

ОТКЛИКИ ЛАНДШАФТОВ И ЭКОСИСТЕМ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Научная статья

УДК 581.526.53 (234.853)

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-26-46

ГОРНЫЕ ТУНДРЫ ЮЖНОГО УРАЛА: СОВРЕМЕННОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ И УГРОЗА ИСЧЕЗНОВЕНИЯ В XXI ВЕКЕ

**Григорьев А. А.¹, Шалаумова Ю. В.², Терентьева М. В.³, Вьюхин С. О.⁴,
Балакин Д. С.⁵, Моисеев П. А.⁶**

¹ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202, Российская Федерация
e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru; ORCID: 0000-0002-7446-0654

² Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202, Российская Федерация
e-mail: jvshalaumova@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0173-6293

³ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202, Российская Федерация
e-mail: terenteva_mv@ipae.uran.ru; ORCID: 0009-0005-4033-6267

⁴ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202, Российская Федерация
e-mail: sergey.vyuhin@mail.ru; ORCID: 0000-0001-7173-4878

⁵ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202, Российская Федерация
e-mail: dmitrijbalakin047@gmail.com; ORCID 0000-0001-7339-1266

⁶ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202, Российская Федерация
e-mail: moiseev@ipae.uran.ru; ORCID: 0000-0003-4808-295X

Поступила в редакцию 15.06.2024

После доработки 06.08.2024

Принята к публикации 05.09.2024

Аннотация

Цель. Анализ современного распространения горных тундр на территории Южного Урала, определение и каталогизация площадей, занятых сообществами горной тундры для оценки возможной угрозы их исчезновения в XXI веке.

© СС ВУ Григорьев А. А., Шалаумова Ю. В., Терентьева М. В., Вьюхин С. О., Балакин Д. С., Моисеев П. А., 2024.

Процедура и методы. На спутниковых изображениях открытых картографических сервисов (Яндекс, Google) выполнен визуальный поиск потенциального расположения тундровых сообществ в горах Южного Урала. Проведено маршрутное обследование основных горных вершин и хребтов (Большой Таганай, Уреньга, Зюраткуль, Большая Сука, Уван, Зигальга, Ягодный, Машак, Кумардак, Нары, Куянтау, Иремель, Нургуш), где дистанционно были выявлены предполагаемые места расположения горных тундр с целью уточнения их действительного наличия (или отсутствия) на местности. В геоинформационной системе полученные данные были совмещены с цифровой моделью рельефа, и были рассчитаны площади горных тундр. Видовой состав и основные типы горно-тундровых сообществ были определены методом маршрутного рекогносцировочного обследования.

Результаты. Показано, что в горах Южного Урала сообщества горных тундр распространены на широтах от 53,7 до 55,4° с. ш. не менее чем на 37 вершинах (12 горных хребтов и массивов). Наибольшие по площади участки горных тундр расположены на хребтах Зигальга и Нургуш, массивах Куянтау и Иремель. На эти участки приходится около 80% в сумме (не менее 546 га) от площади всех горных тундр Южного Урала. Участки с небольшой площадью горных тундр (менее 20 га по отдельности) находятся на хребтах: Большой Таганай, Зюраткуль, Уреньга, Нургуш, Ягодный, Большая Сука, Нары, Машак, Кумардак и отдельных вершинах хребта Зигальга. Общая площадь горных тундр на этих хребтах составляет не менее 140 га (около 20% от общей площади горных тундр на Южном Урале). Составлен каталог и карта современного распространения горных тундр на Южном Урале. Определены участки, где горные тундры исчезли в предыдущие десятилетия и, вероятно, могут исчезнуть в будущие десятилетия.

Теоретическая и/или практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы при создании моделей климатогенной трансформации высокогорных экосистем Южного Урала и служить основой для мониторинга их состояния при различных сценариях изменения климата в будущем.

Ключевые слова: динамика растительности, локальное вымирание видов, верхняя граница леса, изменение климата, Уральские горы

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российского научного фонда №24-27-00338.

Original Research Article

ALPINE TUNDRAS OF THE SOUTHERN URALS: CURRENT DISTRIBUTION AND THREAT OF EXTINCTION IN THE 21ST CENTURY

A. Grigoriev¹, Y. Shalaumova², M. Terentieva³, S. Vyukhin⁴, D. Balakin⁵, P. Moiseev⁶

¹ Institute of plant and animal ecology UB RAS

8 Marta st. 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation

e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru; ORCID: 0000-0002-7446-0654

² Institute of plant and animal ecology UB RAS

8 Marta st. 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation

e-mail: jvshalaumova@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0173-6293

³ Institute of plant and animal ecology UB RAS

8 Marta st. 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation

e-mail: terenteva_mv@ipae.uran.ru; ORCID: 0009-0005-4033-6267

⁴ *Institute of plant and animal ecology UB RAS*

8 Marta st. 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation

e-mail: sergey.vyuhin@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7173-4878

⁵ *Institute of plant and animal ecology UB RAS*

8 Marta st. 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation

e-mail: dmitrijbalakin047@gmail.com; ORCID 0000-0001-7339-1266

⁶ *Institute of plant and animal ecology UB RAS*

8 Marta st. 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation

e-mail: moiseev@ipae.uran.ru; ORCID: 0000-0003-4808-295X

Received 15.06.2024

Revised 06.08.2024

Accepted 05.09.2024

Abstract

Aim. Analysis of the current distribution of mountain tundra in the South Urals, determination and cataloging of areas occupied by mountain tundra communities to assess the possible threat of their extinction in the 21st century.

Methodology. A visual search for potential locations of alpine tundra communities in the Southern Urals was conducted on satellite images from open mapping services (Yandex, Google) in maximum resolution. The principal peaks and ridges were subjected to detailed survey (Bolshoy Taganay, Urenga, Zyuratkul, Bolshaya Suka, Uvan, Zigalga, Yagodny, Mashak, Kumardak, Nary, Kuyantau, Iremel, Nurgush), and the locations of alpine tundra were identified. In a geographic information system, the obtained data were combined with a digital elevation model in order to calculate the area of alpine tundra. The species composition and the principal types of mountain tundra communities were identified through the utilisation of the route reconnaissance survey.

Results. The present study demonstrates that alpine tundra communities are pervasive in the Southern Urals mountains, spanning latitudes between 53.7 and 55.4°N across a minimum of 37 peaks (comprising 12 mountain ranges and massifs). The largest alpine tundras in terms of area are located on the Zigalga, Nurgush ridges and the Kuyantau and Iremel massifs. These areas represent 80% of the total area of mountain tundra in the Southern Urals (at least 546 ha). The areas comprising alpine tundra, which collectively encompass less than 20 ha, are situated on the ridges of Bolshoy Taganay, Zyuratkul, Urenga, Nurgush, Yagodny, Bolshaya Suka, Nary, Mashak, Kumardak, and the individual peaks of Zigalga. The total area of alpine tundra on these ridges is estimated to be at least 140 hectares, which represents approximately 20% of the total area of all alpine tundra in the Southern Urals. A comprehensive catalogue and map of the contemporary distribution of alpine tundra in the Southern Urals have been compiled. The locations where mountain tundra has undergone a significant decline over recent decades and is likely to continue this trend in future decades have been identified.

Research implications. The findings of this study can be utilized to develop models of climatogenic transformation in high-mountain ecosystems of the Southern Urals, and subsequently used to monitor their condition under a range of climate change scenarios in the future.

Keywords: vegetation dynamics, local species extinction, upper treeline, climate change, Ural Mountains

Acknowledgments. This study was supported by the Russian Science Foundation, grant №24-27-00338.

