

Научная статья

УДК574.42

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-2-67-82

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА СИБИРСКОГО (*JUNIPERUS SIBIRICA* BURGSD) НА ВЕРХНЕМ ПРЕДЕЛЕ ЕГО ПРОИЗРАСТАНИЯ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПЛАТО ПУТОРАНА

Вьюхин С. О.¹, Григорьев А. А.², Балакин Д. С.³, Тимофеев А. С.⁴

¹ 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

² 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

³ 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

⁴ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202, Российская Федерация
e-mail: timofeev_as@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 20.03.2024

После доработки 17.05.2024

Принята к публикации 10.06.2024

Аннотация

Цель. Оценка современного распространения морфологической и возрастной структуры зарослей можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.) в пределах западной части плато Путорана (массив Сухие горы).

Процедура и методы. При помощи метода изучения морфологической структуры древесной растительности, произрастающей на разной высоте над уровнем моря, и классических методов дендрохронологии исследована возрастная и морфологическая структура 597 особей можжевельника сибирского, произрастающего на верхней границе древесной растительности. Дендрохронологические образцы в пределах верхней границы леса отобраны на разной абсолютной высоте (от 358 до 650 м н. у. м.) и в разных экспозиционных условиях.

Результаты. Показано, что, начиная с конца XIX в., происходило и в настоящее время происходит интенсивная экспансия одного из наиболее распространённых и долгоживущих в районе исследования кустарниковых видов можжевельника сибирского под пологом формирующихся древостоев лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen). Характер и темпы заселения кустарниковой растительностью отличаются в зависимости от экспозиции склона, сомкнутости крон древостоев и высоты над уровнем моря. Установлено, что в районе исследования можжевельник сибирский встречается только в полосе от верхнего предела распространения границы сомкнутых лесов (358–515 м н. у. м.) до верхней границы распространения отдельных деревьев в тундре (604–650 м н. у. м.). На

исследованном массиве Сухие горы можжевельник сибирский распространён только на склонах южной, западной и восточной экспозиций. Выявленная экспансия можжевельника сибирского вверх по склонам объясняется изменением климатических условий в районе исследования.

Теоретическая и/или практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы при создании моделей климатогенной трансформации высокогорных экосистем Субарктики.

Ключевые слова: верхняя граница древесной и кустарниковой растительности, возрастная структура, изменение климата, Средняя Сибирь, плато Путорана

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке двух проектов РНФ: сбор данных выполнен за счёт средств гранта № 17-14-01112, а обработка и анализ данных, подготовка текста и рисунков – за счёт средств гранта № 21-14-00137.

Original Research Article

STRUCTURE AND DYNAMICS OF CENOPOPULATIONS OF SIBERIAN JUNIPER (*JUNIPERUS SIBIRICA* BURGSD) AT THE UPPER LIMIT OF ITS GROWTH IN THE WESTERN PART OF THE PUTORANA PLATEAU

S. Vyuhin¹, A. Grigoriev², D. Balakin³, A. Timofeev⁴

¹ Institute of plant and animal ecology UB RAS
ul. 8 Marta 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation
e-mail: Sergey.vyuhin@mail.ru

² Institute of plant and animal ecology UB RAS
ul. 8 Marta 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation
e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru

³ Institute of plant and animal ecology UB RAS
ul. 8 Marta 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation
e-mail: dmitrijbalakin047@gmail.com

⁴ Institute of plant and animal ecology UB RAS
ul. 8 Marta 202, Yekaterinburg 620144 Russian Federation
e-mail: timofeev_as@ipae.uran.ru

Received 20.03.2024

Revised 17.05.2024

Accepted 10.06.2024

Abstract

Aim. Assessment of the modern distribution, morphological and age structure of Siberian juniper (*Juniperus sibirica* Burgsd.) thickets within in the western part of the Putorana plateau (Syukhie gory massif).

Methodology. Using the method of studying the morphological structure of woody vegetation growing at different altitudes above sea level and classical methods of dendrochronology, the age and morphological structure of 597 individuals of Siberian juniper growing at the upper limit of woody vegetation were studied. Dendrochronological samples within the upper forest boundary were selected at different absolute altitudes (from 358 to 650 m ASL) and under different exposure conditions.

Results. It is shown that, since the end of the 19th century, one of the most widespread and long-lived shrub species in the study area – Siberian juniper – has been spreading intensively under the canopy of emerging Gmelin larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen) stands. The type and rate of shrub colonisation varies according to slope exposure, tree stand density and altitude. It was found that in the study area Siberian juniper is distributed only in the zone from the upper limit of the distribution of the border of closed forests (358–515 m ASL) to the upper limit of the distribution of individual trees in the tundra (604–650 m ASL). In the studied massif of the Sukhye Mountains, Siberian juniper is distributed only on the slopes of the southern, western and eastern exposures. The observed upslope expansion of Siberian juniper is explained by changes in climatic conditions in the study area.

Research implications. The results of the study can be used to create models of climate-induced transformation of high mountain ecosystems in the Subarctic.

