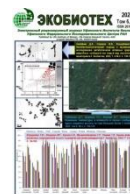




# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>


## ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ В ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ ВДОЛЬ ГРАДИЕНТА ВЫСОТЫ НА ГОРЕ БОЛЬШОЙ ШАТАК

Габбасова Д.Т.\*, Широких П.С., Бикбаев И.Г.,  
Федоров Н.И.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального  
исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

\*E-mail: [dilara.gt@yandex.ru](mailto:dilara.gt@yandex.ru)

В связи с изменением климата отмечается увеличение среднегодовых температур, которое влияет на высотное распределение растительности в горах. Целью настоящей работы являлось изучение изменения температуры и влажности вдоль высотного градиента на горном хребте Большой Шатак от подножия горы до верхней границы распространения леса. Сбор данных по температуре и относительной влажности проводился использованием логгеров DS1923-F5 в сосново-широколиственном, березово-сосновом и лиственничном лесах, расположенных на высотах 631, 831 и 966,46 м над у.м., соответственно. В период проведения исследования аномальных зимних температур не наблюдалось. Продолжительность безморозного периода составила: в сосново-широколиственном лесу — 157 дней, в березово-сосновом — 151 день, в лиственничном — 143 дня. В летний период 2021 года была засуха, которая проявлялась в равной степени на пробных площадях в березово-сосновом и лиственничном лесах и в меньшей степени в сосново-широколиственном лесу. В нормальный по количеству осадков 2022 год влажность в березово-сосновом лесу была существенно выше, чем в лиственничном. Таким образом, факторами влияющими на распределение широколиственных видов в настоящее время могут быть режим увлажнения и более короткий безморозный период выше границы их современного распространения. Для окончательного вывода о вкладах отдельных факторов в современное распространение широколиственных видов необходимо продолжить мониторинг с использованием логгеров.

*Ключевые слова:* дата-логгеры температуры и влажности ♦ Южный Урал ♦ сосново-широколиственные леса

## TEMPERATURE AND MOISTURE CHANGES IN FOREST COMMUNITIES ALONG THE ELEVATION GRADIENT ON BOLSHOI SHATAK MOUNTAIN

Gabbasova D.T.\*, Shirokikh P.S., Bikbaev I.G.,  
Fedorov N.I.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of  
the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

\*E-mail: [dilara.gt@yandex.ru](mailto:dilara.gt@yandex.ru)

Due to climate change, there is an increase in mean annual temperatures, which affects the altitudinal distribution of vegetation in the mountains. The purpose of this study was to investigate temperature and humidity changes along the altitudinal gradient on the Bolshoi Shatak mountain range from the foot of the mountain to the upper limit of forest distribution. Temperature and relative humidity data were collected using DS1923-F5 loggers in pine-broadleaf, birch-pine and larch forest located at altitudes of 631, 831 and 966,46 m msl, respectively. No abnormal winter temperatures were observed during the study period. The duration of the frost-free period was 157 days in the pine-broadleaf forest, 151 days in the birch-pine forest and 143 days in the larch forest. In the summer period of 2021 there was a summer drought, which was manifested to an equal extent in the sample plots in pine-birch and larch forest and to a lesser extent in pine-broadleaved forest. In the rainfall-normal year 2022, humidity content was significantly higher in pine-birch forest than in larch forest. Thus, the factors influencing the distribution of broad-leaved species at present may be the humidity regime and shorter frost-free period above the boundary of their current distribution. Further monitoring using loggers is needed to make a final conclusion on the contribution of individual factors to the current distribution of broad-leaved species.

*Keywords:* temperature and humidity data-loggers ♦ Southern Urals ♦ pine-broadleaf forests

*Поступила в редакцию:* 12.09.2023

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-166-174](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-166-174)

EDN: [MYOYCT](https://www.edn.ru/entry/10.31163/2618-964X-2023-6-3-166-174)



