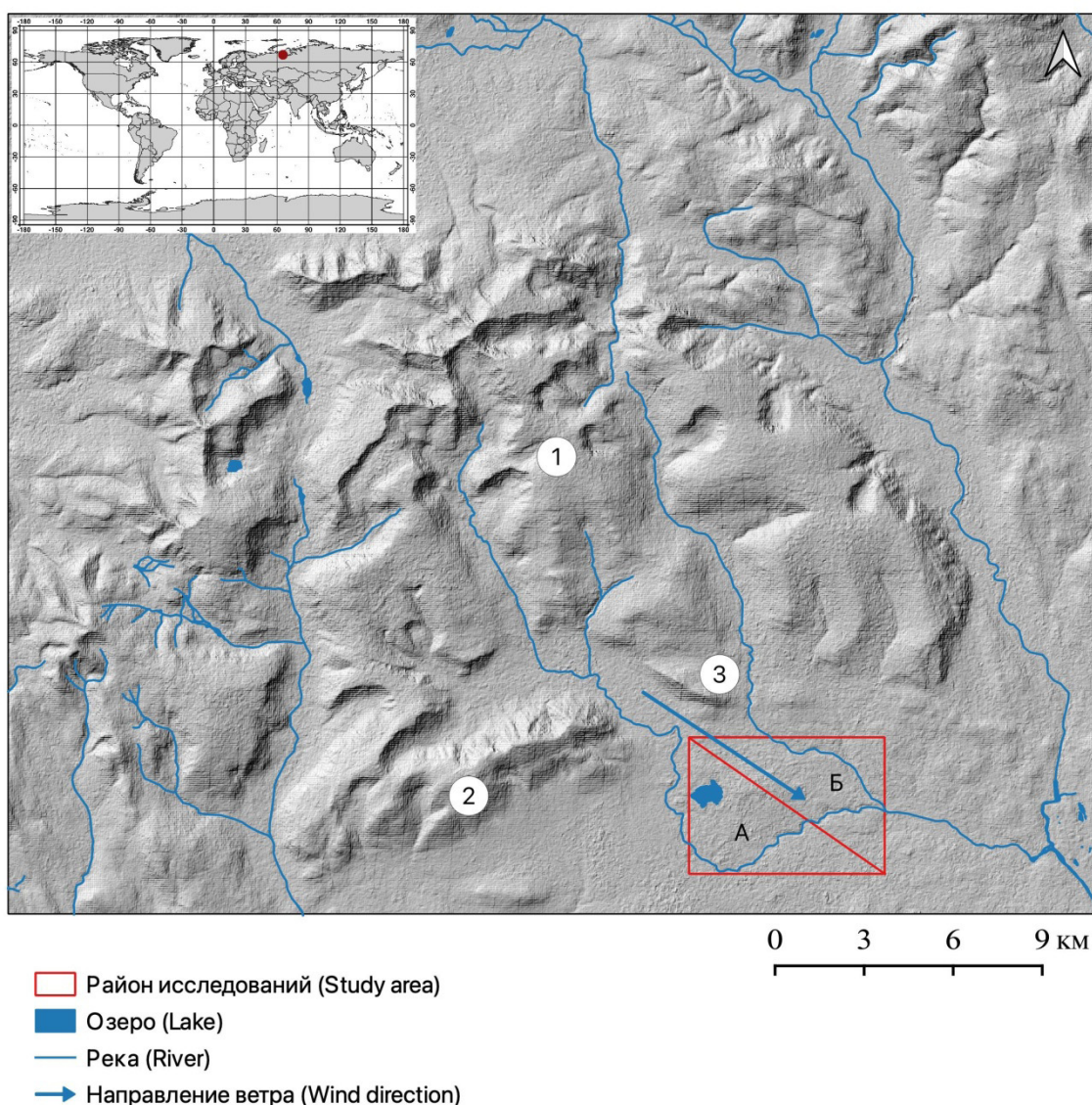


Рис. 1. Картограммы, характеризующие местоположение исследуемой территории на карте мира и на горном массиве Рай-Из. Цифрами обозначены:

1 – горный массив Рай-Из, 2 – гора Черная, 3 – гора Малая Черная.

Участки А и Б района исследований отличаются по особенностям рельефа

Fig. 1. Cartographs characterizing research area location on the world map

and in the Rai-Iz mountain massif. Numbers denote:

1 – Rai-Iz mountain massif, 2 – Mount Chernaya, 3 – Mount Malaya Chernaya.