Keywords: upper limit of tree and shrub vegetation, age structure, changing of the climate, Central Siberia, Putorana plateau

Acknowledgments. The work was carried out with the financial support of two projects of the Russian Science Foundation: data collection was carried out under grant No. 17-14-01112, and data processing and analysis, preparation of text and figures was carried out under grant No. 21-14-00137.

Введение

В настоящее время проблема изменения климата одна из наиболее обсуждаемых тем в мировом научном сообществе¹. Реакция живых организмов на изменение климата в первую очередь проявляется в расширении (или сокращении) границ ареалов видов, особенно расположенных в экстремальных климатических условиях [3]. К числу высокочувствительных относятся и экосистемы высокогорий, где любые флуктуации условий среды приводят к смещению растительности в тундровые биомы [21] или её отступлению вниз склонов [22]. Климатогенные изменения, происходящие в экотонных ландшафтах, визуально более заметны, здесь легче фиксируются экосистемные отклики [9].

В последние десятилетия установлены многочисленные факты изменения высотного предела распространения древесной растительности во многих горных системах мира – леса продвигаются выше в горы [16]. Данные процессы сопряжены с изменением морфологической структуры и состава древесных видов, что приводит к увеличению площадей, занятых лесной растительностью [14]. Помимо этого, происходит термофилизация высокогорий – сокращение адаптированных к холоду травянистых видов и увеличение более теплоадаптированных видов [17]. Кустарниковая растительность на пределе своего распространения изучена в значительно меньшей степени, что особенно характерно для арктических экосистем [18]. Опубликованы работы, свидетельствующие о том, что кустарники продвигаются в альпийские и тундровые биомы [21], но этот тренд характерен не только для горных склонов, но и для курумовых склонов невысоких равнин в пределах

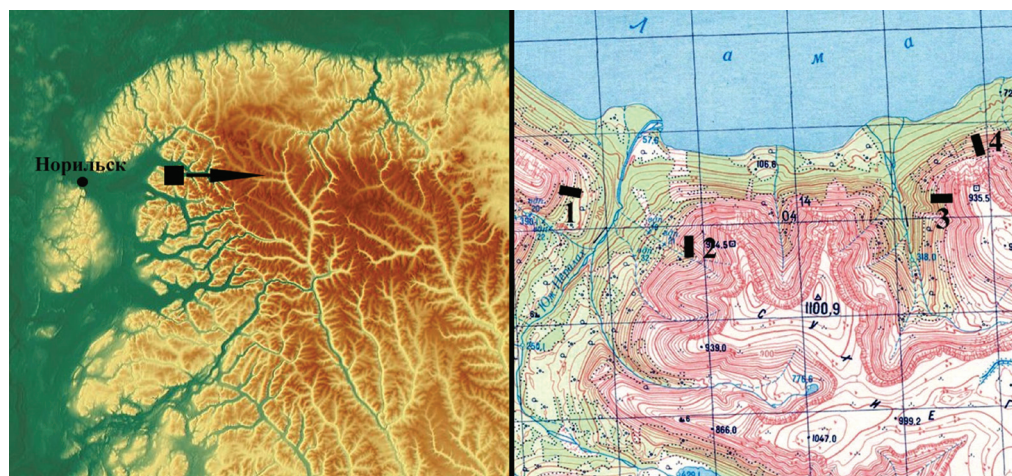
¹ IPCC. 2021: Summary for Policymakers // Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., et al. Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2021. 32 p.

плоскогорий [2]. В отдельных регионах крупные кустарники представители родов *Duchekia*, *Juniperus*, *Salix* занимают значительные площади и играют важную фитоценотическую роль в сложении сообществ высокогорий [4]. В недавних работах было показано, что на плато Путорана, труднодоступном горном регионе Российской Субарктики, в последнем столетии (особенно во второй его половине) происходила интенсивная экспансия древесной растительности выше в горы и этот процесс имел выраженные отличия в зависимости от экспозиции склона [23]. В ходе предварительного маршрутного обследования и закладки высотных профилей с целью изучения древесной растительности было обнаружено, что можжевельник сибирский – один из наиболее распространенных кустарниковых видов на плато Путорана, занимающий местами значительные площади. Можжевельник сибирский

является долгоживущим видом, он может жить до 800 лет [13], что свидетельствует о перспективности этого вида для оценки климатогенных трансформаций природной среды. До настоящего времени исследования можжевельника сибирского на плато Путорана были единичны.

**Распространение,
морфологическая и возрастная
структуры зарослей
можжевельника сибирского
(*Juniperus sibirica* Burgsd.)
в пределах западной части
плато Путорана**

В период с 2017 по 2019 гг. на массиве Сухие горы, в экотоне верхней границы древесной растительности [3] были заложены 4 высотных профиля на склонах с разными экспозициями – южной, восточной, северной и западной (рис. 1), каждый из которых имел протяжённость от 89 и до 262 м. Каж-



Условные обозначения:

1 – Восточный, 2 – Южный, 3 – Западный, 4 – Северный

Рис. 1 / Fig. 1. Картограмма района исследования с указанием высотных профилей / Survey Area Map Showing Elevation Profiles

дый высотный профиль состоял из 4 составляющих (высотных уровней):

1) на границе отдельных деревьев в тундре, где сомкнутость древостоя составляла менее 0,05;

2) у верхней границы редколесий, с сомкнутостью древостоя от 0,05 до 0,1;

3) у верхней границы сомкнутых лесов, с сомкнутостью древостоя от 0,2 до 0,3;

4) на 50–70 м ниже границы сомкнутого леса, где сомкнутость древостоя составляла от 0,4 до 0,5.