## ВВЕДЕНИЕ

Широколиственные леса — достаточно типичный тип растительности на Русской равнине и в Предуралье [Широких и др., 2021]. Их граница проходит по Южному Уралу [Горчаковский, 1968; Федоров и др., 2021] и хребет Большой Шатак стал естественной физико-географической границей распространения многих видов неморального комплекса. Это связано с тем, что он является преградой на пути влажных и теплых атлантических воздушных масс. Таким образом, на Южном Урале есть стык разных лесных биомов, породивший экотонный эффект регионального масштаба, который проявляется во взаимопроникновении в растительные сообщества видов трех флороценологических комплексов — неморального, бореального и гемибореального, и повышении за счет этого видового богатства сообществ лесов [Горчаковский, 1972]. На стыке широколиственных и березово-сосновых лесов встречаются экотонные лесные сообщества подсоюза *Tilio-Pinienion*, в состав которых входят кроме сосны еще и широколиственные древесные виды *Tilia cordata*, *Quercus robur*, *Acer platanoides*, *Ulmus laevis* (преимущественно во втором ярусе) [Широких и др., 2021]. Распространение широколиственных и сосново-широколиственных лесов на Южном Урале было наибольшим в середине голоцена, в период более теплого и влажного климата [Горчаковский, 1968; Хотинский и др., 1982].

В связи с изменением климата отмечается увеличение среднегодовых температур, причем наиболее существенные изменения происходят в высоких широтах и высокогорных регионах мира. На Южном Урале по данным метеостанции «Башгосзаповедник» с 1930 по 2015 гг. среднегодовая температура повысилась на 1,3 °С, в Верхнеуральске — на 1,1 °С. Существенный рост температуры, а также количества выпадающих осадков произошло наиболее заметно в холодное время года. В летнее время после 2000 г. повысилось количество экстремально высоких температур, при этом наблюдается уменьшение количества и продолжительности низких отрицательных температур в зимний период [Гайсин и др., 2020].

Изменение климата приводит к увеличению площадей распространения широколиственных видов и экотонных сообществ с их участием на Южном Урале [Федоров и др., 2021]. Существующее распространение широколиственных видов в горно-лесной зоне определяется не только комплексом климатических факторов, но и историческими причинами, т.к. изменение климата опережает изменение распространения древесных видов, вследствие длительности их жизненного цикла. В целом эта особенность может обеспечивать устойчивость экотонных сообществ к климатическим флюктуациям [Горчаковский, 1972; Мартыненко и др., 2007; Booth, 2018; Loehle, 2018]. Реакции растительности на глобальное потепление будут самыми быстрыми и наиболее выраженными в пограничных экосистемах, где климатические и почвенные условия быстро меняются на относительно коротком расстоянии, превышая критические пороги в высоких широтах и высотных системах. Таким образом, увеличение температуры воздуха на несколько градусов может вызвать сдвиг климатических границ на сотни метров по высоте [Moiseev et al., 2022].

Сосново-широколиственные леса являются достаточно редким типом растительных сообществ, в связи с чем необходимо изучение связи распространения этих экотонных экосистем с характеристиками среды местообитания, для чего представляет интерес использование прямых измерений температуры и влажности с использованием логгеров [Аненхонов и др., 2014; Moiseev et al., 2022]. Логгеры широко используются при изучении неоднородности микроклимата, для оценки климатических ниш многих организмов и их реакции на происходящее изменение климата [Wild et al., 2019]; для отслеживания местных температур для ориентации на краткосрочные и долгосрочные меры реагирования в районах с наиболее экстремальными температурами [Mallen et al., 2020]; сравнения микроклиматических условий [Olden et al., 2019]; изучения микроклимата возобновляющихся лесов [Baker et al., 2014]; изучения влияния различных корковых лишайников на микроклимат [van Zuijlen et al., 2020].

**Целью** настоящей работы являлось изучение изменения температуры и влажности в сосново-широколиственных и других типах леса вдоль высотного градиента на горном хребте Большой Шатак от подножия горы до верхней границы распространения леса.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на юго-восточном склоне хребта Большой Шатак. Хребет расположен в центральной части Южного Урала в зоне распространения березово-сосновых лесов. Его максимальная высота составляет 1271 м над у. м., а высота у подножия горы — 420 м. На высотном градиенте экотонные сосново-широколиственные сообщества подсоюза *Tilio cordatae-Pinenion sylvestris* Shirokikh et al. 2021 (союз *Aconito lycoctoni-Tilion cordatae* Solomeshch et Grigoriev in Willner et al. 2016) последовательно замещаются на березово-сосновые леса союза *Trollio europaei-Pinon sylvestris* Fedorov in Ermakov et al. 2000, а затем на лиственничные леса ассоциации *Lathyro gmelinii-Laricetum sukaczewii* Ishbirdin et al. 1996 (подсоюз *Aconito septentrionalis-Piceon obovatae* Martynenko et al. 2008, союз *Aconito septentrionalis-Piceon obovatae* Martynenko et al. 2008).