Areas A and B of the research region differ in relief characteristics

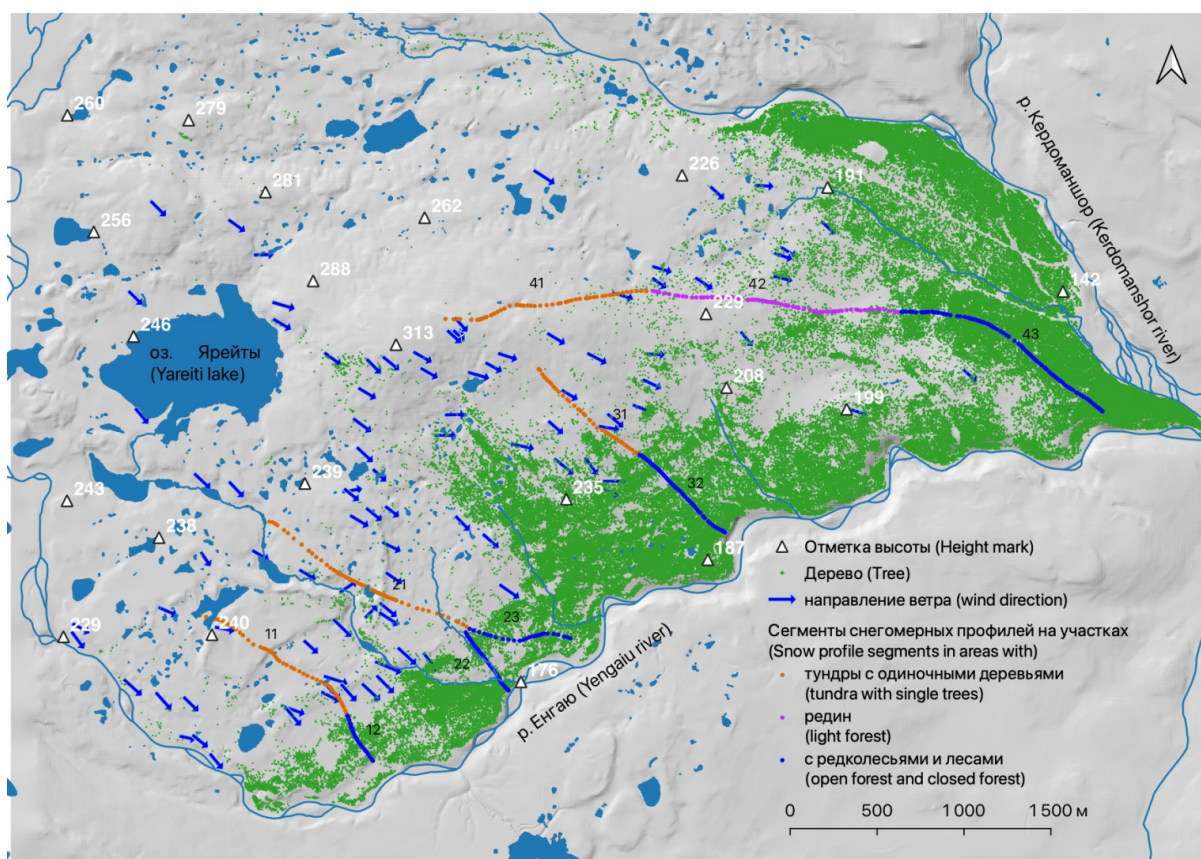


Рис. 2. Картограмма, характеризующая рельеф района исследований, преобладающее направление ветра на разных его участках, распределение лиственницы сибирской и местоположение снегомерных профилей с выделением сегментов на необлесенных и облесенных участках склона

Fig. 2. Cartograph characterizing the relief of the research area, prevailing wind directions, distribution of *Larix sibirica*, and the location of snow measurements profiles with the delineation of segments in non forested and forested areas

Юго-восточной границей данного участка является река Енгаю, а с северо-востока – река Кердоманшор. Кроме перечисленных двух рек, по территории участка протекают два ручья, впадающие в реку Енгаю. В северной части данного участка находится несколько небольших водоемов. Перепад высот в пределах всей исследуемой территории составляет 141 м, минимальная высота местности – 172 м, а максимальная – 313 м н. у. м.

В районе исследований в древесном ярусе преобладает лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.). На берегу реки Енгаю единично встречаются ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) и береза извилистая (*Betula tortuosa* Ledeb.). В подлеске на всей исследуемой территории в основном встречается карликовая береза (*Betula nana* L.) и можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica* Bugsd.).

В травяно-кустарничковом ярусе преобладает голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), а в напочвенном покрове – зеленые мхи и лишайники (Holocene Dynamics..., 2003; Shiyatov et al., 2005). Направление ветра в разных точках района исследований определяли по направлению флагообразной кроны дерева (рис. 3) при помощи геодезического компаса.

Снегомерные измерения проводили с 21 по 24 апреля 2024 г. Глубину снега в каждой точке снегомерных профилей (см. рис. 2) измеряли при помощи лавинного щупа Black Diamond Quickdraw Probe Tour 320 (Black Diamond Equipment, США), а местоположение точек измерений – с использованием GNSS-приемника Oscar Basic (Tersus GNSS Inc., Китай). Управление системой, состоящей из базы (неподвижного

приемника) и ровера (переносимого приемника), осуществляли при помощи полевого контроллера Tersus TC50 (Tersus GNSS Inc., Китай).

Снегомерные профили, приведенные на рис. 2, разделены на сегменты, которые расположены на необлесенных, слабо и хорошо облесенных участках исследуемой территории. Профиль 1 состоит из сегментов 11 и 12, профиль 2 – из сегментов 21, 22 и 23, профиль 3 – из сегментов 31 и 32, профиль 4 – из 41, 42 и 43.

Для обозначения местоположения деревьев лиственницы сибирской использованы результаты дешифрирования космического снимка высокого разрешения 2015 г. (Fomin et al., 2020).

Направление ветра в разных точках района исследований определяли по направлению флагообразной кроны дерева (рис. 3) при помощи геодезического компаса.

Обработку, анализ и представление данных, полученных в ходе наземных измерений глубины снега, проводили в среде *R* на языке программирования *R* (The R Foundation, Austria, Vienna, <https://www.r-project.org/>) с использованием библиотек *stats* и *graphics*. Для сравнения глубины снега между сегментами профиля использовали тест Уилкоксона (Манна – Уитни). Для этого использовали функцию *wilcox.test* стандартной библиотеки *stats*.



