**Региональные и видовые особенности реакции деревьев на климатические изменения в лесотундре Северной ЕвразиИ**

**Акулинина Кристина Васильевна, Арсак Альберто**

Институт экологии и географии, Сибирский федеральный университет, 660041, Россия, Красноярский край, г. Красноярск

E - mail: [kbogdanova@sfu - kras.ru](mailto:kbogdanova@sfu-kras.ru)

**REGIONAL AND SPECIES FEATURES OF TREES' RESPONSE TO CLIMATE CHANGE IN THE FOREST - TUNDRA OF NORTHERN EURASIA**

**Akulinina Kristina Vasilievna, Arzac Alberto**

Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, 660041, Russia, Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk

E - mail: [kbogdanova@sfu - kras.ru](mailto:kbogdanova@sfu-kras.ru)

Лесотундровый экотон Северной Евразии, простирающийся от западных границ России до её крайнего северо - востока, подвергается значительным изменениям из - за ускоренного арктического потепления. Этот процесс, протекающий почти в четыре раза быстрее глобального уровня, вызывает сдвиги в распределении древесной растительности, её структуре и функционировании, что влияет на биоразнообразие и углеродный цикл региона. Особенно заметны изменения в зоне сплошной мерзлоты, где деревья сталкиваются с экстремальными условиями короткого вегетационного периода, низких температур и переменной глубины активного слоя почвы. Понимание того, как разные виды хвойных адаптируются к этим условиям, важно для оценки их устойчивости и прогнозирования будущих экологических трансформаций.

Целью исследования было изучение региональных и видовых особенностей реакции радиального прироста хвойных на климатические факторы вдоль широтного градиента в лесотундре. Мы стремились выявить различия в чувствительности деревьев к температуре и осадкам, а также оценить, как эти различия могут повлиять на их распределение и конкурентные взаимодействия в условиях потепления. Анализ охватил период 1966 - 2021 гг., что позволило проследить долговременные тренды.

Объектами исследования выступили четыре вида хвойных: *Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*, *Larix gmelinii* и *Larix cajanderi*. Пробы собирались на пяти участках в зоне сплошной мерзлоты: Apatity (**APA**, Кольский полуостров) для *P. sylvestris*; Polar Urals (**PUR)** для *L. sibirica*; Khatanga (**KHA**) для *L. gmelinii*; Chokurdakh (**CHO**) и Bilibino (**BIL**) для *L. cajanderi*. Всего было отобрано 137 деревьев с использованием 5 - мм бура на высоте 1,3 м. Радиальный прирост измерялся с помощью CooRecorder, хронологии строились в ARSTAN, а корреляционный анализ проводился с месячными данными температуры и осадков от метеостанций (Kandalaksha, Salekhard, Khatanga, Chokurdakh, Ostrovnoye). Для оценки временной динамики применялись скользящие корреляции с 25 - летним окном.

Результаты показали выраженные региональные и видовые различия в реакции на климат. На западном участке **APA** *P. sylvestris* демонстрировала сильную зависимость от июльских температур (r = 0,41, *p <* 0,01), что связано с более мягким климатом, отсутствием сплошной мерзлоты и глубоким активным слоем (1 - 2 м). В центральных и восточных районах (**PUR**, **KHA**, **CHO**, **BIL**) лиственницы реагировали преимущественно на июньское тепло, с максимальными корреляциями на **PUR** (r = 0,54) и **KHA** (r = 0,43, *p <* 0,01), что отражает их адаптацию к короткому сезону и быстрому развертыванию листвы. На **CHO** и **BIL** влияние июня было чуть слабее (r = 0,24 - 0,41), вероятно, из - за экстремальной континентальности. Осадки оказывали слабое влияние, хотя на **APA** и **BIL** зафиксированы редкие положительные эффекты, возможно, связанные с локальной гидрологией. Скользящие корреляции выявили нестабильность: на **CHO** температурный сигнал ослаб после 1980 - х (r < 0,20), тогда как на **BIL** он усилился (r = 0,55 к 2021 г.), что указывает на адаптивные сдвиги.

Обсуждение подтверждает, что физиология видов определяет их климатическую чувствительность. ***P. sylvestris***, как вечнозелёный вид, использует более длинный сезон, что объясняет её реакцию на июль [1]. Лиственницы, будучи листопадными, зависят от раннего лета, что критично в условиях мерзлоты [2]. Слабое влияние осадков связано с достаточностью снеготаяния, но локальные эффекты на **APA** и **BIL** намекают на возможные изменения гидрологии при таянии мерзлоты. Эти различия подчёркивают разнообразие адаптивных стратегий и потенциал для сдвигов в распределении видов.

Выводы исследования заключаются в том, что климатическая реакция хвойных в лесотундре варьирует по регионам и видам: *P. sylvestris* чувствительна к июлю, а *Larix spp*. - к июню. Это отражает их экологические ниши и может привести к изменениям в конкуренции и структуре сообществ при дальнейшем потеплении.

**Ключевые слова:** потепление, хвойные виды, вечная мерзлота, лесотундра, радиальный рост.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации [ФСРЗ - 2020 - 0014].

**Список литературы**

1. Kirdyanov A. V., Treydte K. S., Nikolaev A. et al. Climate signals in tree - ring width, density and δ13C from larches in Eastern Siberia (Russia) // Chemical Geology 252. 2008. С. 31 - 41.
2. Bonan G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests // Science. 2008. № 320. С. 1444 - 1449.