Нижний лесной пояс занимают преимущественно сосново-широколиственные леса подсоюза *Tilio cordatae-Pinenion sylvestris* с доминированием *Pinus sylvestris* в первом ярусе, широколиственными древесными видами во втором и третьем подъярусах и участием в травяном ярусе видов типичных как для неморальных лесов, так и для гемибореальных светлохвойных травяных лесов сибирского типа [Широких и др., 2021]. Средняя высота древостоя составляет 20-22 м. Проективное покрытие древостоя с учетом хорошо развитого подлеска из широколиственных пород достигает 80%. В травостое обычно преобладают *Aegopodium podagraria*, *Calamagrostis arundinacea*, содоминируют *Stellaria holostea*, *Rubus saxatilis*, *Brachypodium pinnatum*, *Galium odoratum*, *Asarum europaeum*, *Viola mirabilis*.

Среднюю часть хребта занимают гемибореальные вейниково-коротконожковые березово-сосновые леса союза *Trollio europaei-Pinon sylvestris*. В древесном ярусе сообществ большую долю в составе древостоя имеет *Betula pendula*, реже *Betula pubescens*. Часто развит второй подъярус, образованный преимущественно березой, и подлесок, в котором с небольшим покрытием, но с высоким постоянством встречаются *Sorbus aucuparia* и *Padus avium*. Проективное покрытие древесного яруса варьирует обычно от 50 до 70 %, в среднем – 60 % (в редких случаях опускается до 40 %). Средняя высота древостоя составляет 18-20 м. Травяной ярус хорошо развит и имеет проективное покрытие от 50 до 80 %, в среднем 70 % (в редких случаях 40 %). Доминирует *Calamagrostis arundinacea*, содоминируют *Aegopodium podagraria*, *Brachypodium pinnatum* и *Rubus saxatilis*.

В верхней части хребта распространены редкостойные лиственничные леса ассоциации *Lathyro gmelinii-Laricetum sukaczewii* (подсоюз *Aconito septentrionalis-Piceon obovatae*). В сложении древесного яруса сообществ ассоциации принимают участие *Larix sukaczewii* Dylics, высота которых достигает 18-20 м. Древостой как правило разреженный. Его проективное покрытие, в среднем, составляет 45 %. В составе кустарникового яруса обычен *Rubus idaeus*. В травяном ярусе преобладают *Aconitum lycoctonum*, *Aconogonon alpinum* и *Calamagrostis arundinacea*. Проективное покрытие травяного яруса составляет 60-70 %. Сообщества лиственничных лесов часто граничат с березовым криволесьем и высокотравными субальпийскими лугами, поэтому в их составе наблюдается значительное участие видов класса субальпийских лугов и редколесий класса *Mulgedio-Aconitetea* Nadac et Klika in Klika et Nadac 1944.