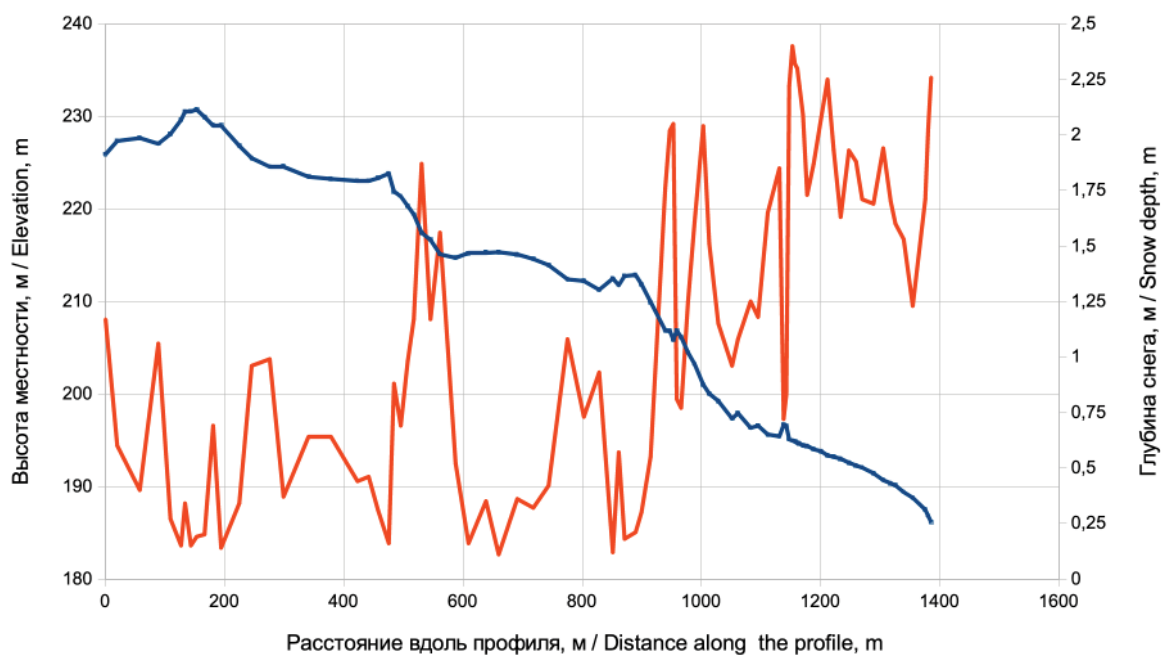
Рис 3. Фотография лиственницы с флагообразной кроной
Fig. 3. Photo of a larch tree with a flag-like crown

Результаты и их обсуждение

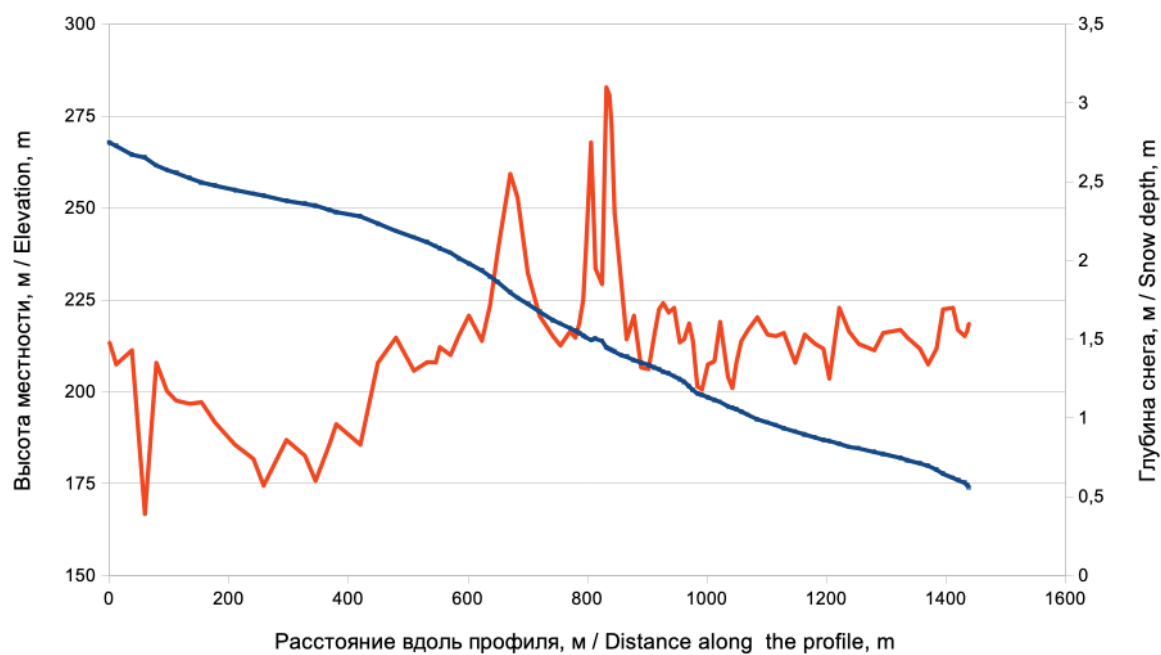
На рис. 2 можно видеть, что направление преобладающих ветров совпадает с направлением уклона макросклона горного массива Рай-Из. Это означает, что перенос снега в холодный период года будет происходить в основном в направлении с северо-запада на юго-восток от необлесенных участков склона к лесным участкам, расположен-

ным в нижней части склона исследуемой территории.