Введение

Проблема современного изменения климата и реакция экосистем на этот процесс – часто обсуждаемые темы в мировом научном сообществе [19, 21]. Одним из наиболее выраженных проявлений влияния изменения климата на живые организмы является расширение (или сокращение) границ ареалов видов, расположенных в экстремальных климатических условиях [4; 5; 15]. Известно, что экосистемы высокогорий – это высокочувствительные биоиндикаторы, где любые флуктуации условий среды приводят к смещению растительности в тундровые биомы [4] или её отступлению ниже по склонам [8; 20; 22]. В последние десятилетия установлены многочисленные факты изменения высотного положения верхней границы леса во многих горных системах мира [13]. Значительное количество работ, посвящённых изучению этого процесса, приводят убедительные данные о том, что в горных системах изменяется морфологическая структура, видовой состав древостоев и увеличиваются площади, занятые лесной растительностью [11]. Помимо доказательства продвижения леса в тундровые и альпийские сообщества, существуют единичные сведения о том, что происходит климатически обусловленное «позеленение» сильно каменистых (курумовых) участков склонов [1].

На примере многих горных районов в Европе было показано увеличение видового богатства, происходящее на фоне изменений климата, которое, вероятно, является результатом смещения вверх верхних пределов ареала всё большего числа видов [10]. Также происходит термофилизация высокогорий –

сокращение адаптированных к холоду травянистых видов и увеличение более теплоадаптированных видов [12].

Учитывая масштабность и глубину уже проведённых по всему миру исследований о трансформации растительности на верхних пределах её произрастания, в научной литературе появляется всё большее количество работ, направленных на прогнозирование данных процессов и оценку возможных рисков исчезновения отдельных видов в экосистемах гор в будущем [14; 16; 17]. Процессы смещения леса в горы могут привести к уменьшению биоразнообразия высокогорной растительности, в частности, к снижению альфа- и бэта-разнообразия тундровых и луговых сообществ, а также к изменению структуры высокогорных ландшафтов [18]. В отдельных регионах изменение климата может привести к локальному вымиранию, являющемуся результатом конкурентной замены медленно растущих, устойчивых к стрессу альпийских видов более энергичными универсальными видами [10]. Несмотря на повышенный интерес к изучению климатогенной трансформации экосистем и существующие прогнозы и модели климата, остаётся не до конца ясным, существует ли реальная угроза уменьшения биоразнообразия или локального вымирания видов, например, в ближайшем столетии?

Горные тундры – это уникальные природные системы, сухие и холодные местообитания, расположенные выше зоны распространения лесов. Во всех горных провинциях Урала (Южном, Северном, Приполярном и Полярном), где существует такой феномен, как экотон лес – горная тундра, процессы внедрения древесной растительности

в тундровые сообщества происходят повсеместно. Особенно активно этот процесс происходил во второй половине XX – начале XXI вв. [8; 9; 23].

Благодаря своему географическому положению при примерно близких высотах основных хребтов и массивов в Уральских горах верхняя граница леса наибольшую высоту расположения достигает на Южном Урале – в среднем 1300 м н. у. м. при средней высоте хребтов 1400 м н. у. м. В связи с этим территории, занятые горно-тундровыми сообществами, по сравнению с другими горными провинциями Урала и горными системами мира, имеют здесь крайне незначительные площади. Спецификой географии южной части Уральских гор также является то, что многие хребты сильно вытянуты и между отдельными вершинами протягиваются многокилометровые участки, покрытые лесной растительностью. Горно-тундровые группировки носят здесь островной характер и являются изолированными от основного очага распространения тундр на Урале – до ближайшего распространения крупных группировок горных тундр около 450 км на север. В отличие от более северных тундр, характерных для других горных провинций Урала, профиль горно-тундровых почв в тундровых экосистемах Южного Урала характеризуется большим по мощности дерновым горизонтом. Поэтому горные тундры Южного Урала являются сравнительно более пригодными для заселения древесной растительностью [3].

Общая протяжённость Уральских гор от южной части Южного Урала до северной части Полярного Урала составляет около 2000 км. Самое южное положение горных тундр в Уральских

горах – на Южном Урале, от 51°00' до 55°54' с. ш. [2; 3]. Полоса горного рельефа в ширину в среднем 50–60 км и представлена несколькими рядами крупных хребтов (высотой до 1200–1600 м). Характерная особенность рельефа Южного Урала – наличие древних поверхностей выравнивания, поднятых на разную высоту. Поэтому здесь преобладают плосковершинные или куполообразные хребты и массивы (независимо от их высоты). В наиболее высоких частях активны морозное выветривание и солифлюкция, вершины покрыты россыпями камней.

Согласно данным метеостанции «Таганай-гора»¹, дополненными реконструированными данными по станции «Златоуст» [7], средняя температура января в горной части составляет -15°C. Годовое количество осадков превышает 800 мм. Средняя скорость ветра находится в диапазоне от 9,6 до 13 м/с, зимой достигая 40 м/с. Высота снега на открытых участках – от 0 до 20 см, в сомкнутом лесу – до 2 м, в надувах может достигать 4–5 м.

Оценка динамики климата в районе г. Таганай демонстрирует тенденции потепления и увлажнения (рис. 1). Повышение температуры приземного воздуха за период 1837–2023 гг. в холодное время года было практически в 2 раза выше, чем в тёплое (0,14°C / 10 лет и 0,08°C / 10 лет). Более выраженный прирост осадков за период 1876–2023 гг. также наблюдается в холодное время года по сравнению с тёплым (9,34 мм / 10 лет и 1,31 мм / 10 лет).

¹ ВНИИГМИ-МЦД. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации. Мировой центр данных [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru> (дата обращения: 16.01.2023).

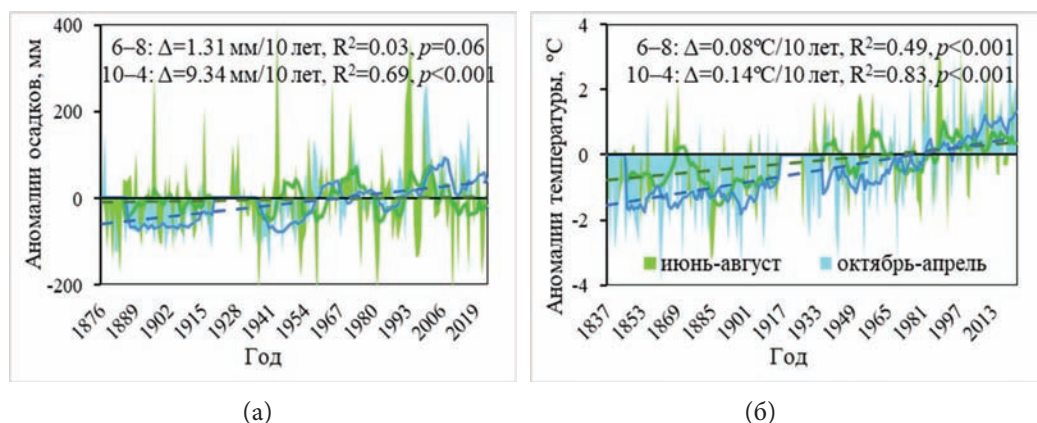


Рис. 1 / Fig. 1. Аномалии средней температуры воздуха (а) и суммарных осадков (б) в теплом (июнь–август) и холодном (октябрь–апрель) периодах для метеостанции «Таганай-гора». Сплошной линией показано скользящее среднее за 10 летний период, пунктирной линией – линейный тренд / Anomalies of average air temperature (a) and total precipitation (b) in warm (June - August) and cold (October - April) periods for the Taganai-Gora weather station. Solid line shows 10-year moving average, dotted line shows linear trend

Источник: составлено авторами по первичным данным метеостанций «Таганай-гора» и «Златоуст»

Южный Урал является единственной горной провинцией Урала, где повсеместно доминирующий древесный вид на границе леса – *Picea obovata* Ledeb., реже на отдельных участках встречается *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* Ledeb. Выше границы леса на открытых участках в тундре произрастает *Juniperus sibirica* Burgsd., местами формируя отдельный пояс растительности. Низкорослые и разреженные еловые и елово-берёзовые леса подгольцового пояса произрастают на дерновых горно-лесных почвах [6]. На отдельных участках принимают участие в образовании горно-тундровых сообществ кустарники: ива сизая (*Salix glauca* L.), ива арктическая (*Salix arctica* Pall.) и берёза кустарниковая (*Betula humilis* Schrank).