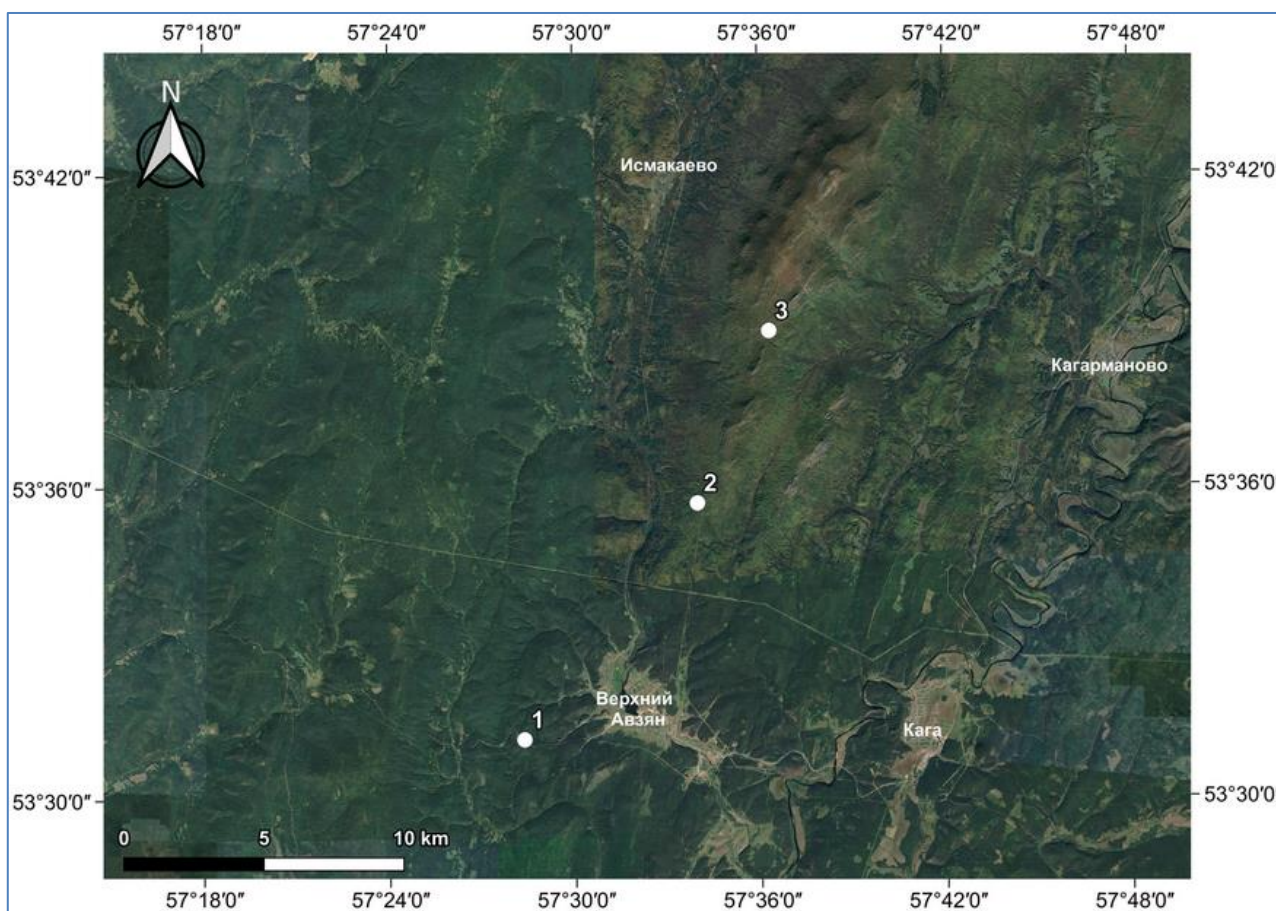
Характеристика участков, на которых установлены логгеры приведено в таблице 1. На каждом модельном участке было установлено по одному датчику, их расположение на склоне показано на рисунке 1.

В каждом типе сообществ с 15.03.2021 по 24.09.2022 гг. проводился сбор данных по параметрам микроклимата окружающей среды с использованием логгеров температуры и относительной влажности DS1923-F5 (Maxim Integrated Products, Inc., USA). Используемые логгеры имеют

высокоэкономичный двухканальный микроконтроллер с полупроводниковым датчиком температуры, и датчиком относительной влажности. В комплект входят литиевая батарея и память до 8192 измерений, герметично размещенные в дисковом корпусе (<https://www.maximintegrated.com/an4126>). Логгер представляет собой “таблетку”- термогигрограф с эксплуатационным температурным диапазоном от -20°C до +85°C, с погрешностью регистрации от ±0,6°C до ±0,8°C и диапазоном регистрации относительной влажности от 0% RH до 100% RH, с погрешностью регистрации ±5% RH. Регистрация показателей температуры и влажности проводилась 2 раза в сутки — в наиболее теплый (15 часов дня) и холодный (3 часа ночи) периоды. Датчики устанавливались на высоте 120 см на северной стороне стволов деревьев.

**Таблица 1. Характеристика модельных участков, на которых были установлены логгеры**

№	Растительные сообщества	Старт наблюдений	Географические координаты в системе WGS-84, Координаты	Высота над уровнем моря, м	Рельеф: уклон (в градусах), крутизна
1.	Сосново-широколиственный лес	15.03.21	53°31'9" с.ш. 57°28'21" в.д.	631,00	7,21°
2.	Березово-сосновый лес	15.03.21	53°35'41" с.ш. 57°33'59" в.д.	831,00	11,76°
3.	Лиственничный лес	15.03.21	53°38'59" с.ш. 57°36'20" в.д.	966,46	5,44°



**Рис. 1. Расположение модельных участков. Обозначения: 1 — сосново-широколиственный лес; 2 — березово-сосновый лес; 3 — лиственничный лес.**

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Одной из важных температурных характеристик местообитаний является дата устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C. В нижней части склона на пробной площади 1 в сосново-широколиственном лесу дата устойчивого перехода среднесуточной температуры наступала соответственно на 8 и 13 дней раньше, чем в березово-сосновом и лиственничном лесах (табл. 2). Даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C осенью на этих пробных площадях отличались от пробной площади в сосново-широколиственном лесу на 8 дней. Таким образом, продолжительность безморозного периода в сосново-широколиственном лесу была на 2-3 недели длиннее, чем на пробных площадях, расположенных выше по склону (табл. 2). При этом, продолжительность безморозного периода в сосново-широколиственном и березово-сосновом различалась на 6 дней, а в сосново-широколиственном и лиственничном лесах продолжительность безморозного периода различалась на 2 недели. Среднее значение максимальной температуры в июле вдоль высотного градиента снижалась на 3 °С.