На рис. 4–6 приведены графики глубины снега на высотных снегомерных профилях при движении с верхней к нижней частям склона. На рис. 7 представлены графики «коробка-усы», характеризующие глубину снега для каждого сегмента каждого профиля.



А



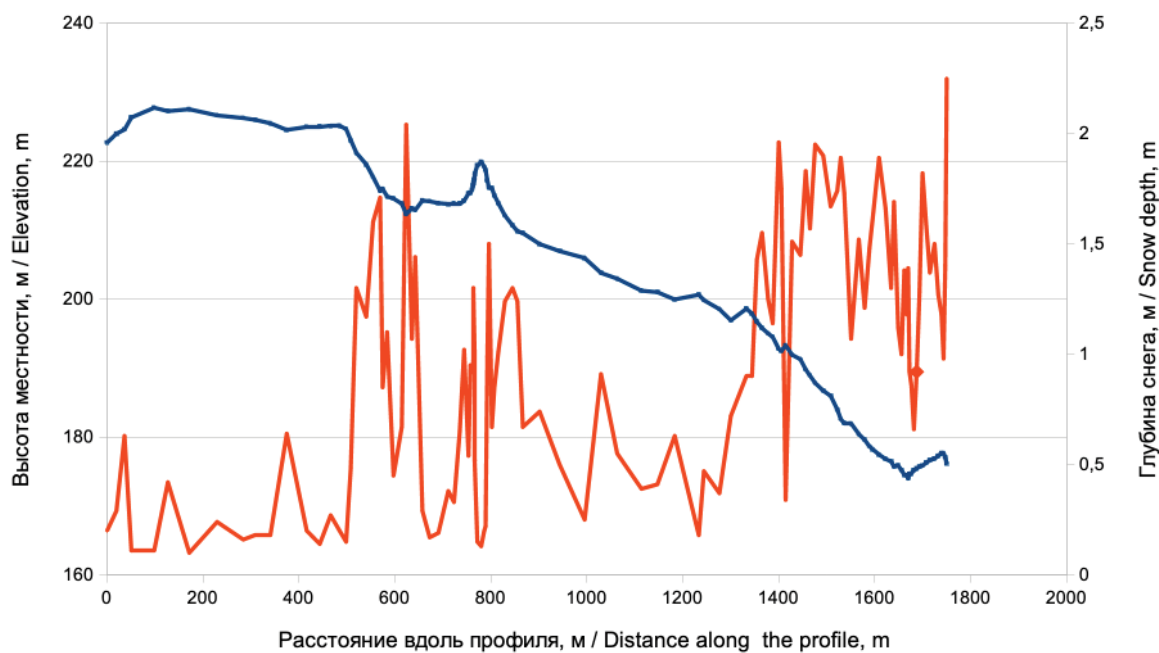
Б

Рис. 4. Графики изменения глубины снега (красная линия) и высоты местности (синяя линия) на снегомерных профилях:

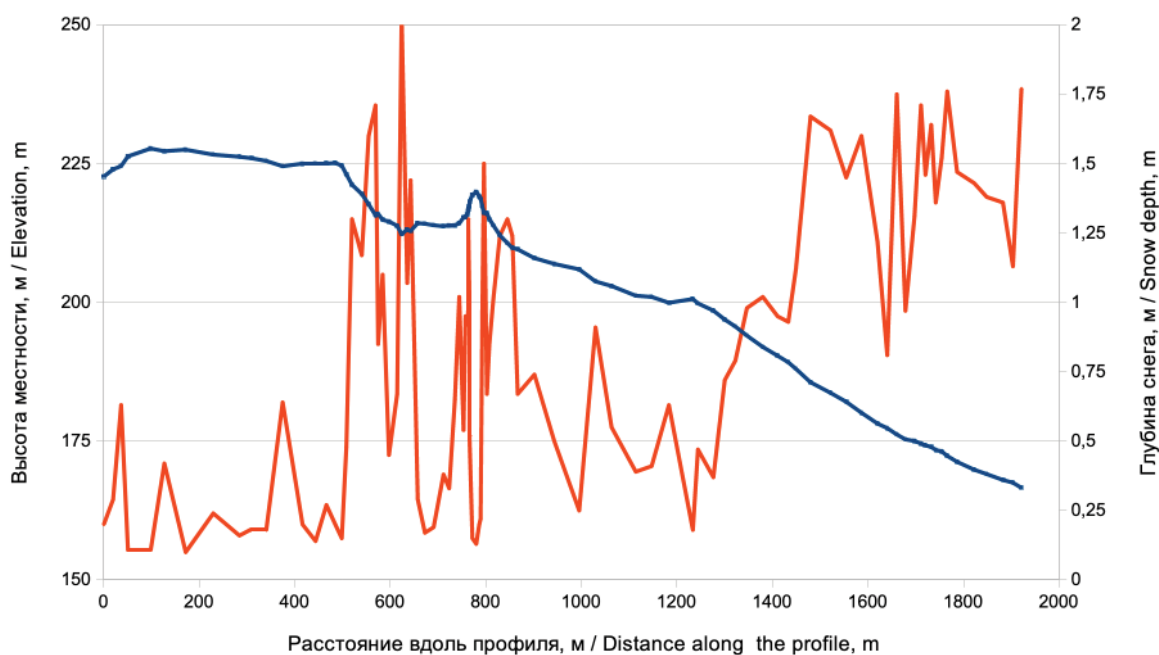
А – профиль 1 (сегменты 11 и 12), Б – профиль 3 (сегменты 31 и 32)

Fig. 4. Graphs of changes in snow depth (red line) and terrain elevation (blue line) on snow profiles:

A – profile 1 (segments 11 and 12), B – profile 3 (segments 31 and 32)



А



Б

Рис. 5. Графики изменения глубины снега (красная линия) и высоты местности (синяя линия) на снегомерном профиле 2:

А – сегменты 21 и 22, Б – сегменты 21 и 23

Fig. 5. Graphs of changes in snow depth (red line) and terrain elevation (blue line) on snow profile 2:

А – segments 21 and 22, Б – segments 21 and 23

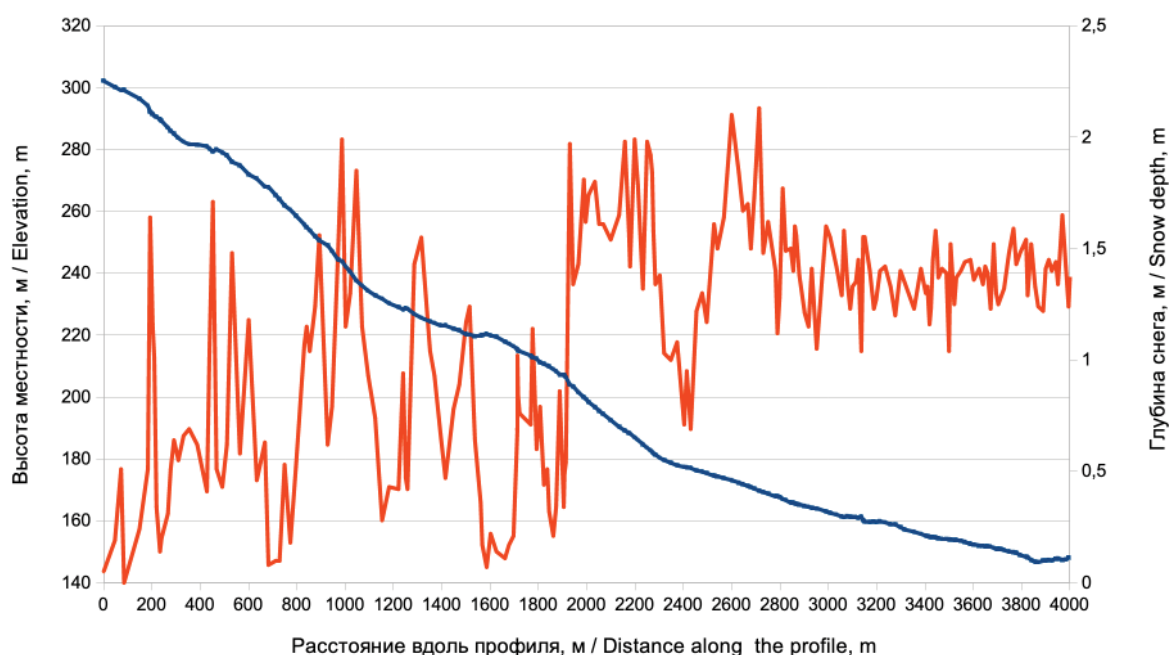


Рис. 6. Графики изменения глубины снега (красная линия) и высоты местности (синяя линия) на снегомерном профиле 4 (сегменты 41, 42, 43)

Fig. 6. Graphs of changes in snow depth (red line) and terrain elevation (blue line) on snow profile 4 (segments 41, 42, 43)

Сравнительный анализ протяженности сегментов снегомерных профилей и графиков, приведенных на рис. 4, свидетельствует о том, что увеличение густоты деревьев начинается на удалении примерно 1000–1100 м от начала (от первой точки в верхней части) профиля. Это расстояние соответствует длине сегмента 11.

На графике (см. рис. 4А) на этом расстоянии можно видеть увеличение глубины снега. Данный факт подтверждается результатами теста Манна – Уитни (см. рис. 7А): медианы глубины снега выборок для сегментов 11 (64 см) и 12 (186 см) достоверно отличаются на уровне значимости меньше 0,05.

Аналогичные закономерности установлены и для других профилей. На рис. 4Б можно видеть возрастание глубины снега, связанного с увеличением густоты деревьев, на расстоянии примерно 770 м, что соответствует началу сегмента 31 (см. рис. 2) снегомерного профиля 3. Медианы глубины снега выборок для сегментов 31 (135 см) и 32 (154 см) также статистически достоверно отличаются (см. рис. 7Б) на уровне значимости меньше 0,05.

На рис. 5 возрастание глубины снега также наблюдается в области увеличения густоты деревьев на удалении примерно 1320–1330 м от начала профиля 2 (см. рис. 2), что соответствует началу сегментов 22 и 23.

На рис. 7В приведены графики «коробка-усы» для сегментов этого профиля, также подтверждающие описанные выше закономерности: в нижней части района исследований на облесенном участке склона глубина снега выше, чем в тундре с отдельно стоящими деревьями. Медианы глубины снега для сегментов 22 (143 см) и 23 (138 см) достоверно больше глубины снега в пределах сегмента 21 (53 см) на уровне значимости меньше 0,05.

Для снегомерного профиля 4 (см. рис. 2 и 6) установлены следующие закономерности изменения глубины снежного покрова. Увеличение густоты деревьев от начала профиля начинается на удалении примерно 1200 м (начало сегмента 42).

Формирование редины начинается на расстоянии около 1900 м (примерно середина сегмента 42), а лесных участков – на удалении около 2600 м (начало сегмента 43) от начала профиля.