**REGIONAL AND SPECIES FEATURES OF TREES' RESPONSE TO CLIMATE CHANGE IN THE FOREST-TUNDRA OF NORTHERN EURASIA**

**Akulinina Kristina Vasilievna, Arzac Alberto**

Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, 660041, Russia, Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk

E - mail: [kbogdanova@sfu - kras.ru](mailto:kbogdanova@sfu-kras.ru)

**Региональные и видовые особенности реакции деревьев на климатические изменения в лесотундре Северной ЕвразиИ**

**Акулинина Кристина Васильевна, Арсак Альберто**

Институт экологии и географии, Сибирский федеральный университет, 660041, Россия, Красноярский край, г. Красноярск

E - mail: [kbogdanova@sfu - kras.ru](mailto:kbogdanova@sfu-kras.ru)

The forest-tundra ecotone of Northern Eurasia, stretching from the western borders of Russia to its far northeast, is undergoing significant transformations due to accelerated Arctic warming. This process, occurring nearly four times faster than the global average, is driving shifts in the distribution, structure, and functioning of woody vegetation, impacting regional biodiversity and the carbon cycle. Changes are particularly pronounced in the continuous permafrost zone, where trees face extreme conditions such as a short growing season, low temperatures, and variable soil active layer depths. Understanding how different conifer species respond to these challening conditions is crucial for assessing their resilience and predicting future ecological transformations.

This study aimed to investigate the regional and species-specific responses of radial tree growth to climatic factors along a longitudinal gradient in the forest–tundra ecotone of Northern Russia. The focus was on identify differences in tree sensitivity to temperature and precipitation and to evaluate how these variations might influence their distribution under warming conditions. The analysis spanned the period from 1966 to 2021, allowing for the assessment of long-term trends.

The study focused on four conifer species: *Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*, *Larix gmelinii*, and *Larix cajanderi*., across five sites within the continuous permafrost zone. Sampling sites included Apatity (**APA**, Kola Peninsula) for *P. sylvestris*; Polar Urals (**PUR**) for *L. sibirica*; Khatanga (**KHA**) for *L. gmelinii*; and Chokurdakh (**CHO**) and Bilibino (**BIL**) for *L. cajanderi*. A total of 137 trees were sampled using a 5 - mm increment borer. Tree-ring width (TRW) was measured using CooRecorder, and chronologies were constructed using ARSTAN. Correlation analyses were performed between TRW and monthly temperature and precipitation data from nearby weather stations (Kandalaksha, Salekhard, Khatanga, Chokurdakh, Ostrovnoye), while 25-year moving correlations were applied to assess temporal dynamics in the climate signals.

The results revealed distinct regional and species-specific responses to climate. At the western site **APA**, *P. sylvestris* exhibited a strong dependence on July temperatures (r = 0.41, *p <* 0.01), likely due to milder climatic conditions, the absence of continuous permafrost, and a deeper active layer (1–2 m). In the central and eastern regions (**PUR**, **KHA**, **CHO**, **BIL**), *Larix* species responded predominantly to June temperatures, with the highest correlations at **PUR** (r = 0.54, *p <* XXX) and **KHA** (r = 0.43, *p <* 0.01), reflecting their adaptation to a short growing season and rapid foliage deployment. At **CHO** and **BIL**, the June effect was slightly weaker (r = 0.24–0.41, *p <* XXX), possibly due to extreme continentality. Precipitation had a minor influence, though positive effects were noted at **APA** and **BIL**, potentially related to local hydrology. Moving correlations indicated instability in climatic sensitivity icer time. At **CHO**, the temperature signal weakened after the 1980s (r < 0.20), while at **BIL** it strengthened (r = 0.55 by 2021), suggesting adaptive shifts to warming conditions.

These findings highlight the role of species physiology in shaping climatic sensitivity. As an evergreen, *P. sylvestris* benefits from an extended growing season, explaining its response to July temperatures [1]. In contrast, the deciduous *Larix* species rely on early summer temperatures, critical in regions under permafrost conditions [2]. The generally weak effect of precipitations aligns with the availability of moisture from snowmelt, though localized effects at **APA** and **BIL** suggest that permafrost thaw may be altering hydrological regimes . These differences underscore the diversity of adaptive strategies among conifers and the potential for shifts in species distribution under continued warming.

In conclusion, the climatic responses of conifers in the forest-tundra ecotone vary by region and species, with *P. sylvestris* showing sensitivity to July temperatures, while *Larix* species responding to June temperatures. These patterns reflect their ecological niches and may lead to changes in competition and community structure as Arctic warming progress.

**Key words:** warming, coniferous species, permafrost, forest - tundra, radial growth.

This work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation [FSRZ-2020-0014].

**References**

1. Vaganov E. A., Hughes M. K., Kirdyanov A. V. et al. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // Nature. 1999. № 400. С. 149 - 151.
2. Kirdyanov, A.V., Prokushkin, A.S., Tabakova, M.A., 2013. Tree - ring growth of Gmelin larch under contrasting local conditions in the north of Central Siberia. Dendrochronologia, 114 - 119.
3. Overland, J.E., Wang, M., Walsh, J.E., Stroeve, J.C., 2019. Future Arctic climate changes: Adaptation and mitigation timescales. Earth’s Future 7, 111 - 123.