На двух пробных площадях наблюдения проводились в течение 2-х лет. На рисунках 2, 3 показана динамика среднесуточных температур за период с марта по сентябрь 2021 и 2022 гг. в березово-сосновом и лиственничном лесах. В обоих типах леса межгодовая изменчивость имеет сходный характер. Наибольшая межгодовая изменчивость на обеих пробных площадях наблюдается в мае и в середине июня.

На рисунке 4 приведены результаты измерений логгерами влажности на модельных участках. До середины июня 2021 влажность на исследуемых участках леса практически не различалась. Далее до 15 октября на пробной площади в сосново-широколиственном лесу отмечаются более высокие значения влажности по сравнению с пробными площадями в березово-сосновом и лиственничном лесах. В летний период 2021 г. влажность в березово-сосновом и лиственничном лесах практически не различалась, а в зимний период она была ниже в лиственничных лесах. В целом, эта же тенденция сохранялась в течение 2022 г.

**Таблица 2. Климатические показатели на пробных площадях под пологом леса в период с 15.03.21 по 28.02.22. гг.**

№	Тип леса, в котором проводились измерения температуры	Продолжительность безморозного периода	Среднее значение максимальной температуры в июле, °С	Среднее значение минимальной температуры в январе, °С*	Даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C	
					весна	осень
1.	Сосново-широколиственный лес	157	32	-	25.03.21	03.11.21
2.	Березово-сосновый лес	151	30,25	-17,5	02.04.21	26.10.21
3.	Лиственничный лес	143	29	-18,5	07.04.21	26.10.21

\*Средняя минимальная температура в январе для пробных площадей в березово-сосновом и лиственничном лесах рассчитывалась по 2021 и 2022 гг., а для сосново-широколиственного леса — только по 2021.



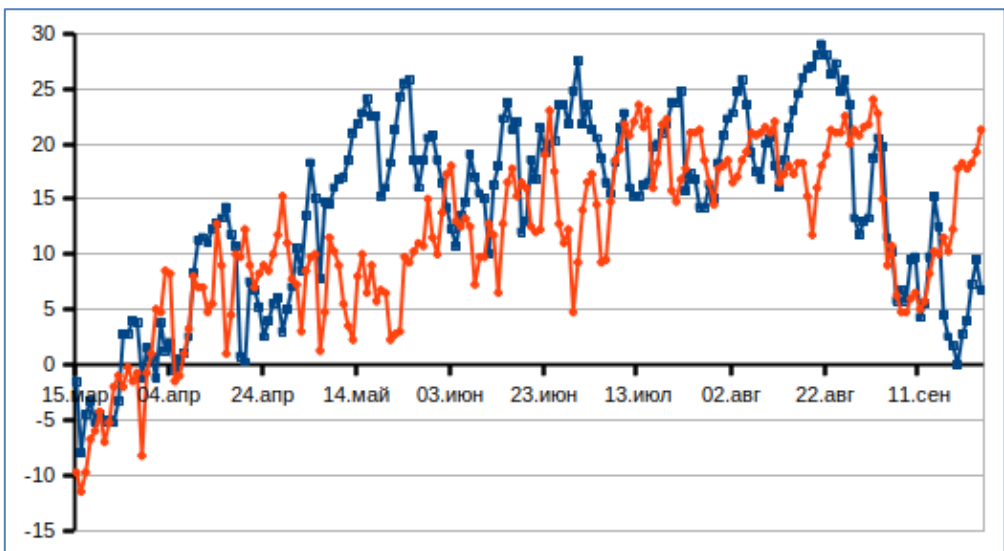


Рис. 2. Динамика среднесуточных температур в период с 15.03.21 по 24.09.22 гг. на пробной площади 2 в березово-сосновом лесу. Синяя линия — 2021 г., красная — 2022 г.