На каждом высотном уровне с учётом экспозиционных различий было заложено несколько пробных площадей (ПП) размером 0,04 га (от 3 до 5 шт.), а также несколько поли-

гонов площадью от 0,05 до 0,15 га (от 2 до 3 шт.) (рис. 2). На этих площадях определялись (табл. 1) следующие характеристики можжевельника сибирского: точное местоположение, высота, диаметр кроны в 2 взаимно перпендикулярных направлениях, диаметр основания у каждого стволика, возраст определялся с помощью взятия поперечного спила у основания самого толстого стволика. На этих же пробных площадях были измерены основные морфометрические и площадные показатели всех деревьев, а также определён их возраст. Для подсчёта и датировки годовичных колец можжевельника сибирского использовались стандартные дендрохронологические



Рис. 2 / Fig 2. Общий вид района исследования и можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica*) на пробной площади в лиственничном лесу / General view of the study area and the Siberian Mozheevnik (*Juniperus sibirica*) in the larch forest test area

Источник: фото авторов

Таблица 1 / Table 1

Географические координаты и морфометрические характеристики участков склонов, на которых заложены пробные площади / Geographical coordinates and morphometric characteristics of the slope areas where the test areas are laid

Высотный уровень (профиль)	Экспозиция склона	Крутизна склона, °	Высота над уровнем моря, м	Географическая широта, °	Географическая долгота, °
1	В	35	620	69.400010	90.667011
2	В	21	458	69.400011	90.683001
3	В	35	413	69.400010	90.683003
4	В	31	358	69.400009	90.683004
1	Ю	21	604	69.383016	90.750002
2	Ю	33	586	69.383014	90.750003
3	Ю	32	563	69.383015	90.750001
4	Ю	26	515	69.383014	90.733.017
1	З	27	650	69.407017	90.889067
2	З	30	579	69.40805	90.885933
3	З	34	500	69.407633	90.882883
4	З	29	458	69.407467	90.87995
1	С	47	–	–	–
2	С	26	335	69.415617	90.8983
3	С	30	258	69.416833	90.896067
4	С	21	224	69.417067	90.895367

Источник: составлено авторами

методы¹. Полученные образцы древесины (радиальные спилы) в лабораторных условиях были измерены на полуавтоматической установке Lintab 5. Для исключения ложных и выявления выпадающих колец была

проведена датировка по обобщённой древесно-кольцевой хронологии.

В целом, на общей площади 1,47 га были определены морфометрические параметры 1281 деревьев и 597 особей (кустов) можжевельника сибирского. Возраст установлен у 411 особей можжевельника сибирского. Все ПП были подобраны с учётом отсутствия значительного антропогенного воздействия (массив удалён от крупных промышленных центров – 100 км к востоку от Норильска). Обследование

¹ Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Наурзбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии: учебно-методическое пособие. Ч.1.16. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск: КрасГУ, 2000. 81 с.

радиальных спилов древесины с живых и полуископаемых деревьев с ПП в предыдущих исследованиях показало, что за последние как минимум 500 лет пожаров на данных участках не было.

Плато Путорана представляет собой базальтовый массив с выраженной ступенчатостью в рельефе. Верхние части склонов отличаются крутизной до 40–50° [7]. Основная часть плато размещается в подзоне северной тайги [12], ландшафты которой характеризуются низким экологическим потенциалом, о чём свидетельствует сравнительно невысокие значения чистой первичной продукции и разреженность древостоя [1]. Господствующим древесным видом в этом районе является *Larix gmelinii* (Rupr.) [19]. Кустарниковая растительность представлена родом *Duschekia*, в частности, вид *Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar. Также в подгольцовом поясе встречаются кустарники вида *Salix* и *Juniperus*. Район плато Путорана характеризуется суровыми климатическими условиями [10], которые оказывают своё влияние на рост и развитие всей флоры [5]. Ввиду труднодоступности региона почвенные условия с учётом экспозиционного фактора не изучались.

В научной литературе почва данного района характеризуется следующим образом: в почвах подгольцового пояса в зарослях можжевельника сибирского, а также в лиственничных редирах подгольцового пояса широко распространены неоподзоленные каменистые маломощные почвы – горные подбуры [6]. Они формируются на хорошо дренированных участках (нагорные и надпойменные террасы) и каменисто-мелкозёмистых отложениях [11]. Гранулометрический состав

почв варьирует от супеси до среднего суглинка с преобладанием фракций песка и крупной пыли. На более крутых склонах (от 18 до 35°) тёмные подбуры характеризуются небольшой мощностью органогенных горизонтов A₀ и A₁ [10].

Исследование района показало, что можжевельник распространён не столь однородно по склонам и высоте над уровнем моря, а на отдельных участках склонов (верхний уровень южного профиля) и на северном склоне можжевельник по заложенным профилям вообще не был встречен (табл. 2).