Растительность горно-тундрового пояса и пояса холодных гольцовых пустынь на Южном Урале имеет высокое

значение: менее 30 арктоальпийских видов проникло и закрепилось в этом районе в эпоху наибольшего оледенения, сформировав самые южные популяции, изолированные от основной части Уральских гор из-за практически полного зарастания гор Среднего Урала [2]. Горные тундры Южного Урала (травяно-моховые тундры) имеют специфический более южный оттенок и территориально представляют собой как бы переходное звено к высокогорной растительности более южных гор, таких, как Кавказ, некоторых гор Средней Азии, где травяной элемент развит ещё более сильно, а настоящие горные тундры отсутствуют. На гольцах, расположенных севернее 61° с. ш., где климат более суров, а вегетационный период короче, сукцессии растительности обычно не доходят до стадии травяно-моховых тундр [3].

Дешифрирование спутниковых изображений и использование ГИС-технологий

В программе SAS.Планета v200606 на спутниковых изображениях открытых картографических сервисов (Яндекс, Google) в максимальном разрешении был проведён визуальный поиск потенциального расположения сообществ горных тундр на всём Южном Урале. Как правило, эти места расположены на вершинах и перевалах гор, где все внешние признаки на снимках из космоса (цвет, тень от одиночных объектов, форма, размер, текстура, структура изображения) свидетельствовали о возможном наличии сообществ горных тундр.

Рисунок изображения для тундровых сообществ характеризуется следующими особенностями: пятна неправильной формы размером $\geq 0,1$ га, ограниченные извилистыми контурами (верхней границей редколесий, определяемых сомкнутостью $\geq 0,3$; каменистыми россыпями при покрытии камнями $\geq 30\%$), неоднородного тона (зелёный, светло-жёлтый, светло-коричневый, серый) в пределах контура, иногда с наличием кустов *Juniperus sibirica* Burgsd., одиночных деревьев или реди.

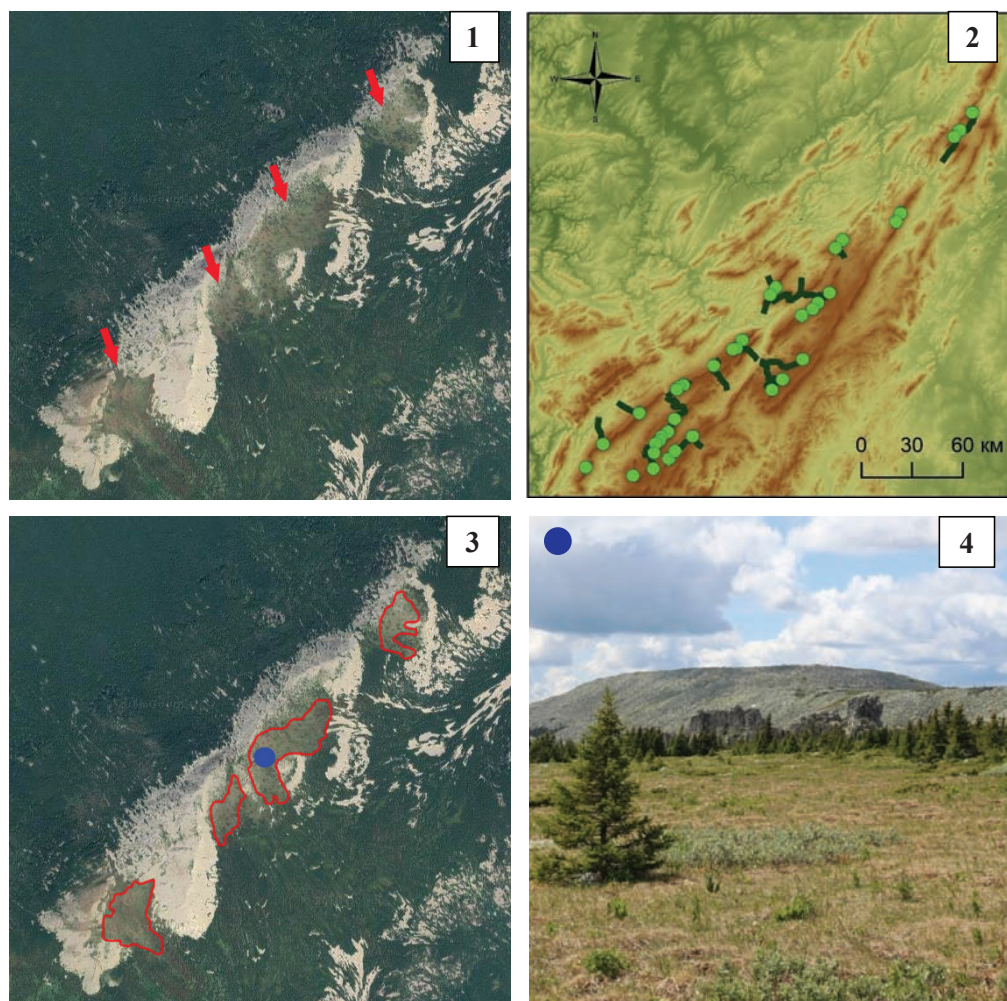
На основе спутниковых изображений летнего и осеннего сезонов (с разрешением в диапазоне 0,17–0,34 м/пикс.) была сделана предварительная оцифровка границ горно-тундровых сообществ. В процессе проведения описанного ниже маршрутного обследования эти границы уточнялись. Небольшие участки, на которых распространены горно-тундровые сообщества площадью $< 0,1$ га, на всём

Южном Урале объективно оценить не представляется возможным, поэтому данные микросообщества не учитывались в настоящем исследовании.

На следующем этапе в геоинформационной системе ArcGIS 10.8 (ESRI Inc., США) границы тундровых сообществ были совмещены с цифровой моделью рельефа SRTM3 [14]. Оценка площади и среднего значения высотного положения тундровых участков была проведена по цифровой модели рельефа с использованием метода билинейной интерполяции (вычисление средневзвешенного расстояния между четырьмя ближайшими к интерполяционной точке центрами ячеек).

На Южном Урале сообщества горных тундр часто расположены изолированно крупными и небольшими островками, как на отдельных вершинах, так и на перевалах осевой части хребтов.

В период с 2012 по 2024 гг. было проведено маршрутное обследование всех основных горных хребтов и отдельных массивов Южного Урала, где потенциально могли быть горные тундры: хр. Кумардак, хр. Машак, массив Куянтау, хр. Нары, хр. Зигальга, массив Иремель, хр. Аваляк, хр. Ягодный, хр. Нургущ, хр. Большая Сука, хр. Зюраткуль, г. Уван, хр. Уреньга, хр. Большой Таганай. Помимо основных вершин, обследованию подлежали и осевые части вышеприведённых хребтов, где могли быть микросообщества горных тундр, а также участки, где горные тундры могли быть в недавнем прошлом. В общей сложности маршрутным обследованием было пройдено, включая маршруты на подступах, около 700 км в разные годы (рис. 2).



1. Дистанционное обнаружение горных тундр;
2. Маршруты исследований (обозначены линиями) на вершинах с наличием тундровых сообществ (точки);

3. Определение площадей горных тундр;
4. Площадка для геоботанического описания

Рис. 2 / Fig. 2. Этапы исследования сообществ горных тундр Южного Урала / Stages of research of mountain tundra communities of the South Urals

Источник: 1–3 – составлено авторами, 4 – фото А. А. Григорьева

Краткая характеристика изучаемых объектов при маршрутном обследовании

Горные тундры. Согласно классификации растительности горных тундр Урала, по П. Л. Горчаковскому, [3] они делятся на:

1. первичные лабильные растительные сообщества на каменистых россыпях;
2. каменистые горные тундры (не менее 50% каменистости, проективное покрытие растений 20–30%);

3. лишайниковые горные тундры (проективное покрытие лишайникового яруса 60–80%);
4. кустарничко-моховые горные тундры;
5. кустарниково-моховые горные тундры (ерники);
6. травяно-моховые горные тундры.

Все эти типы тундр встречаются в горах Южного Урала. Травяно-моховые горные тундры – это наиболее устойчивый климаксовый тип горно-тундровых сообществ в высокогорьях южной части Урала [3], характеризующийся наиболее развитым и мощным почвенным профилем с ясно различимыми горизонтами А, В, С и иногда D. Это делает данный тип тундры наиболее пригодным для заселения древесной растительностью. Особенностью горно-тундровой растительности является её мозаичность и комплексность. В связи с этим на изученной территории формируются комплексы из травяно-моховых и каменисто-лишайниковых тундр (не более 30% каменистости).