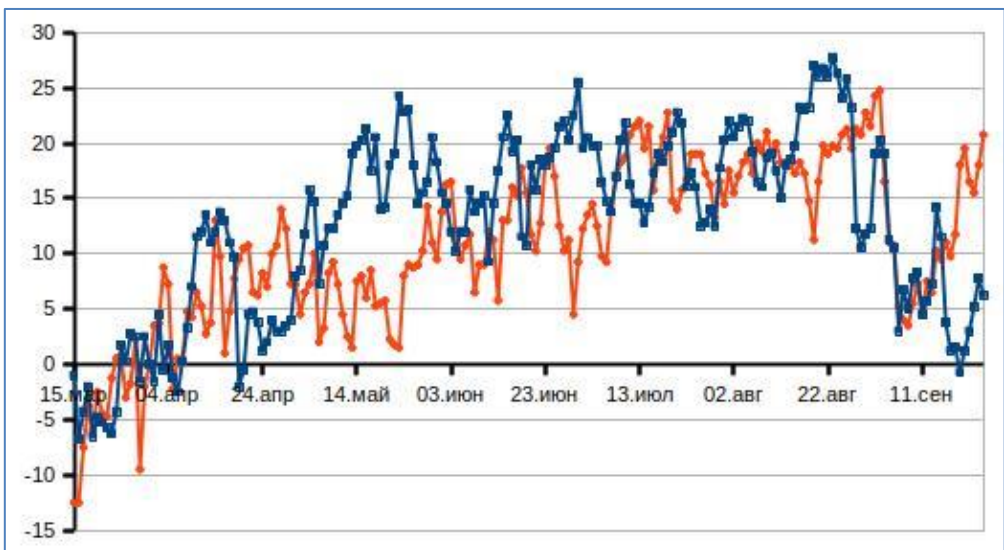


Рис. 3. Динамика среднесуточных температур в период с 15.03.21 по 24.09.22 гг. на пробной площади 3 в лиственничном лесу. Синяя линия — 2021 г., красная — 2022 г.