Данные, представленные в таблице 2, свидетельствуют, что значительные различия имеют средние показатели можжевельников, произрастающие на верхних высотных уровнях относительно нижнего уровня. Площадные характеристики закономерно уменьшаются по мере продвижения в гору (по мере уменьшения сомкнутости крон древостоев, по мере ухудшений условий для роста).

При изучении средних показателей особое внимание уделяется степени варьирования каждого признака, определяемого коэффициентом вариации. Так, на южном профиле средний диаметр основания шейки корня изменяется от 0,2 см до 3,5 см (средний диаметр – 1,2 см), высота куста изменяется от 0,1 м до 1,0 м (средняя высота 0,5 м), диаметр кроны – от 0,2 м до 4 м (средний диаметр кроны – 0,9 м), на западном профиле диаметр основания шейки корня изменяется от 0,2 см до 2,8 см (средний диаметр – 1 см), высота куста – от 0,1 м до 1,1 м (средняя высота – 0,4 м), диаметр кроны – от 0,1 м до 2,4 м (средний диаметр – 0,6 м) и на восточном профиле диаметр основа-

Таблица 2 / Table 2

Лесотаксационные (морфометрические и площадные) характеристики можжевельника сибирского и площадь проективного покрытия крон лиственницы Гмелина на склонах разной экспозиции / Forest-taxing (morphometric and areal) characteristics of Siberian juniper and the area of projective coverage of the crown of Gmelin larch on the slopes of different exposures

Высотный уровень	Экспозиция	Диаметр у основания, см		Высота, м		Возраст, годы		Диаметр кроны, м		Площадные характеристики		
		Среднее	Максимум	Среднее	Максимум	Среднее	Максимум	Среднее	Максимум	Площадь проективного покрытия крон можжевельника, м ² /га сибирского, м ² /га	Густота стволов можжевельника сибирского, шт./га	Площадь проективного покрытия крон лиственницы, м ² /га Гмелина, м ² /га
1	В	0,8±0,32	1,5	0,25+-0,06	0,38	55+-18	76	0,7+-0,33	1,6	23	48	439
2	В	1,5+-1,2	8	0,57+-0,2	1,6	57+-31	129	1,2+-0,5	2,5	358	281	2548
3	В	0,8+-0,3	2	0,4+-0,2	0,8	39+-16	73	0,9+-0,4	1,9	333	432	4444
4	В	1,23+-0,56	4	0,52+-0,23		42+-17,06	97	0,75+-0,53	3	543	892	6326
1	Ю	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	591
2	Ю	1,05+-0,7	3	0,56+-0,2	1	43,5+-16,8	86	0,77+-0,5	2	129	208	3528
3	Ю	1,3+-0,78	3,2	0,5+-0,2	1,1	36,3+-16,4	89	0,73+-0,57	3,1	511	758	6082
4	Ю	1,16+-0,64	3,5	0,45+-0,17	0,95	46,3+-23	148	0,92+-0,79	3,95	818	717	8097
1	З	0,85+-0,49	2	0,25+-0,19	0,7	41,8+-36,8	134	0,4+-0,39	1,7	49	200	1452
2	З	1,3+-0,57	2,7	0,44+-0,19	0,9	54,4+-29,5	174	0,8+-0,5	2,4	459	688	3962
3	З	0,88+-0,53	2,5	0,42+-0,21	1,1	41,5+-13,59	78	0,5+-0,36	1,7	430	1338	13096
4	З	1,7+-0,61	2,8	0,6+-0,27	1,1	59,6+-27,56	92	1,06+-0,62	2,35	165	142	7065
1	С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	С	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ния шейки корня изменяется от 0,3 см до 4,0 см (средний диаметр – 1,14 см), высота куста – от 0,1 м до 1,6 м (средняя высота – 0,5 м), диаметр кроны – от 0,1 м до 4,8 м (средний диаметр – 0,9 м).

Полученные результаты свидетельствуют, что заросли можжевельника по морфометрическим показателям в своих средних значениях схожи на профилях, однако степень варьирования этих показателей в зависимости от экспозиции склона различна.

Результаты исследования возрастной структуры можжевельника сибирского показали некоторые различия в зависимости от экспозиции склона и высоты его произрастания над уровнем моря (рис. 3). Так, наибольшее

количество кустов сосредоточено на нижних уровнях экотона (более 70% особей располагаются на 3 и 4 высотных уровнях).

Самые первые особи начали появляться еще в конце XIX в. Основной пик появления приходится на середину – вторую половину XX в. (преимущественно после 1975 гг.). В целом, характер заселения кустов можжевельника имеет схожий характер и вне зависимости от экспозиции склона. В целом, чем выше значения абсолютных высот, тем в меньшем количестве и позднее произошло заселение участка склона можжевельником сибирским.