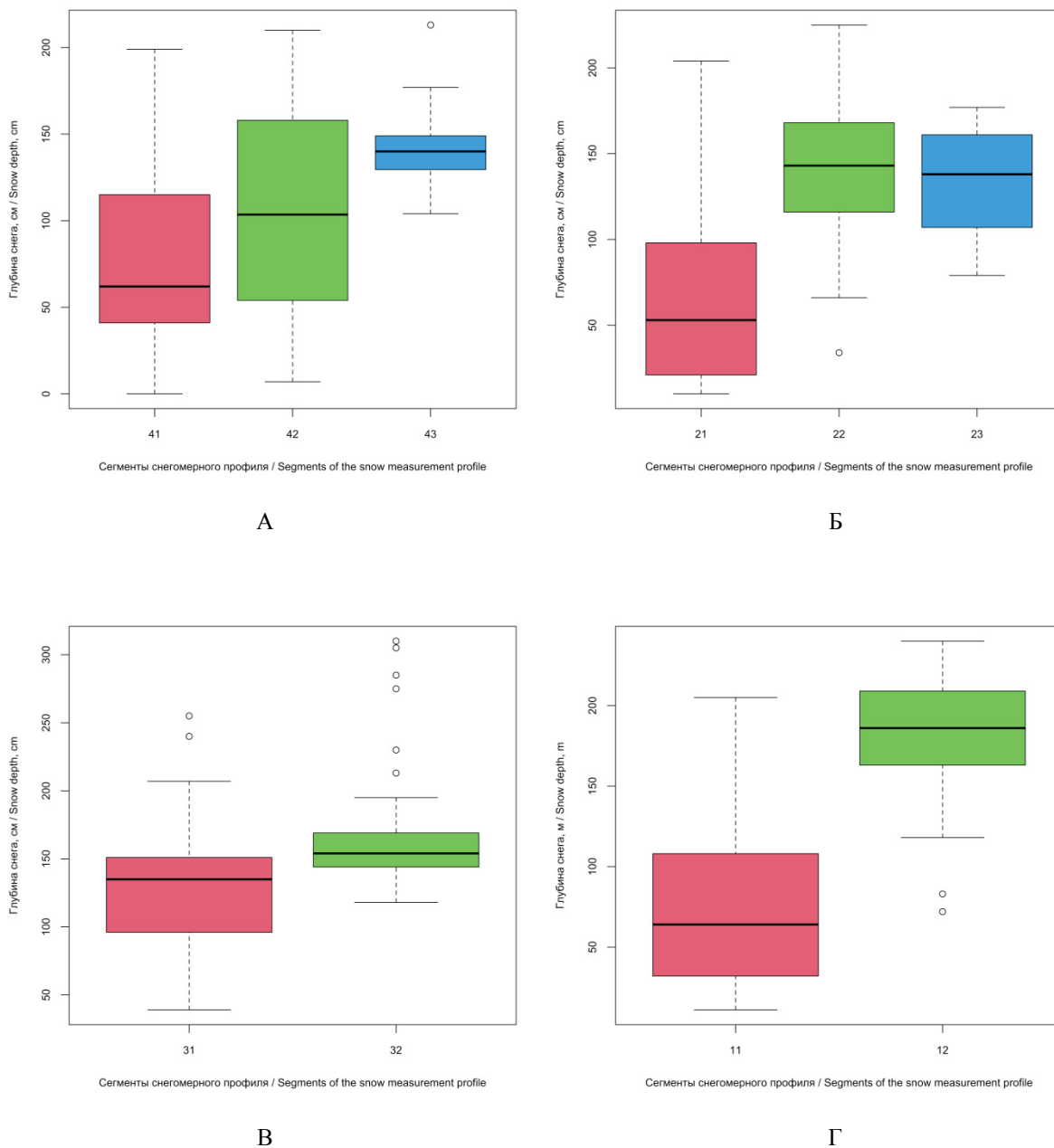


Рис. 7. Графики «коробка-усы», характеризующие глубину снега для сегментов каждого снегомерного профиля:

А – профиль 1 (сегменты 11 и 12), Б – профиль 3 (сегменты 31 и 31),
 В – профиль 2 (сегменты 21, 22 и 23), Г – профиль 4 (сегменты 41, 42 и 43)

Fig. 7. Box-and-whisker graphs illustrating snow depth for segments of each snow measurement profile:

А – profile 1 (segments 11 and 12), Б – profile 3 (segments 31, 32),
 В – profile 2 (segments 21, 22 and 23), Г – profile 4 (segments 41, 42 and 43)

После этих пороговых значений при движении вниз по склону в области с более высокими значениями густоты деревьев на графике изменения глубины снега можно видеть возрастание значений данного показателя. Тест Манна – Уитни сви-

детельствует о том, что медианные значения глубины снега для сегментов 41 (62 см), 42 (103,5 см) и 43 (140 см) достоверно отличаются на уровне значимости меньше 0,05.

Медианные значения глубины снежного покрова на высотных снегомерных профилях на необлесенных и облесенных участках склона на юго-западном участке А, характеризующемся более выраженным мезорельефом (см. рис. 1), отличаются примерно в 2,7–2,9 раза, а на северо-западном участке Б (см. рис. 1), характеризующемся относительно менее выраженным мезорельефом, отличаются в 1,2–2,3 раза. При этом варьирование значений мощности снежного покрова на необлесенной части примерно в 1,5–3,0 раза выше, чем на облесенной.