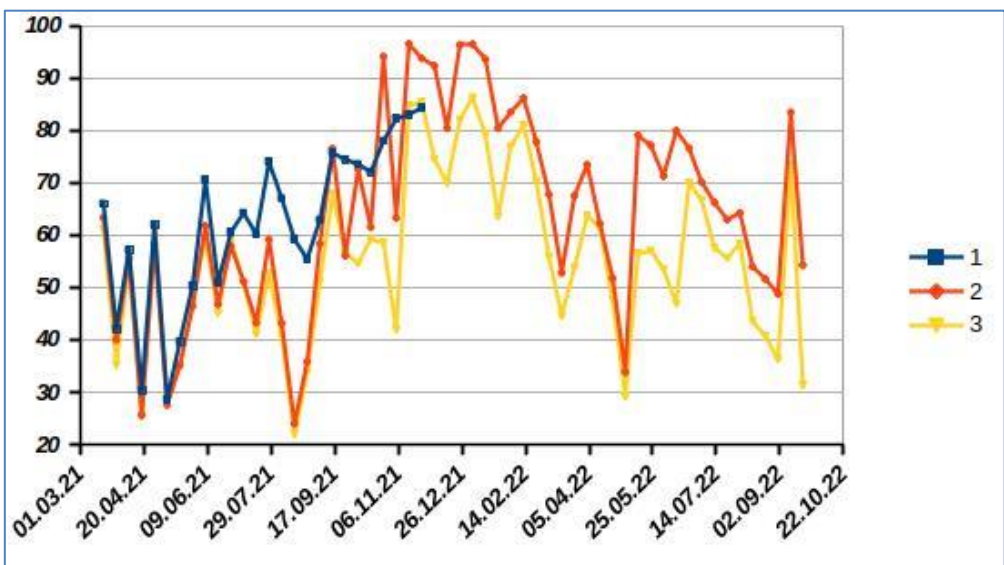


Рис. 4. Динамика влажности на модельных участках по данным измерений логгерами. Обозначения: 1 — сосново-широколиственный лес; 2 — березово-сосновый лес; 3 — лиственничный лес.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В сосново-широколиственном лесу широколиственные древесные виды (прежде всего *Tilia cordata*) выходят во второй ярус древостоя, а в выше расположенном в березово-сосновом лесу они присутствуют только в подросте. В еще выше расположенном в лиственничном лесу широколиственные виды отсутствуют. Причины этого распределения широколиственных видов на высотном градиенте могут быть связаны с температурным режимом, влажностью и историческими факторами, так как до 80 годов прошлого века отмечались регулярные экстремально-холодные зимы, которые вызывали морозобоины на взрослых деревьях липы, дуба и клена. Кроме того, определенную роль в ослаблении состояния широколиственных деревьев могли играть весенние заморозки, повреждающие распускающиеся листья [Augsburger et al., 2013; Bascietto et al., 2018]. Влияние летних засух, после которых часто возникали вспышки насекомых-вредителей также могли снижать распространение широколиственных видов деревьев на границе их ареала [Кучеров и др., 2023; Федоров и др., 2021]. При этом мелкий подрост мог сохраняться за счет «буферного эффекта», обусловленного пологом леса, который ранее отмечался в литературе [Аненхонов и др., 2014, 2021; Moiseev et al., 2022].

В период проведения исследования аномальных зимних температур не наблюдалось и зимние температуры не являлись лимитирующим фактором распространения широколиственных древесных видов. Летом 2021 года температура была выше, чем в 2022 году и наблюдалась летняя засуха, влияние которой отразилось на показаниях влажности даже под пологом леса. В летний период 2021 года она проявлялась в равной степени на пробных площадях в березово-сосновом и лиственничном лесах и в меньшей степени в сосново-широколиственном лесу. В нормальный по количеству осадков 2022 год влажность в березово-сосновом лесу была существенно выше, чем в лиственничном. Таким образом, факторами влияющими на распределение широколиственных видов в настоящее время могут быть режим увлажнения и более короткий безморозный период выше границы их современного распространения. Двух лет наблюдений оказалось недостаточным для выявления температурных различий в растительных сообществах. Однако, исходя из снижения температуры вверх по склону можно предположить, что выше границы распространения широколиственных видов весенние заморозки будут более выраженными. Кроме того, одним из ведущих факторов в конце двадцатого века были экстремальные зимние температуры [Федоров и др., 2021], после прекращения которых широколиственные виды еще не успели подняться вверх по склону, т.к. основное распространение семян широколиственных видов ветром и талыми водами происходит вниз по склону. Для окончательного вывода о вкладах отдельных факторов в современное распространение широколиственных видов необходимо продолжить мониторинг температуры и влажности с одновременной оценкой состояния этих видов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Текущие климатические изменения предполагают увеличение температуры воздуха и количества зимних осадков при снижении летних осадков [The Third Assessment Report, 2022]. Это позволяет предположить дальнейшее распространение широколиственных видов в центральной части Южного Урала. Растущая аридизация климата может препятствовать поднятию границы распространения широколиственных древесных видов на высоких хребтах, таких как Большой Шатак. При этом наблюдаемое увеличение распространения хвойных видов на высотном градиенте будет усиливаться.

## ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (№ 22-14-00003).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аненхонов О.А., Лю Х., Ху Г., Бадмаева Н.К. Мониторинг гидротермических условий в экспозиционной лесостепи Западного Забайкалья // Вестник Бурятского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. 2014. №.3. С. 255-263.
2. Аненхонов О.А. Растительность лесостепных ландшафтов Бурятии: эколого-фитоценотическая оценка и особенности гидротермики ее местообитаний // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии. 2021. С. 25-27.
3. Гайсин И.К., Моисеев П.А., Махмутова И.И., Низаметдинов Н.Ф., Моисеева О.О. Экспансия древесной растительности в экотоне лес–горная степь на Южном Урале в связи с изменениями климата и влажности местообитаний // Экология. 2020. №. 4. С. 251-264. [DOI: 10.31857/S0367059720040071](https://doi.org/10.31857/S0367059720040071)
4. Горчаковский П.Л. Растения европейских широколиственных лесов на Восточном пределе их ареала. Свердловск: Акад. наук СССР. Уральский филиал. Труды института экологии растений и животных, 1968. 207 с.
5. Горчаковский П.Л. Широколиственные леса и их место в растительном покрове Южного Урала. М.: Наука, 1972. 146 с.
6. Кучеров С.Е., Кучерова С.В., Мартыненко В.Б., Вельмовский П.В. Климатический сигнал в годичных слоях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на юго-восточной границе его ареала в бассейне р. Урал // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. №. 1 (66). С. 34-45. [DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-34-45](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-1-34-45)
7. Мартыненко В.Б., Широких П.С., Султангареева Л.А., Миркин Б.М. Вклад экотонного эффекта в фиторазнообразии широколиственных лесов Южного Урала // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2007. Т. 112. №. 4. С. 37-41.
8. Федоров Н.И., Мартыненко В.Б., Жигунова С.Н., Михайленко О.И., Шендель Г.В., Наумова Л.Г. Изменение распространения широколиственных древесных видов в центральной части Южного Урала со второй половины XX в // Экология. 2021. №. 2. С. 103-111.
9. Широких П.С., Мартыненко В.Б., Баишева Э.З., Федоров Н.И., Мулдашев А.А., Наумова Л.Г. Разнообразие широколиственных и сосново-широколиственных лесов на восточной границе их распространения // Растительность России. 2021. №. 42. С. 63-117.
10. Хотинский Н.А., Немкова В.К., Сурова Т.Г. Главные этапы развития растительности и климата Урала в голоцене // Вопросы археологии Урала. Вып. 16. 1982. С. 145-153.
11. Augspurger C.K. Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: spring damage risk is increasing // Ecology. 2013. V. 94. P. 41–50. [DOI: 10.1890/12-0200.1](https://doi.org/10.1890/12-0200.1)
12. Baker T.P., Jordan G.J., Steel E.A., Fountain-Jones N.M., Wardlaw T.J., Baker S.C. Microclimate through space and time: microclimatic variation at the edge of regeneration forests over daily, yearly and decadal time scales // Forest Ecology and Management. 2014. V. 334. P. 174-184. [DOI: 10.1016/j.foreco.2014.09.008](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.008)
13. Bascietto M., Bajocco S., Mazzenga F., Matteuccid G. Assessing spring frost effects on beech forests in Central Apennines from remotely-sensed data // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. V. 248. P. 240–250. [DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.10.007](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.007)