Полученные результаты свидетельствуют, что на плато Путорана (в пределах массива Сухие горы) мож-

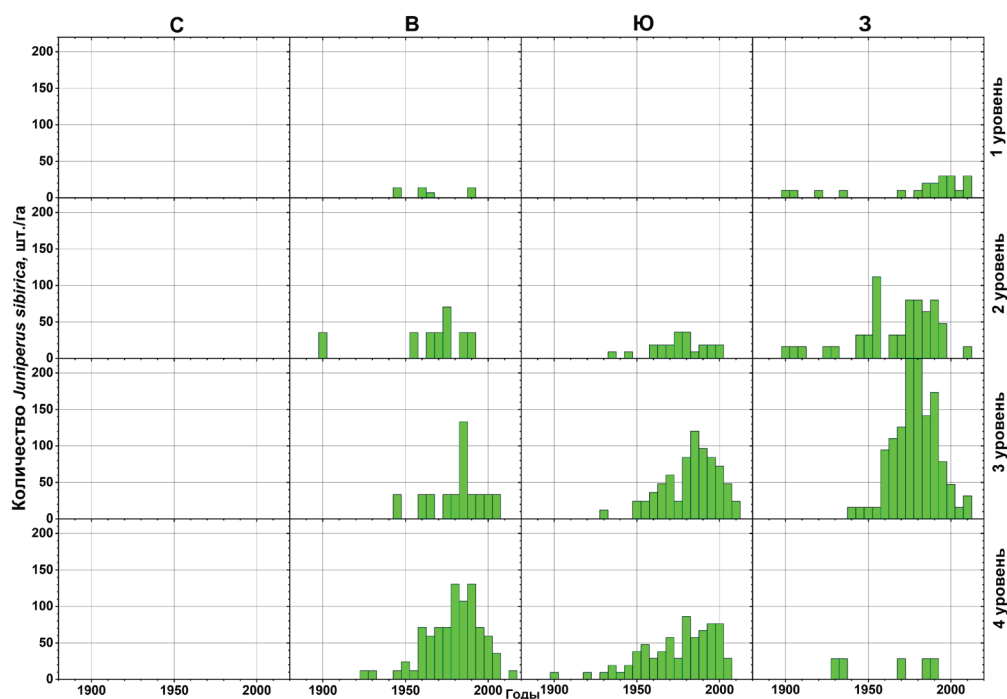


Рис. 3 / Fig 3. Распределение количества кустов можжевельника сибирского по периодам их появления на заложенных высотных профилях / Distribution of the number of Siberian juniper bushes by periods of their appearance on the established altitude profiles

Источник: составлено авторами

жевельник сибирский произрастает только в определённом высотном пределе – в подгольцовом поясе – и выступает в качестве подлесочного вида в древостоях, сформированных лиственницей Гмелина различной сомкнутости.

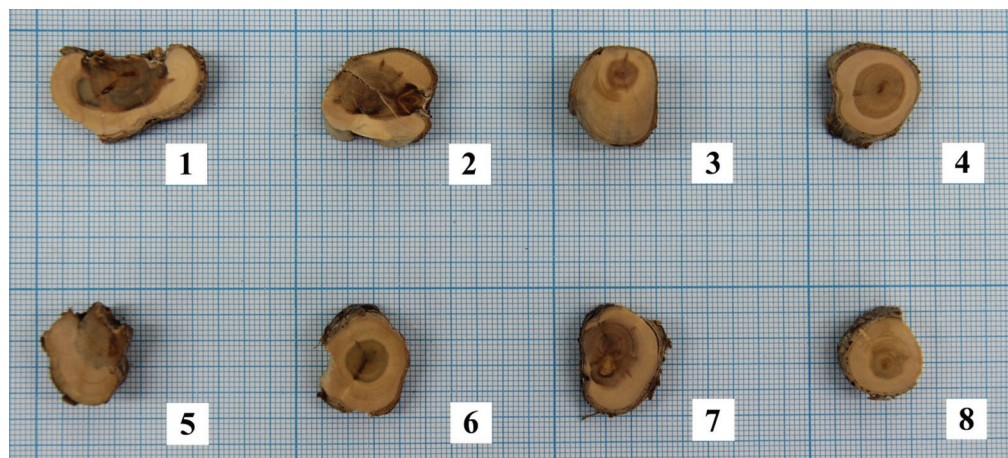
В других горных регионах, например, в Южном и Северном Урале [15], можжевельник сибирский может произрастать значительно выше верхней границы распространения древесной растительности, формируя отдельный сомкнутый пояс в горах и, напротив, не встречается в еловых древостоях высокой сомкнутости.

По заложенным профилям в районе исследования можжевельник сибирский не был встречен на склонах северной экспозиции и в нижних частях склонов, где локализуются заболоченные участки или отмечается повышенная корневая конкуренция за свет в древостоях высокой сомкнутости или с другими кустарниковыми видами, представителями родов *Duchekia* и *Salix*. Отсутствие можжевельника

на северных склонах также может объясняться недостатком тепла в условиях короткого периода вегетации в Субарктике [5]. Подобную ситуацию (неопубликованные данные) мы ранее наблюдали в верхнем течении р. Байдарата-Яха на Полярном Урале, где расположен самый северный лесной островной массив на Урале (N 67.977618°, E 67.185849°). Здесь на протяжении около 10 км можжевельник не встречался на склонах, ориентированных на север, в отличие от южных склонов, где можжевельник распространён в изобилии. В более южных регионах можжевельник сибирский встречается в большом количестве вне зависимости от экспозиции склона [15].