Каменистые россыпи. Под каменистыми россыпями понимаются участки местности, где проективное покрытие камней $\geq 30\%$ с наличием массивных глыб горных пород, мелкого щебня, дресвы. В эту категорию также входят участки со скалистыми гребнями, останцами, отдельные крупные каменные глыбы. На камнях в основном распространены лишайники, в глубоких расщелинах между крупными каменными глыбами могут поселяться мхи и некоторые теневыносливые сосудистые растения. Это наименее пригодные участки для заселения древесной растительностью.

Подгольцовые луга. На Южном Урале луга распространены крайне неравно-

мерно, на части вершин отсутствуют. Травостой средней высоты (30–50 см) или высокорослый (60–100 см и более) сложен в основном многолетними травянистыми мезофитами и мезогигрофитами. Моховой покров отсутствует или развит слабо. Луга формируются преимущественно на ровных участках с горизонтальной поверхностью или пологих склонах, где почва имеет мелкоземистую структуру и обогащена гумусом. На лугах травянистые растения, обильно разрастаясь и задерживая своими корнями поверхностный слой почвы, препятствуют возобновлению леса.

Геоботанический анализ сообществ горной тундры. Видовой состав и основные типы горно-тундровых сообществ были определены методом маршрутного рекогносцировочного обследования. Для уточнения таксономической принадлежности отдельные виды были гербаризированы. На основе сохранившихся горно-тундровых видов были определены территории, ранее занимаемые горными тундрами. На участках, где было выявлено распространение травяно-моховых горных тундр с фрагментами каменистых и лишайниковых тундр (дистанционными методами с последующим подтверждением маршрутным методом), стандартными геоботаническими методами определялись видовой состав и покрытие сосудистых растений и лишайников. Исследованные участки относились к горным тундрам при соблюдении 2 условий: во-первых, при отсутствии сомкнутого древостоя; во-вторых, при доминировании и высоком обилии горно-тундровых видов. К ним относились: голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), водяника (*Empetrum nigrum* subsp. *hermaphroditum* (Hagerup)

Bocher), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), овсяница овечья (*Festuca ovina* L.), овсяница Игошиной (*Festuca igoschinae* Tzvelev), осока влагилистная (*Carex vaginata* subsp. *quasivaginata* (C.B.Clarke) Malyshev), ситник трёхраздельный (*Juncus trifidus* L.), ветреница пермская (*Anemone narcissifolia* subsp. *biarmiensis* (Juz.)Jalas), мятлик альпийский (*Poa alpigena* (Fr.) Lindm.), горец живородящий (*Polygonum viviparum* L.), пушица влагилистная (*Eriophorum vaginatum* L.), берёза приземистая (*Betula humilis* Schrank), ива сизая (*Salix glauca* L.), ива шерстистая (*Salix lanata* L.).

Распространение горных тундр на Южном Урале

По результатам выявления, идентификации определения площади горных тундр на Южном Урале был составлен каталог этих сообществ с указанием соответствующих характеристик (табл. 1). Установлено, что горные тундры на Южном Урале распространены на широтах от 53,7 до 55,4° с. ш. (рис. 3). Наибольшая средняя высота их расположения составляет 1387 м (массив Иремель), наименьшая – 1021 м (хребет Большой Таганай). Самое южное распростране-

Таблица 1 / Table 1

Распространение и площади горных тундр на Южном Урале / Distribution and areas of mountain tundra in the Southern Urals

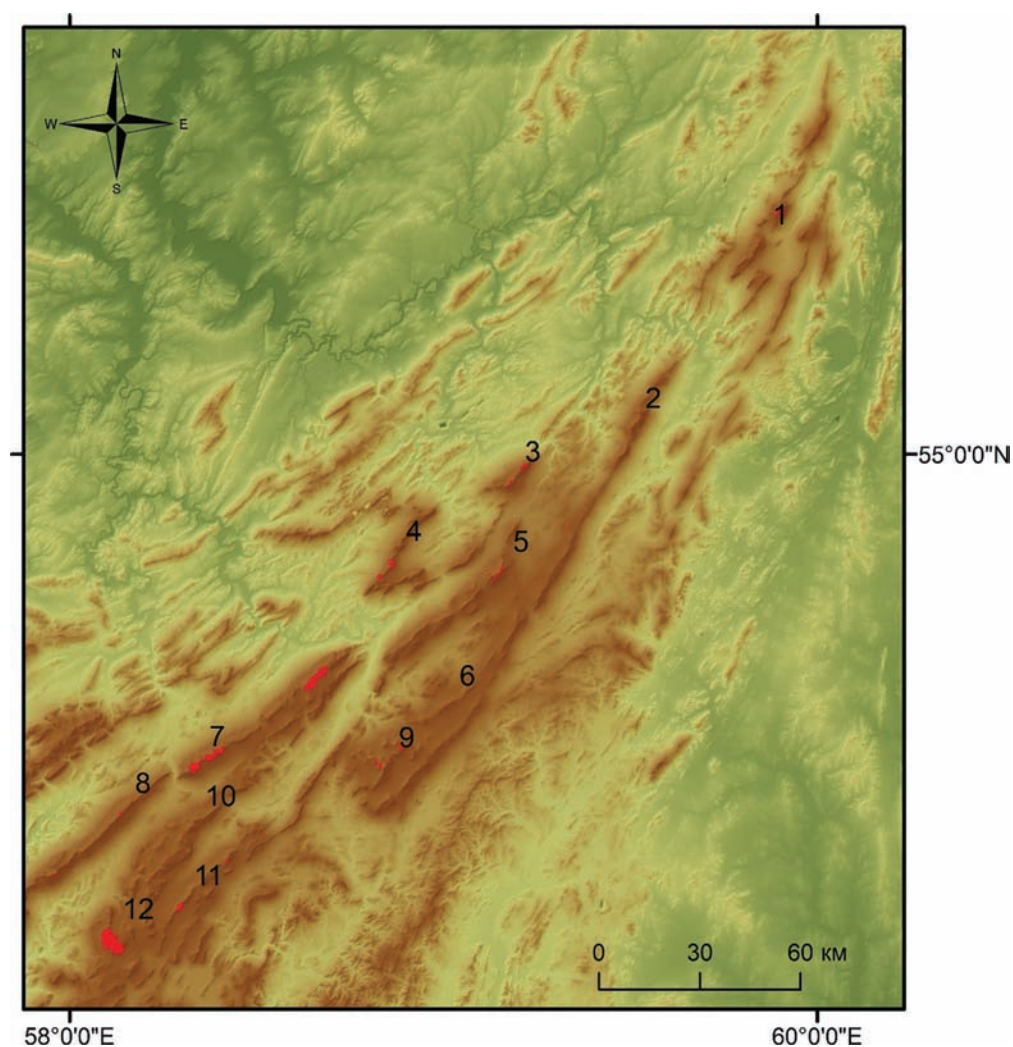
Хребет, массив	Вершина, урочище, плато	Координаты		Высота вершины, м н. у. м.	Площадь, га	Высотное расположение тундры, м н. у. м.
		Широта, ° с. ш.	Долгота, ° в. д.			
Большой Таганай	Дальний Таганай	55,36912105	59,90836751	1112,0	9,63	1088
	Круглица	55,31596804	59,84129833	1177,8	3,44	1133
	Откликной гребень	55,29639313	59,81053761	1155,0	0,10	1021
Уреньга	Первая сопка	55,06396288	59,52556991	1155,9	1,32	1117
	Вторая сопка	55,03799367	59,50138111	1198,9	2,46	1116
Зюраткуль	Северная вершина	54,98124665	59,21707536	1160,1	0,86	1132
	Средняя вершина	54,95661661	59,17959668	1175,2	2,15	1162
Большая Сука	Макшанцева поляна	54,83559586	58,86170716	1194,8	4,06	1173
	Южная вершина	54,81272090	58,83209058	1174,0	1,33	1150
Нургуш	Северная вершина	54,81979787	59,14809608	1406,2	94,83	1293
	1350,9	54,78937504	59,08672307	1350,9	11,48	1247
	1213,6	54,77062142	59,05833274	1213,6	2,84	1191
	1247,0	54,75001072	59,00082618	1247,0	0,97	1195
Ягодный	Большая Ягодная	54,61494593	59,00510796	1205,5	0,05	1198