Для верхних участков снегомерных профилей в тундре с отдельно стоящими деревьями установлены следующие качественные и количественные особенности перераспределения снега: наименьшие значения глубины снежного покрова (0,10–0,2 м) установлены на верхних частях бугров и гряд. Накопление снега происходит на ветроударных участках в нижних частях склонов этих форм рельефа и, как правило, находится в интервале 0,5–1,5 м. Наибольшее накопление снега от 1,0 до 3,0 м более происходит на заветренных участках, в нижних частях склонов бугров и гряд и во впадинах.

Там, где глубина снежного покрова небольшая, выживание молодого поколения лиственницы затруднено из-за негативного влияния низких температур на всходы и подрост. Участки ствола и ветви молодых экземпляров лиственницы, находящихся над поверхностью снега, страдают от снеговой корразии (абразии), в результате которой ствол и ветви сильно повреждаются частичками льда и снега, которые переносятся ветром в области, находящейся на высоте примерно до 1 м над поверхностью снежного покрова.

На участках с избыточным накоплением снега освобождение почвы от снега может существенно задерживаться (вплоть до конца июля), что также негативно влияет на выживание и рост молодых экземпляров лиственницы из-за сокращения периода вегетации на этих участках.

Деревья являются препятствием на пути переноса снега ветром. Это приводит к накоплению

снега за препятствием, глубина которого может превышать глубину снежного покрова перед препятствием примерно на 0,5–1,0 м. Это приводит к формированию полос с деревьями и без них (прогалинами), длинная сторона которых ориентирована в перпендикулярном направлении к направлению переноса снега. Последние формируются на месте снежного наноса, долгое таяние которого приводит к сокращению периода вегетации для растений на этом месте.

Выводы

В ходе проведенных исследований на юго-восточном макросклоне горного массива Рай-Из установлено, что направление преобладающих ветров совпадает с направлением снижения высоты местности исследованного участка с северо-запада на юго-восток. Это способствует переносу снега ветром вниз по склону с верхней, необлесенной части исследуемой территории в нижнюю, облесенную ее часть. Анализ данных прямых измерений глубины снега на высотных снегомерных профилях позволил установить следующие закономерности распределения снега на поверхности района исследований. В верхней части снегомерных профилей в области тундры с отдельно стоящими деревьями глубина снега достоверно меньше, чем в нижней части профилей, проходящих в лиственничных редианах, редколесьях и лесах. В зависимости от особенностей рельефа медианные значения на необлесенной и облесенной частях склона могут отличаться от 1,2 до 2,9 раза. При этом амплитуда глубины снега в нижней, лесной части района исследований ниже, чем в верхней части, в тундре с отдельно стоящими деревьями. Незначительная глубина снежного покрова на верхних участках гряд и бугров негативно влияет на выживание и рост молодого поколения лиственницы из-за отрицательного влияния низких значений температуры и снеговой корразии. Накопление снега на заветренных участках склона, а также за группами деревьев также неблагоприятно влияет на молодые экземпляры лиственницы, сокращая период вегетации на таких участках.

Список источников

- Горчаковский П. Л., Шиятов С. Г.* Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М. : Наука, 1985. 209 с.
- Рекомендации по проектированию лесных снегозадерживающих насаждений вдоль автомобильных дорог : отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.045–2014. М. : Росавтодор, 2014. 49 с.
- Fomin V. V., Mikhailovich A. P., Shiyatov S. G.* Trees in the Upper Treeline Ecotone in the Polar Urals : Centuries-Old Change and Spatial Patterns // Mountain Research and Development. 2020. Vol. 40, № 2. URL: https://www.researchgate.net/publication/348672003_Trees_in_the_Upper_Treeline_Ecotone_in_the_Polar_Urals_Centuries-Old_Change_and_Spatial_Patterns (accessed 01.12.2025).
- Fomin V. V., Shiyatov S. G.* Factors Determining the Phenomena in the Upper Tree Line Ecotone in the Polar Urals Mountains // Forests of Russia and Economy in Them. 2021. № 2. P. 42–51. DOI: 10.51318/fret.2021.83.64.005
- Holocene Dynamics of Vegetation and Ecological Conditions in the Polar Urals / *N. K. Panova, V. Jankovska, O. M. Korona, E. V. Zinov'ev* // Russian Journal of Ecology. 2003. Vol. 34. P. 19–23.
- Holtmeier F. K., Broll G.* Treeline advance – driving processes and adverse factors // Landsc. Online. 2007. Vol. 1. P. 1–33. DOI: 10.3097/LO.200701
- Holtmeier F. K., Broll G.* Treeline research – from the roots of the past to present time. A review // Forests. 2020. Vol. 11. URL: https://www.researchgate.net/publication/338189418_Treeline_Research-From_the_Roots_of_the_Past_to_Present_Time_A_Review (accessed 01.12.2025).
- Holtmeier F. K., Broll G.* Treelines Approaches at Different Scales // Sustainability. 2017. Vol. 9. URL: https://www.researchgate.net/publication/316901938_Treelines-Approaches_at_Different_Scales (accessed 01.12.2025).
- Past the climate optimum: Recruitment is declining at the world's highest juniper shrublines on the Tibetan Plateau / *X. Lu, E. Liang, Y. Wang* [et al.] // Ecology. 2019. Vol. 100. P. 1–10. DOI: 10.1002/ecy.2557
- Shiyatov S. G., Terent'ev M. M., Fomin V. V.* Spatiotemporal dynamics of forest-tundra communities in the Polar Urals // Russian Journal of Ecology. 2005. Vol. 36. P. 69–75. DOI: 10.1007/s11184-005-0051-9
- Snow properties at the forest – tundra ecotone : predominance of water vapor fluxes even in deep, moderately cold snowpacks / *G. Lackner, F. Domine, D. Nadeau* [et al.] // The Cryosphere. 2022. Vol. 16. P. 3357–3373. DOI: 10.5194/tc-16-3357-2022
- Tabler R. D.* Snow Fence Guide, Strategic Highway Research Program. Washington, DC : National Research Council, 1991. 76 p.