Так, небольшие средние морфометрические параметры кустов можжевельника в районе исследования, в сравнении с другими, более южными регионами, как раз и свидетельствуют о роли климатических условий в его вегетативном развитии.

В качестве примера (рис. 4) приведены спилы можжевельника с разных



1 – 147 лет; 2 – 92 года; 3 – 74 года; 4 – 129 лет; 5 – 174 года; 6 – 116 лет; 7 – 85 лет; 8 – 66 лет

Рис. 4 / Fig. 4. Радиальные спилы можжевельника сибирского в основании ствола различного возраста / Radial cuts of Siberian juniper at the base of the trunk of different ages

склонов. При значении диаметра стволика у основания 1,5 см возраст особи может составлять более 100 лет.

До настоящего времени в научной литературе, посвящённой флоре плато Путорана, можжевельник сибирский упоминался лишь в качестве вида, который встречается на плато на каменисто-мелкозёмистых осыпях на разных высотных уровнях подгольцового пояса [4]. В флористических исследованиях Л. И. Малышева [8] также отмечалось наличие можжевельника сибирского только на каменистых сухих склонах и подножиях скал в подгольцовом поясе.

Выявленные периоды массового возобновления можжевельника на склонах разных экспозиций, в целом, схожи с периодами массового возобновления можжевельника, выявленные нами ранее в горах Южного, Северного и Полярного Урала [15]. В последние годы появились работы,

свидетельствующие, что представители рода *Juniperus* активно внедряются в альпийские сообщества¹.

Анализ данных близлежащей метеостанции региона («Дудинка»), расположенной в 180 км от района исследований, показал, что за период с 1906 по 2017 гг. значительно увеличилась температура весенне-летнего периода (наибольший рост среднегодовых температур выявлен в марте и июне). Также наблюдается повышение температуры воздуха в декабре на 2,4⁰. В целом, в температура в зимний период (декабрь–февраль) выросла на 0,5⁰, в летний период (июнь–август) – на 1,4⁰ (табл. 3).

¹ IPCC. 2021: Summary for Policymakers // Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., et al. Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2021. 32 p.

Таблица 3 / Table 3

Изменение приземной температуры воздуха по данным метеостанции «Дудинка» за период с 1906 по 2017 гг., °C / Changes in surface air temperature according to data from the Dudinka weather station for the period from 1906 to 2017, °C

Месяцы	Периоды метеонаблюдений			Разница
	1906–1940	1941–1980	1981–2017	
Январь	-27,7	-28,2	-27,1	0,6
Февраль	-24,8	-28,3	-26,1	-1,3
Март	-22,8	-23,0	-20,4	2,4
Апрель	-15,4	-14,8	-14,0	1,5
Май	-6,0	-5,7	-4,5	1,5
Июнь	4,7	5,5	7,2	2,5
Июль	12,6	13,8	14,1	1,5
Август	10,8	10,5	11,0	0,2
Сентябрь	3,8	3,9	4,1	0,4
Октябрь	-8,4	-8,1	-7,8	0,6
Ноябрь	-20,2	-21,6	-20,7	-0,5

Окончание табл. 3

Месяцы	Периоды метеонаблюдений			Разница
	1906–1940	1941–1980	1981–2017	
Декабрь	-26,6	-25,6	-24,3	2,4
Летний период (июнь–август)	9,3	9,2	10,8	1,4
Зимний период (декабрь–февраль)	-26,4	-27,4	-25,8	0,5
Зимний период (ноябрь–апрель)	-22,7	-23,6	-21,6	-1,1

Источник: составлено авторами

Закключение

Результаты исследования показали, что в условиях современного изменения климата в последнем столетии происходила интенсивная экспансия можжевельника сибирского под пологом древостоев лиственницы Гмелина. Эти изменения отмечаются в экотоне верхней границы древесной растительности. Наиболее интенсивно этот процесс происходил во второй половине XX в. Наиболее значительное продвижение можжевельника сибирского выше в горы произошло на границе распространения сомкнутых лесов и редколесий.

Установлено, что можжевельник сибирский произрастает, в основном, в определённом высотном диапазоне в пределах экотона «лес–горная тундра» на склонах южной, западной и восточной экспозиций. Показано, что при незначительных средних морфометрических параметрах, таких, как диаметр (от 0,8 до 1,7 см), высота (от 0,25 до 0,6 м) и диаметр кроны (от 0,4 до 1,2 м)

произрастающие особи можжевельника сибирского на плато Путорана имеют значительный возраст (36–60 лет). Максимально выявленный возраст можжевельника сибирского на исследованных участках склонов – более 170 лет.

Представленные в статье материалы и ранее опубликованные данные [23] позволяют говорить о ведущей роли климатических изменений в наблюдаемой трансформации кустарникового покрова. Экспансия можжевельника сибирского вверх по склону свидетельствует об изменении природно-климатических условий на горной территории северо-западной части Средней Сибири.