Окончание табл. 1

Хребет, массив	Вершина, урочище, плато	Координаты		Высота вершины, м н. у. м.	Площадь, га	Высотное расположение тундры, м н. у. м.
		Широта, ° с. ш.	Долгота, ° в. д.			
Зигальга	Евлахта	54,67431218	58,68301046	1310,0	4,31	1277
	Поперечная	54,64917871	58,65249440	1389,2	116,61	1274
	Круглая	54,64598144	58,63486427	1371,0	75,35	1300
	Мерзлый Утес	54,59635826	58,53160221	1237,7	7,40	1211
	Малые Шеломы	54,53628065	58,37077581	1368,4	19,87	1242
	Прогон	54,52936438	58,34634625	1152,4	3,01	1191
	Большой Шелом	54,52180558	58,33541356	1427,1	9,36	1304
Нары	Копешка	54,44922376	58,13661026	1280,4	7,00	1197
	Кашкатура	54,35341550	57,94379869	1340,0	16,88	1286
	1251,0	54,28015033	57,85119553	1251,0	0,76	1192
Иремель	Большой Иремель	54,52012274	58,84244809	1582,3	80,03	1387
	Малый Иремель	54,55320253	58,89714712	1449,4	78,99	1311
Хребет Машак	Медвежья	54,42973212	58,32422020	1308,4	5,29	1281
	Кобея	54,39138884	58,28972810	1261,0	1,57	1250
	Широкая	54,37605131	58,25404438	1332,6	9,71	1306
	Караульный камень	54,36440987	58,24399340	1303,9	4,59	1278
	1333,6	54,35442594	58,22284687	1333,6	7,07	1304
	Южный Машак	54,32601545	58,21464759	1370,3	1,76	1309
	Угловой Машак	54,27603382	58,21043681	1383,2	0,36	1347
Кумардак	Колокольня	54,30686676	58,29351039	1353,6	0,13	1289
	1317,8	54,33125544	58,32652645	1317,8	0,12	1288
	Большой Кумардак	54,37734969	58,41943158	1318,2	0,34	1285
Куянтау	Куянтау	54,25487813	58,10365853	1640,4	100,76	1331

Источник: данные авторов

ние горных тундр в рассматриваемом регионе отмечается на г. Куянтау, самое северное – на г. Дальний Таганай. Наименьшие по площади сообщества горных тундр отмечаются на вершинах Большая Ягодная, Откликной гребень, Кумардак (1317,8), Колокольня. Их площади составляют не менее 0,05 га, 0,08 га, 0,1 га и 0,12 га, соответственно. Наибольшие по площади сообщества горных тундр встречаются на массиве хр. Зигальга (г. Поперечная, Круглая), г. Куянтау, хр. Большой Нургуш (Северная вершина), Иремель (Большой



1. Большой Таганай,
2. хр. Уреньга,
3. хр. Зюраткуль,
4. хр. Большая Сука,

5. хр. Нургуш,
6. хр. Ягодный,
7. хр. Зигальга,
8. хр. Нары,

9. хр. Большой Иремаль,
10. хр. Машак,
11. хр. Кумардак,
12. массив Куянтау

Рис. 3 / Fig. 3. Картохема распространения не покрытых лесом участков (горные тундры, каменистые россыпи, луга) на Южном Урале / Map of the distribution of non-forested areas (mountain tundra, rocky placers, meadows) in the Southern Urals

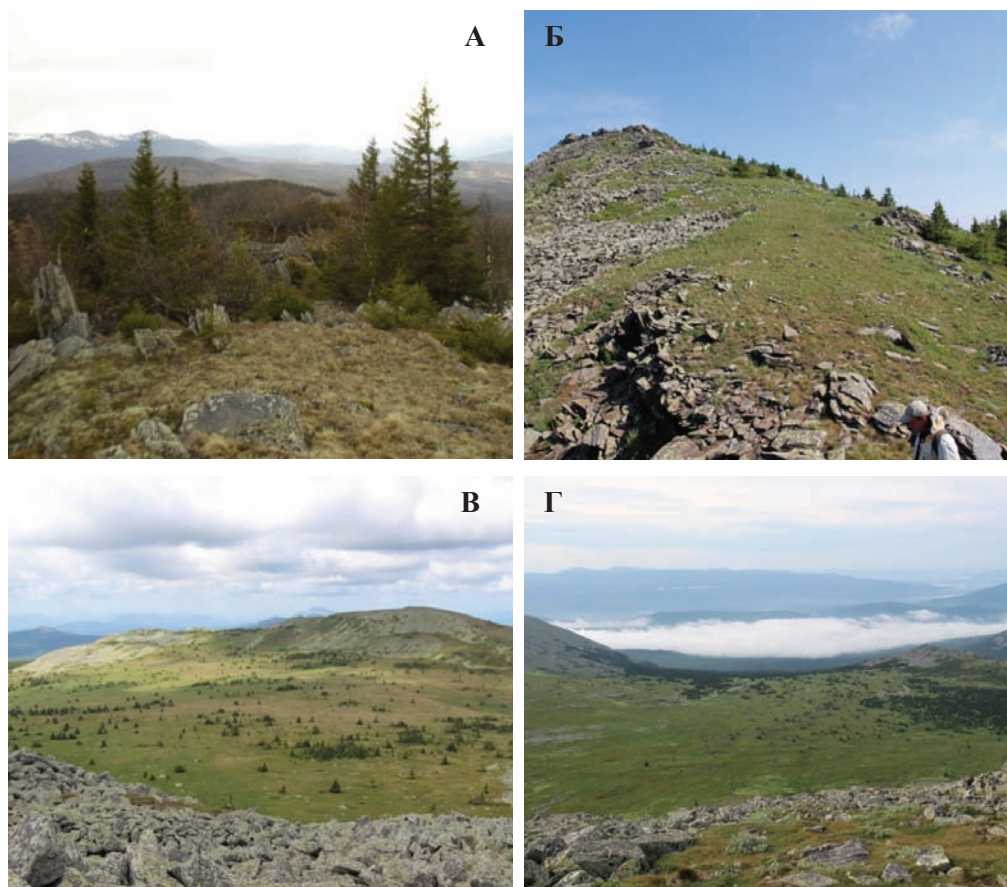
Источник: составлено авторами

и Малый Иремаль). Причём в совокупности горные тундры на 4 этих массивах составляют около 80% от всей площади горных тундр на Южном Урале. Здесь встречаются более 70–80% всех

видов растений, отмеченных в горных тундрах Южного Урала. Остальные тундры распространены на хр. Большой Таганай, Уреньга, Большая Сука, Нургуш, Ягодный, Зигальга, Нары,

Машак, Кумардак, где площадь горных тундр составляет от 0,05 до 19,87 га. Здесь тундры носят островной характер, представляя собой небольшие участки на склонах, перевалах или на вершинах небольших гор. Их видовой состав значительно обеднён (на 30–50%). В качестве примера приведены фотоизображения сообществ горных тундр на участках с площадью менее 2,5 га (рис. 4А-Б) и для вершин со значительной площадью тундры (рис. 4В-Г).