14. Booth T.H. Species distribution modelling tools and databases to assist managing forests under climate change // *Forest Ecology and Management*. 2018. V. 430. P. 196–203. DOI: [10.1016/j.foreco.2018.08.019](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.019)
15. Loehle C. Disequilibrium and relaxation times for species responses to climate change // *Ecological Modelling*. 2018. V. 384. P. 23-29. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2018.06.004](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.06.004)
16. Mallen E., Bakin J., Stone B., Sivakumar R., Lanza K. Thermal impacts of built and vegetated environments on local microclimates in an Urban University campus // *Urban Climate*. 2020. V. 32. Article 100640. DOI: [10.1016/j.uclim.2020.100640](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100640)
17. Moiseev P.A., Hagedorn F., Balakin D.S., Bubnov M.O., Devi N.M., Kukarskih V.V., Grigoriev A.A. Stand biomass at treeline ecotone in Russian Subarctic Mountains is primarily related to species composition but its dynamics driven by improvement of climatic conditions // *Forests*. 2022. V. 13. №. 2. Article 254. DOI: [10.3390/f13020254](https://doi.org/10.3390/f13020254)
18. Olden A., Peura M., Saine S., Kotiaho J.S., Halme P. The effect of buffer strip width and selective logging on riparian forest microclimate // *Forest Ecology and Management*. 2019. V. 453. Article 117623. DOI: [10.1016/j.foreco.2019.117623](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117623)
19. The Third Assessment Report on Climate Change and its Consequences on the territory of the Russian Federation, Moscow: Rosgidromet, 2022.
20. van Zuijlen K., Roos R.E., Klanderud K., Lang S.I., Asplund J. Mat-forming lichens affect microclimate and litter decomposition by different mechanisms // *Fungal Ecology*. 2020. V. 44. Article 100905. DOI: [10.1016/j.funeco.2019.100905](https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.100905)
21. Wild J., Kopecky M., Macek M., Sanda M., Jankovec J., Haase T. Climate at ecologically relevant scales: A new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019. V. 268. P. 40-47. DOI: [10.1016/j.agrformet.2018.12.018](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.12.018)

Цитировать как

Габбасова Д.Т., Широких П.С., Бикбаев И.Г., Федоров Н.И. Изменение температуры и влажности в лесных сообществах вдоль градиента высоты на горе Большой Шатак // *Экобиотех*, 2023, Т. 6 № 3. С. 166-174. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-166-174](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-166-174), EDN: MYOYCT

Cited as

Gabbasova D.T., Shirokikh P.S., Bikbaev I.G., Fedorov N.I. Temperature and moisture changes in forest communities along the elevation gradient on Bolshoi Shatak mountain. *Ekobiotech*. 2023, V. 6 (3). P. 166-174. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-166-174](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-166-174), EDN: MYOYCT (In Rus.)