Результаты данного исследования позволяют реконструировать скорость и темпы трансформации высокогорных растительных сообществ, а также могут быть использованы для получения надёжных прогнозов будущих изменений окружающей среды в биомах Субарктики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкая А. А., Медведков А. А. Информационные ресурсы для оценки экологического потенциала геосистем (на примере территории Енисейского Севера) // Интер-Карто. ИнтерГИС. 2023. Т. 29. № 1. С. 20–33. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-20-33

2. Высоцкая А. А., Медведков А. А. Климатогенное «позеленение» курумовых ландшафтов в долине нижнего течения р. Подкаменная Тунгуска // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 1. С. 305–313. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-305-313
3. Горчаковский П. Л., Шиятов С. Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 208 с.
4. Деева Н. М. Подгольцовые можжевельниковые группировки // Норин В. Н. Горные фитоценологические системы Субарктики. Л.: Наука, 1986. С. 251–253.
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. Карпенко Л. В. Почвы плато Путорана в окрестностях озера Лама // Вестник КрасГАУ. 2015. № 8. С. 58–66.
7. Куваев В. Б. Высотное распределение растений в горах Путорана. Л.: Наука, 1980. 264 с.
8. Малышев Л. И. Флористические исследования на плато Путорана // Флора Путорана: материалы к познанию особенностей состава и генезиса горных субарктических флор Сибири / отв. ред. Л. И. Малышев. Новосибирск: Наука, 1976. С. 4–10.
9. Медведков А. А. Как глобальное потепление меняет природу сибирской тайги? // Природа. 2016. № 12. С. 40–47.
10. Норин В. Н. Горные фитоценологические системы Субарктики. Л.: Наука, 1986. 292 с.
11. Пономарева Т. В. Содержание и распределение серы в мерзлотно-таежных почвах плато Путорана // Хвойные бореальные зоны. 2008. № 3-4. С. 290–294.
12. Путоранская озерная провинция / гл. ред. Г. И. Галызин. Новосибирск: Наука, 1975. 200 с.
13. Хантемиров Р. М., Горланова Л. А., Шиятов С. Г. Патологические структуры в годичных кольцах можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.) и их использование для реконструкции экстремальных климатических событий // Экология. 2000. № 3. С. 185–192.
14. Шиятов С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.
15. Alpine Shrubification: Juniper Encroachment into Tundra in the Ural Mountains / A. A. Grigoriev, Y. V. Shalaumova, D. S. Balakin, O. V. Erokhina // Forests. 2022. Vol. 13. DOI: 10.3390/f13122106
16. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming / M. A. Harsch, P. E. Hulme, M. S. McGlone, R. P. Duncan // Ecology Letters. 2009. Vol. 13. P. 1040–1049.
17. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change / M. Gottfried, H. Pauli, A. Futschik, M. Akhalkatsi // Nature Climate Change. 2012. Vol. 2. P. 111–115.
18. Forbes B. C., Fauria M. M. Zetterberg, P. Russian Arctic warming and “greening” are closely tracked by tundra shrub willows // Global Change Biology. 2010. Vol. 16. P. 1542–1554.
19. Forest ecosystems of the cryolithic zone of Siberia: regional features. mechanisms of stability and pyrogenic changes / A. P. Abaimov, O. A. Zyryanova, S. G. Prokushkin, T. Koike, Y. Matsuura // Eurasian Journal of Forest Research. 2000. № 1. P. 1–10.
20. Intra-annual stem radial increment response of Qilian juniper to temperature and precipitation along an altitudinal gradient in northwestern China / Z. Wang, B. Yang, A. Deslauriers, A. Bräuning // Trees. 2014. № 29. P. 25–34.
21. Myers-Smith I. H., Hik D. S. Climate warming as a driver of tundra shrubline advance // Journal of Ecology. 2018. Vol. 106. P. 547–560.

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.
23. Upward Treeline Shifts in Two Regions of Subarctic Russia Are Governed by Summer Thermal and Winter Snow Conditions / A. A. Grigoriev, Y. V. Shalaumova, S. O. Vyukhin, D. S. Balakin // *Forests*. 2022. Vol. 13. P. 174. DOI: 10.3390/f13020174