Видовой состав зависит от основных типов сообществ, встречающихся на конкретных вершинах. В основном для горных тундр Южного Урала характерны: голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), брусника (*V. vitis-idaea* L.), ситник трёхраздельный (*Juncus trifidus* L.), осока скальная (*Carex rupestris* All.), осока влагищная (*C. vaginata* Tausch), осока буроватая (*C. brunnescens* (Pers.) Poir.), овсяница овечья (*Festuca ovina* L.). Более редкими представляются качим уральский (*Gypsophila*



А – хр. Ягодный, Б – хр. Уреньга; В – хр. Зигальга,

Г – г. Большой Ирмель

Рис. 4 / Fig. 4. Примеры сообществ горных тундр Южного Урала: А-Б – площадью до 2,5 га; В-Г – площадью >80 га / The examples of mountain tundra communities of the South Urals: А-В - with an area of up to 2.5 hectares; В-Г – area over 80 ha

Источник: фото А. А. Григорьева

uralensis Less), патриния сибирская (*Patrinia sibirica* (L.) Juss.), толокнянка обыкновенная (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng), мытник (*Pedicularis* sp.), лаготис уральский (*Lagotis uralensis* Schischk.), астра альпийская (*Aster alpines* L.)

Результаты проведённого исследования свидетельствуют, что в горах Южного Урала травяно-моховые горные тундры с фрагментами каменистых и лишайниковых тундр распространены в определённом широтном пределе, на определённых хребтах и горных вершинах и носят в основном островной характер, часто представлены небольшими по площади изолированными сообществами. Около 80% тундр распространены на 4 крупных горных массивах, и меньшая часть (20%) – на не менее чем 32 вершинах и перевалах. В целом, общая площадь горных тундр на Южном Урале составляет не менее 687 га. В основном тундры расположены на сильно ветрообдуваемых перевалах и вершинах гор, где древесная растительность отсутствует полностью или произрастает в виде отдельных деревьев, редин и стлаников. Разнообразие и обилие видов сосудистых растений также имеет свои отличия на каждой вершине и зависит от площади тундр.

Площадь горных тундр зависит от общей высоты горного массива и от места его расположения в горной стране. Так, на г. Дальний Таганай, которая расположена на севере и периферии Южного Урала, горные тундры в среднем распространены на высоте 1100 м, а на массиве Ирмель – 1300 м. Это обусловлено тем, что в зимнее время года сильные ветра препятствуют аккумулярованию снежного покрова

на перевалах и вершинах гор, механически неблагоприятно воздействуя на молодое поколение леса, и способствуют более глубокому промерзанию почвы. Вершины и хребты, расположенные не в центральной части горной страны, подвергаются гораздо большему воздействию ветров, и поэтому здесь, в целом, верхняя граница распространения лесов ниже и, как следствие, распространение горных тундр ниже по абсолютной высоте. Наиболее крупные по площади сообщества горных тундр сосредоточены на крупных хребтах, расположенных на периферии горной страны, где нагрузка преобладающих ветров выше и количество осадков больше.

Ранее многолетними исследованиями были получены убедительные данные о том, что в горах Южного Урала в последнем столетии происходило интенсивное внедрение преимущественно ели сибирской в сообщества горных тундр [6; 9]. Эти процессы происходят повсеместно на всех горных хребтах и массивах. Причём с высокой долей вероятности на Южном Урале эти процессы происходят стремительнее других более северных горных провинций Урала [23]. Это может быть связано как с более благоприятными климатическими условиями, так и с тем, что травяно-моховые тундры, наиболее распространённые в южной части Уральских гор, являются более благоприятным субстратом для заселения деревьев [3]. Полученные повторные ландшафтные фотоснимки (рис. 5А-Г и рис. 6) наглядно демонстрируют, что даже за незначительные временные интервалы происходит заметное изменение лесопокрываемых площадей в горах Южного Урала. Древостои ели сибир-

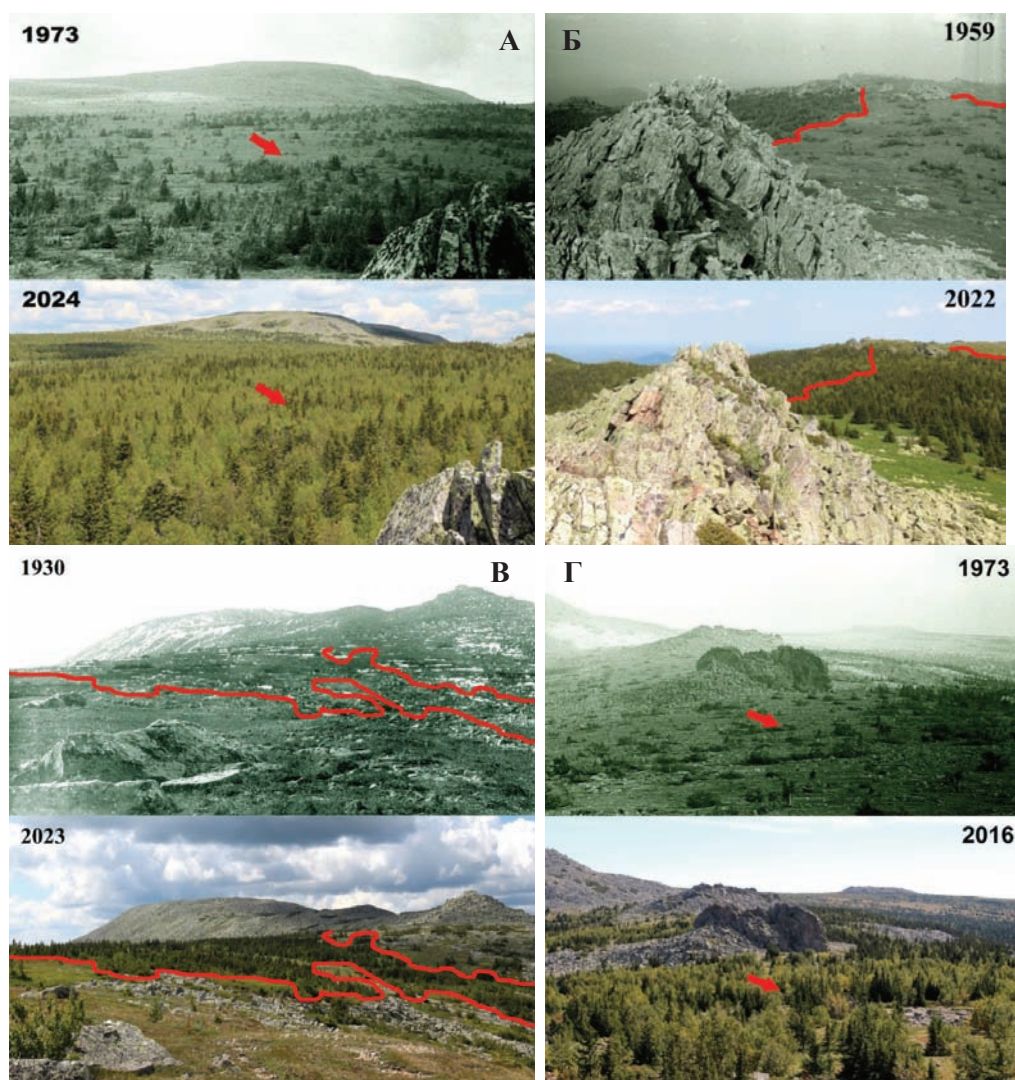


Рис. 5 / Fig. 5. Разновременные ландшафтные фотоснимки, сделанные на г. Малый Иремель (А), г. Дальний Таганай (Б), хр. Зигальга (В), г. Передний Иремель (Г) / Various landscape photographs taken in Maly Iremel (A), Dalniy Taganay (B), hr. Zigalga (C), Front Iremel (D)

Источник: фото 1930 г. Л. Н. Тюлиной, 1959 г. – П. Л. Горчаковского, 1973 г. – С. Г. Шиятова, современные снимки – А. А. Григорьева

ской продвигаются в горную тундру, формируя здесь сомкнутые древостои.

При маршрутном обследовании высокогорий Южного Урала было обнаружено, что на отдельных вер-

шинах и перевальных частях склонов в недавнем прошлом существовали сообщества горных тундр. Это подтверждается наличием определённого состава видов (ситник трёхраздельный

(*Juncus trifidu* L.), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), ветреница пермская (*Anemone narcissifolia* subsp. *biarmiensis* (Juz.)Jalas), водяника (*Empetrum nigrum* subsp. *hermaphroditum* (Hagerup) Bocher) и средним возрастом произрастающей здесь древесной растительности, который составляет несколько десятков лет. Например, такие участки были обнаружены на г. Уван, г. Харитонов, перевале на г. Медвежья, северной седловине г. Широкая, в перевале между вершинами 1303,9 и 1333,6 на хр. Машак, г. Ягодная (хр. Машак), Сухие горы, Ицыл, Аваяк и др.