References

- Fomin V. V., Mikhailovich A. P., Shiyatov S. G.* Trees in the Upper Treeline Ecotone in the Polar Urals : Centuries-Old Change and Spatial Patterns // Mountain Research and Development. 2020. Vol. 40, № 2. URL: https://www.researchgate.net/publication/348672003_Trees_in_the_Upper_Treeline_Ecotone_in_the_Polar_Urals_Centuries-Old_Change_and_Spatial_Patterns (accessed 01.12.2025).
- Fomin V. V., Shiyatov S. G.* Factors Determining the Phenomena in the Upper Tree Line Ecotone in the Polar Urals Mountains // Forests of Russia and Economy in Them. 2021. № 2. P. 42–51. DOI: 10.51318/fret.2021.83.64.005
- Gorchakovskiy P. L., Shiyatov S. G.* Phytoindication of Environmental Conditions and Natural Processes in Highlands. Moscow : Science, 1985. 209 p.
- Holocene Dynamics of Vegetation and Ecological Conditions in the Polar Urals / *N. K. Panova, V. Jankovska, O. M. Korona, E. V. Zinov'ev* // Russian Journal of Ecology. 2003. Vol. 34. P. 19–23.

- Holtmeier F. K., Broll G. Treeline advance – driving processes and adverse factors // *Landscape Online*. 2007. Vol. 1. P. 1–33. DOI: 10.3097/LO.200701
- Holtmeier F. K., Broll G. Treeline research – from the roots of the past to present time. A review // *Forests*. 2020. Vol. 11. URL: https://www.researchgate.net/publication/338189418_Treeline_Research-From_the_Roots_of_the_Past_to_Present_Time_A_Review (accessed 01.12.2025).
- Holtmeier F. K., Broll G. Treelines Approaches at Different Scales // *Sustainability*. 2017. Vol. 9. URL: https://www.researchgate.net/publication/316901938_Treelines-Approaches_at_Different_Scales (accessed 01.12.2025).
- Past the climate optimum: Recruitment is declining at the world’s highest juniper shrublines on the Tibetan Plateau / X. Lu, E. Liang, Y. Wang [et al.] // *Ecology*. 2019. Vol. 100. P. 1–10. DOI: 10.1002/ecy.2557
- Recommendations for the Design of Forest Snow Retention Plantings Along Highways : Industry Road Methodological Document ODM 218.2.045–2014. Moscow : Rosavtodor, 2014. 49 p.
- Shiyatov S. G., Terent’ev M. M., Fomin V. V. Spatiotemporal dynamics of forest-tundra communities in the Polar Urals // *Russian Journal of Ecology*. 2005. Vol. 36. P. 69–75. DOI: 10.1007/s11184-005-0051-9
- Snow properties at the forest – tundra ecotone : predominance of water vapor fluxes even in deep, moderately cold snowpacks / G. Lackner, F. Domine, D. Nadeau [et al.] // *The Cryosphere*. 2022. Vol. 16. P. 3357–3373. DOI: 10.5194/tc-16-3357-2022
- Tabler R. D. Snow Fence Guide, Strategic Highway Research Program. Washington, DC : National Research Council, 1991. 76 p.

Информация об авторах

- Анна Павловна Михайлович – старший преподаватель,
a.p.mikhailovich@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8282-9431>
- Валерий Владимирович Фомин – доктор биологических наук, доцент,
fominvv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9211-5627>
- Владимир Евгеньевич Рогачев – старший преподаватель,
rogachevve@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4964-6975>
- Егор Михайлович Агапитов – старший преподаватель,
agapitovem@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9709-1559>
- Екатерина Антоновна Костоусова – студент,
kostousova-katya@mail.ru
- Егор Богданович Коритняк – студент,
koritnyak@bk.ru
- Сергей Павлович Паршин – начальник отдела администрирования
и эксплуатации компьютерных сетей,
psp@m.usfeu.ru
- Дмитрий Дмитриевич Стратонов – преподаватель Уральского лесотехнического колледжа,
stratonovdd@m.usfeu.ru
- Юлия Олеговна Сайко – преподаватель Свердловского областного медицинского колледжа,
julia.saiko.elk@ya.ru

Information about the authors

Anna P. Mikhailovich – senior lecturer,

a.p.mikhailovich@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8282-9431>

Valery V. Fomin – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor,

fominvv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9211-5627>

Vladimir E. Rogachev – senior lecturer,

rogachevve@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4964-6975>

Egor M. Agapitov – senior lecturer,

agapitovem@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9709-1559>

Ekaterina A. Kostousova – student,

kostousova-katya@mail.ru

Egor B. Koritnyak – student,

koritnyak@bk.ru

Sergey P. Parshin – Head of the Computer Network Administration and Operations Department,

psp@m.usfeu.ru

Dmitry D. Stratonov – lecturer, Ural Forestry College,

stratonovdd@m.usfeu.ru

Yulia O. Saiko – lecturer, Sverdlovsk Regional Medical College,

julia.saiko.elk@ya.ru

Статья поступила в редакцию 29.12.2025; принята к публикации 26.01.2026.

The article was submitted 29.12.2025; accepted for publication 26.01.2026.