REFERENCES

1. Vysotskaya A. A., Medvedkov A. A. [Information resources for assessing the ecological potential of geosystems (on the example of the Yenisei North territory)]. In: *InterCarto. InterGIS* [InterCarto. InterGIS], 2023, vol. 29, no. 1, pp. 20–33. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-20-33
2. Vysotskaya A. A., Medvedkov A. A. [Climatogenic "greening" of kurum landscapes in the valley of the lower reaches of the Podkamennaya Tunguska River]. In: *InterCarto. InterGIS* [InterCarto. InterGIS], 2022, vol. 28, no. 1, pp. 305–313. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-305-313
3. 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, 1985. 208 p.
4. Deeva N. M. Subalpine juniper groups. In: Norin V. N. *Gornyye fitotsenologicheskiye sistemy Subarktiki* [Mountain phytocenological systems of the Subarctic]. Leningrad, Nauka Publ., 1986, pp. 251–253.
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, pp. 32. DOI: 10.7868/S0205961413040052
6. Karpenko L. V. [Soils of the Putorana Plateau in the Vicinity of Lake Lama]. In: *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasSAU], 2015, no. 8, pp. 58–66.
7. Kuvaev V. B. *Vysotnoye raznoobraziye rasteniy v gorakh Putorana* [Altitudinal Distribution of Plants in the Putorana Mountains]. Leningrad, Nauka Publ., 1980. 264 p.
8. Malyshev L. I. [Floristic Studies on the Putorana Plateau]. In: Malyshev L. I., ed. *Flora Putorana: materialy k poznaniyu sostava i genezisa gornyykh subarkticheskikh flor Sibiri* [Flora of Putorana: Materials for Understanding the Peculiarities of the Composition and Genesis of Mountain Subarctic Floras of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976, pp. 4–10.
9. Medvedkov A. A. [How Does Global Warming Change the Nature of the Siberian Taiga?]. In: *Priroda* [Nature], 2016, no. 12, pp. 40–47.
10. Norin B. N. *Gornyye fitotsenologicheskiye sistemy Subarktiki* [Mountain Phytocenological Systems of the Subarctic]. Leningrad, Nauka Publ., 1986. 292 p.
11. Ponomareva T. V. [Content and distribution of sulfur in permafrost-taiga soils of the Putorana Plateau]. In: *Khvoynyye boreal'nyye zony* [Coniferous boreal zones], 2008, no. 3-4, pp. 290–294.
12. Galyzin G. I., ed. *Putoranskaya ozernaya provintsiya* [Putorana lake province]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1975. 200 p.
13. Khantemirov R. M., Gorlanova L. A., Shiyatov S. G. [Pathological structures in annual rings of Siberian juniper (*Juniperus sibirica* Burgsd.) and their use for reconstruction of extreme climatic events]. In: *Ekologiya* [Ecology], 2000, no. 3, pp. 185–192.
14. Shiyatov S. G. *Dinamika drevesnoy i kustarnikovoy rastitel'nosti v gorakh Polyarnogo Urala pod vliyaniyem sovremennykh izmeneniy klimata* [Dynamics of tree and shrub vegetation in the mountains of the Polar Urals under the influence of modern climate changes]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2009. 216 p.

15. Grigoriev A. A., Shalaumova Y. V., Balakin D. S., Erokhina O. V. Alpine Shrubification: Juniper Encroachment into Tundra in the Ural Mountains. In: *Forests*, 2022, vol. 13. DOI: 10.3390/f13122106
16. Harsch M. A., Hulme P. E., McGlone M. S., Duncan R. P. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. In: *Ecology Letters*, 2009, vol. 13, pp. 1040–1049.
17. Gottfried M., Pauli H., Futschik A., Akhalkatsi M. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. In: *Nature Climate Change*, 2012, vol. 2, pp. 111–115.
18. Forbes B. C., Fauria M. M., Zetterberg, P. Russian Arctic warming and “greening” are closely tracked by tundra shrub willows. In: *Global Change Biology*, 2010, vol. 16, pp. 1542–1554.
19. Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Prokushkin S. G., Koike T., Matsuura Y. Forest ecosystems of the cryolithic zone of Siberia: regional features. mechanisms of stability and pyrogenic changes. In: *Eurasian Journal of Forest Research*, 2000, no. 1, pp. 1–10.
20. Wang Z., Yang B., Deslauriers A., Bräuning A. Intra-annual stem radial increment response of Qilian juniper to temperature and precipitation along an altitudinal gradient in north-western China. In: *Trees*, 2014, no. 29, pp. 25–34.
21. Myers-Smith I. H., Hik D. S. Climate warming as a driver of tundra shrubline advance. In: *Journal of Ecology*, 2018, vol. 106, pp. 547–560.
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.
23. Grigoriev A. A., Shalaumova Y. V., Vyukhin S. O., Balakin D. S. Upward Treeline Shifts in Two Regions of Subarctic Russia Are Governed by Summer Thermal and Winter Snow Conditions. In: *Forests*, 2022, vol. 13, pp. 174. DOI: 10.3390/f13020174

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Балакин Дмитрий Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: dmitriybalakin047@gmail.com

Тимофеев Артём Сергеевич – инженер 1 категории лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: timofeev_as@ipae.uran.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey O. Vyukhin – Junior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of plant and animal ecology UB RAS;
e-mail: Sergey.vyuhin@mail.ru

Grigoriev Andrey Andreevich – PhD (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of plant and animal ecology UB RAS;
e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru

Dmitry S. Balakin – Junior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of plant and animal ecology UB RAS;
e-mail: dmitriybalakin047@gmail.com

Artem S. Timofeev – engineer of the 1st category, Laboratory of geographic information technologies, Institute of plant and animal ecology UB RAS;
e-mail: timofeev_as@ipae.uran.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Структура и динамика ценопопуляций можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.) на верхнем пределе его произрастания в западной части плато Путорана / С. О. Вьюхин, А. А. Григорьев, Д. С. Балакин, А. С. Тимофеев // Географическая среда и живые системы. 2024. № 2. С. 67–82.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-2-67-82

FOR CITATION

Vyuhin S. O., Grigoriev A. A., Balakin D. S., Timofeev A. S. Structure and dynamics of cenopopulations of siberian juniper (*Juniperus Sibirica* Burgsd.) at the upper limit of its growth in the western part of the Putorana plateau. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 2, pp. 67–82.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-2-67-82