На фоне климатических изменений и, как следствие, продвижения границы леса вверх по склонам существование небольших по площади горно-тундровых сообществ на хр. Большой Таганай, Уреньга, Ягодный, Большая Сука, Зюраткуль, Нары, Машак, Кумардак, отдельных вершинах хр. Нургуш и хр. Зигальга находится под угрозой исчезновения. Изменение структуры

растительных сообществ, т. е. развитие верхних ярусов, таких как кустарниковый или древесный, может привести к изменению видового состава травянистых растений горных тундр. В открытой горной тундре произрастают виды травянистых растений преимущественно сухих и холодных местообитаний. Появление отдельных групп деревьев способствует задержанию снежных масс и, как следствие, меньшему промерзанию почвы в зимнее время года, созданию более благоприятных условий для защиты от сильных ветров и морозного иссушения. Таким образом, условия становятся более тёплыми и влажными. Это способствует постепенному внедрению лесных и лесо-луговых видов травянистых растений, с которыми в последующем горно-тундровые виды не выдерживают конкуренции. Вследствие этого, динамика древесной растительности и смена растительного покрова при сохранении наблюдаемых тенденций могут

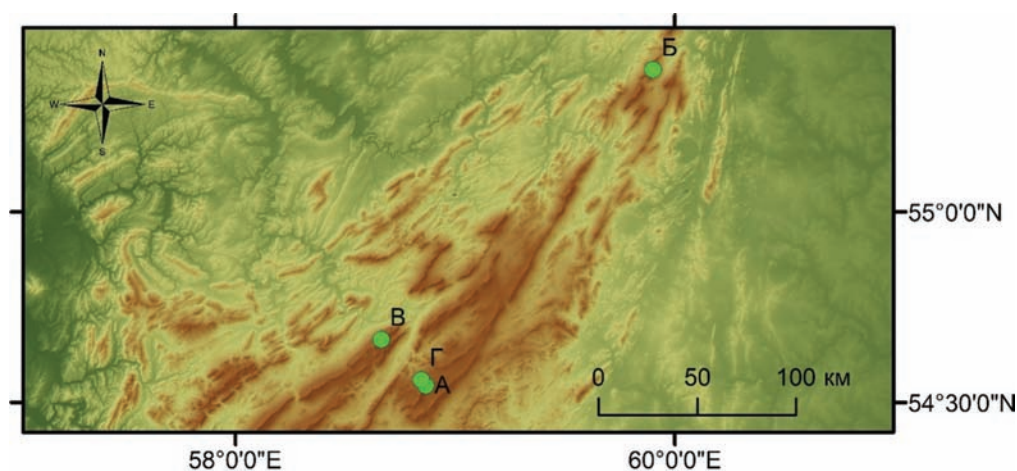


Рис. 6 / Fig. 6. Расположение мест фотографирования участков, представленных на рис. 5 / Location of photographic sites for the areas shown in Fig. 5

Источник: составлено авторами

привести к обеднению видового состава горных территорий Южного Урала.

Заключение

В горах Южного Урала сообщества горных тундр распространены не менее чем на 37 вершинах. Наибольшие по площади горные тундры расположены на хребтах Зигальга, Нургуш и массивах Куянтау, Иремель и составляют 80% (в сумме не менее 546 га) от площади всех горных тундр на Южном Урале. Участки с небольшой площадью горных тундр (менее 20 га) находятся на хребтах Большой Таганай, Зюраткуль, Уреньга, Нургуш, Ягодный, Большая Сука, Нары, Машак, Кумардак, отдельные вершины Зигальги. Общая площадь горных тундр на этих хребтах составляет не менее 140 га (около 20% от общей площади). При сохранении

отмечаемого тренда климатических изменений и продвижения границы леса вверх по склонам сообщества горных тундр на хр. Большой Таганай, Уреньга, Ягодный, Большая Сука, Зюраткуль, Нары, Машак, Кумардак, отдельных вершинах хр. Нургуш и хр. Зигальга находятся под угрозой исчезновения в XXI в.

Полученные данные о современных площадях горных тундр, ландшафтные фотоснимки пространственного положения верхней границы леса, информация о составе и структуре сообществ горных тундр могут быть использованы для мониторинга высокогорных экосистем Южного Урала при различных сценариях изменения климата, а также при создании моделей климатогенной трансформации высокогорных экосистем Южного Урала в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкая А. А., Медведков А. А. Климатогенное "позеленение" курумовых ландшафтов в долине нижнего течения реки Подкаменная Тунгуска // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 1. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-305-313
2. Горчаковский П. Л. Опыт ботанико-географического подразделения высокогорий Урала // Проблемы ботаники. Вып. 5 / под общ. ред. П. А. Генкеля. М.; Л.: Академия наук СССР в Ленинграде, 1960. С. 32–46.
3. Горчаковский П. Л. Флора и растительность высокогорий Урала. Свердловск, 1966. 270 с.
4. Горчаковский П. Л., Шиятов С. Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 208 с.
5. Им С. Т., Харук В. И. Климатически индуцированные изменения в экотоне альпийской лесотундры плато Путорана // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 32. DOI: 10.7868/S0205961413040052
6. 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. Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2016. 136 с.
7. 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. С. 28–38. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.004
8. Шиятов С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.

9. Шиятов С. Г., Моисеев П. А., Григорьев А. А. Фотомониторинг древесной и кустарниковой растительности в высокогорьях Южного Урала за последние 100 лет. Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2020. 191 с.
10. Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming / M. J. Steinbauer, J. A. Grytnes, G. Jurasinski et al. // *Nature*. 2018. Vol. 566. P. 231–236. DOI: 10.1038/s41586-018-0005-6
11. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming / M. A. Harsch, P. E. Hulme, M. S. McGlone, et al. // *Ecology Letters*. 2009. № 12. P. 1040–1049. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01355.x
12. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change / M. Gottfried, H. Pauli, A. Futschik, et al. // *Nature Climate Change*. 2012. Vol. 2. P. 111–115. DOI: 10.1038/nclimate1329
13. 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. P. 291–306. DOI: 10.1007/s11629-020-6221-1
14. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Databas / A. Jarvis, H. I. Reuter, A. D. Nelson et al. [Электронный ресурс]. URL: <http://srtm.csi.cgiar.org>. (дата обращения: 05.08.2024).
15. Körner C. Alpine treelines. Functional Ecology of the Global High Elevation Tree Limits. Berlin: Springer, 2012. 220 p.
16. Pepper N., Gerardo-Giorda L., Montomoli F. Meta-modeling on detailed geography for accurate prediction of invasive alien species dispersal // *Scientific Reports*. 2019. № 9. DOI: 10.1038/s41598-019-52763-9
17. Prognostics of forest recovery with r.recovery GRASS-GIS module: An open-source forest growth simulation model based on the diffusive-logistic equation / L. A. Richit, C. Bonatto, R. V. da Silva, et al. // *Environmental Modelling and Software*. 2018. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.10.002.
18. Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits / H. Pauli, M. Gottfried, S. Dullinger et al. // *Science*. 2012. Iss. 336. P. 353–355. DOI: 10.1126/science.1219033
19. Role of land-surface changes in arctic summer warming / F. S. Chapin, M. Sturm, M. C. Serreze et al. // *Science*. 2005. № 310. P. 657–660. DOI: 10.1126/science.1117368
20. Shiyatov S. G., Mazepa V. S. Climate-driven dynamics of the forest-tundra vegetation in the Polar Ural Mountains // *Contemporary Problems of Ecology*. 2011. Vol. 4. № 7. P. 758–768. DOI: 10.1134/S1995425511070071
21. Temperature-induced recruitment pulses of Arctic dwarf shrub communities / U. Büntgen, L. Hellmann, W. Tegel, S. Normand // *Journal of Ecology*. 2015. Vol. 103. № 2. P. 489–501. DOI: 10.1111/1365-2745.12361
22. Tinner W., Kaltenrieder P. Rapid responses of high-mountain vegetation to early Holocene environmental changes in the Swiss Alps // *Journal of Ecology*. 2005. Vol. 93. P. 936–947. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2005.01023.x
23. Treeline advances along the Urals mountain range - driven by improved winter conditions? / F. Hagedorn, S. G. Shiyatov, V. S. Mazepa et al. // *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20. № 11. P. 3530–3543. DOI: 10.1111/gcb.12613

REFERENCES

1. Vysotskaya A. A., Medvedkov A. A. [Climate-driven “greening” of the kurum landscape in the valley of the lower reaches of the Podkamennaya Tunguska river]. In: *InterCarto. Inter-GIS [InterCarto. InterGIS]*, 2022, vol. 28, no. 1, pp. 305–313. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1- 28-305-313

2. Gorchakovskiy P. L. [Experience of the botanical and geographical subdivision of the Ural highlands]. In: Genkel P. A., ed. *Problemy botanikov*. Vyp. 5 [Problems of Botany. Issue 5]. Moscow; Leningrad, Akademiya nauk SSSR v Leningrade, 1960, pp. 32–46.
3. Gorchakovskiy P. L. *Flora i rastitelnost vysokogoriya Urala* [Flora and vegetation of the Ural highlands]. Sverdlovsk, 1966. 270 p.
4. Gorchakovskiy P. L., Shiyatov S. G. *Fitoindikatsiya usloviy okruzhayushchey sredy i razvitiya protsessov v usloviyakh krizisa* [Phytoindication of environmental conditions and natural processes in the highlands]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 208 p.
5. Im S. T., Kharuk V. I. [Climatically induced changes in the ecotone of the alpine forest-tundra of the Putorana Plateau]. In: *Issledovaniye Zemli iz kosmosa* [Exploration of the Earth from Space], 2013, no. 5, p. 32. DOI: 10.7868/S0205961413040052
6. Moiseev P. A., Shiyatov S. G., Grigoriev A. A. *Klimatogennaya dinamika drevesnoy rastitelnosti v verkhney chasti yeye rasprostraneniya na Khrebt Bolshogo Taganay za posledneye stoletie* [Climatogenic dynamics of woody vegetation at the upper limit of its distribution on the Bolshoy Taganay Ridge over the past century]. Yekaterinburg: Izdatelstvo UMTS UPI Publ., 2016. 136 p.
7. Grigoriev A. A., Klyam R. S., Vyukhin S. O., Gromov A. M., Balakin D. S., Vorobyov I. B., Shalaumova Yu. V. [Spatio-temporal dynamics of tree and shrub vegetation in the mountain tundra of Far Taganay (Southern Urals)]. In: *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2023, no. 3, pp. 28–38. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.004
8. Shiyatov S. G. *Dinamika drevesnoy i kustarnikovoy rastitelnosti v gorakh Polyarnogo Urala pod vliyaniem sovremennykh izmeneniy klimata* [Dynamics of tree and shrub vegetation in the mountains of the Polar Urals under the influence of modern climate change]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2009. 216 p.
9. Shiyatov S. G., Moiseev P. A., Grigoriev A. A. *Fotomonitoring drevesnoy i kustarnikovoy rastitelnosti v vysokikhryakh Yuzhnogo Urala za posledniye 100 let* [Photomonitoring of tree and shrub vegetation in the highlands of the Southern Urals over the past 100 years]. Ekaterinburg, Izdatelstvo UMTS UPI Publ., 2020. 191 p.
10. Steinbauer M. J., Grytnes J. A., Jurasinski G., et al. Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. In: *Nature*, 2018, vol. 566, pp. 231–236. DOI: 10.1038/s41586-018-0005-6
11. Harsch M. A., Hulme P. E., McGlone M. S., et al. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. In: *Ecology Letters*, 2009, no. 12, pp. 1040–1049. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01355.x
12. Gottfried M., Pauli H., Futschik A., et al. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. In: *Nature Climate Change*, 2012, vol. 2, pp. 111–115. DOI: 10.1038/nclimate1329
13. Hansson A., Dargusch P., Shulmeister J. A review of modern treeline migration, the factors controlling it and the implications for carbon storage. In: *Journal of Mountain Science*, 2021, vol. 18, pp. 291–306. DOI: 10.1007/s11629-020-6221-1
14. Jarvis A., Reuter H. I., Nelson A. D., et al. *Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Databas*. Available at: <http://srtm.csi.cgiar.org>. (accessed: 05.08.2024).
15. Körner C. *Alpine treelines. Functional Ecology of the Global High Elevation Tree Limits*. Berlin, Springer, 2012. 220 p.
16. Pepper N., Gerardo-Giorda L., Montomoli F. Meta-modeling on detailed geography for accurate prediction of invasive alien species dispersal. In: *Scientific Reports*, 2019, no. 9. DOI: 10.1038/s41598-019-52763-9

17. Richit L. A., Bonatto C., da Silva R. V., et al. Prognostics of forest recovery with r.recovery GRASS-GIS module: An open-source forest growth simulation model based on the diffusive-logistic equation. In: *Environmental Modelling and Software*, 2018. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.10.002.
18. Pauli H., Gottfried M., Dullinger S., et al. Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. In: *Science*, 2012, iss. 336, pp. 353–355. DOI: 10.1126/science.1219033
19. Chapin F. S., Sturm M., Serreze M. C., et al. Role of land-surface changes in arctic summer warming. In: *Science*, 2005, no. 310, pp. 657–660. DOI: 10.1126/science.1117368
20. Shiyatov S. G., Mazepa V. S. Climate-driven dynamics of the forest-tundra vegetation in the Polar Ural Mountains. In: *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, vol. 4, no. 7, pp. 758–768. DOI: 10.1134/S1995425511070071
21. Büntgen U., Hellmann L., Tegel W., Normand S. Temperature-induced recruitment pulses of Arctic dwarf shrub communities. In: *Journal of Ecology*, 2015, vol. 103, no. 2, pp. 489–501. DOI: 10.1111/1365-2745.12361
22. Tinner W., Kaltenrieder P. Rapid responses of high-mountain vegetation to early Holocene environmental changes in the Swiss Alps. In: *Journal of Ecology*, 2005, vol. 93, pp. 936–947. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2005.01023.x
23. Hagedorn F., Shiyatov S. G., Mazepa V. S., et al. Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions? In: *Global Change Biology*, 2014, vol. 20, no. 11, pp. 3530–3543. DOI: 10.1111/gcb.12613

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Григорьев Андрей Андреевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru

Шалаумова Юлия Валерьевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: jvshalaumova@gmail.com;

Терентьева Мария Вячеславовна – инженер 1 категории лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: terenteva_mv@ipae.uran.ru

Вьюхин Сергей Олегович – младший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: Sergey.vyuhin@mail.ru;

Балакин Дмитрий Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: dmitrijbalakin047@gmail.com;

Моисеев Павел Александрович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: moiseev@ipae.uran.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey A. Grigoriev – PhD (Agricultural), Senior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru

Yulia V. Shalaumova – PhD (Engineering), Senior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

e-mail: jvshalaumova@gmail.com

Maria V. Terentyeva – Engineer of the 1st category, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

e-mail: terenteva_mv@ipae.uran.ru

Sergey O. Vyukhin – Junior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

e-mail: Sergey.vyukhin@mail.ru

Dmitry S. Balakin – Junior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

e-mail: dmitrijbalakin047@gmail.com

Pavel A. Moiseev – Dr. Sci. (Biology), Laboratory Head, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

e-mail: moiseev@ipae.uran.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Горные тундры Южного Урала: современное распространение и угроза исчезновения в XXI веке / А. А. Григорьев, Ю. В. Шалаумова, М. В. Терентьева, С. О. Вьюхин, Д. С. Балакин, П. А. Моисеев // Географическая среда и живые системы. 2024. № 3. С. 26–46.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-26-46

FOR CITATION

Grigoriev A. A., Shalaumova Yu. V., Terentyeva M. V., Vyukhin S. O., Balakin D. S., Moiseev P. A. Alpine tundras of the Southern Urals: current distribution and threat of extinction in the 21st century. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 3, pp. 26–46.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-26-46