

• *Taganai – Dendroecology – Carbon turnover – Climate change*

**Markus van der Meer** (St. Aubin), **Frank Hagedorn**, **Fritz H. Schweingruber**,  
**Andreas Rigling** (Birmensdorf) und **Pavel A. Moiseev** (Jekaterinburg)

## **Dynamik der alpinen Waldgrenze im südlichen Ural (Russland)**

*Alpine Timberline Dynamics in the Southern Urals (Russia)*

Mit 11 Figuren und 2 Tabellen

Ökotope an der oberen und nördlichen Waldgrenze gelten als besonders sensitiv gegenüber Veränderungen des Klimas. Fluktuationen der Waldgrenze werden daher häufig als Bioindikation für die globale Klimaerwärmung herangezogen. Die Hauptschwierigkeit vieler dieser Waldgrenzuntersuchungen besteht in der Überlagerung von gleichgerichteten, sich gegenseitig beeinflussenden Faktorenkomplexen, wie der Klimaerwärmung und Veränderungen der Landnutzung. In Gebirgssystemen mit jahrhundertelanger menschlicher Beeinflussung, wie z.B. die Europäischen Alpen oder die zentralasiatischen Hochgebirge, lassen sich daher die Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Dynamik der Waldgrenze nur bedingt nachweisen. Die Gipfelregionen des Urals sind für solche Untersuchungen überaus geeignet, da sie weitgehend vom Menschen unberührt sind und die Waldgrenze großflächig ansteigt. Im Südural, am Dalnii Taganai, ist die Waldgrenze in den vergangenen dreihundert Jahren um 100 Höhenmeter angestiegen. Besonders markant war der Anstieg während des letzten Jahrhunderts, bei einem deutlichen Anstieg hauptsächlich der Winter- und Frühjahrestemperaturen.

*Zusammenfassung: Dynamik der alpinen Waldgrenze im südlichen Ural (Russland)*

Waldgrenzökotope bieten ideale Voraussetzungen zur Untersuchung der klimabedingten Verschiebung von Vegetationszonen, da hier das Wachstum der Pflanzen hauptsächlich temperaturlimitiert ist. Der Gipfel des Dalnii Taganai, südlicher Ural, Russland, eignet sich zur Untersuchung natürlicher, nicht direkt vom Menschen beeinflusster walddynamischer Prozesse, da er – bis auf einen sehr leichten touristischen Einfluss – weder land- noch forstwirtschaftlich genutzt wurde. Die Untersuchung umfasste sechs Testflächen entlang eines Hangtransektes: eine in der Bergtundra, zwei im Waldgrenzökoton und drei im geschlossenen Wald. Es wurden rund 300 Bohrkern von Bäumen, acht Bodenprofile und 85 ergänzende Bodenproben ausgewertet. Die auf den Testflächen hauptsächlich angetroffenen Gehölzarten sind: *Picea abies ssp. obovata* (Ledeb.) Hulten, *Betula pubescens ssp. tortuosa* (Ledeb.) Nyman, *Sorbus aucuparia L. ssp. sibirica* (Hedl.) Krylov, und *Juniperus communis L. ssp. alpina*

(Suter). Die Krautschicht der Bergtundra und des Waldgrenzökotons ist eine alpine Zwergstrauchheide, jene des geschlossenen Waldes eine subalpine Hochstaudenflur. Die klimatische Datengrundlage besteht aus Temperatur- und Niederschlagsdaten zweier Klimastationen. Die mittleren Winter- und Frühjahrestemperaturen sind seit Ende des 19. Jhs. um 2-3°C gestiegen, was wahrscheinlich eine Verlängerung der Vegetationsperiode nach sich zieht. Von 1700 bis 2000 ist das Waldgrenzökoton um rund 100 Höhenmeter angestiegen. Die Verschiebung der Baumgrenze ist durch die Etablierung einzelner Baumindividuen geprägt und erfolgt in episodischen Schüben. Nach 100-150 Jahren schützen die Pionierindividuen die besiedelte Fläche ausreichend, um die erfolgreiche Ankeimung weiterer Individuen zu fördern. An der Waldgrenze erlauben die Verbesserungen des Mikroklimas eine allmähliche aber stete Verdichtung des Waldes, so dass ein Bild langsamer und kontinuierlicher Progression entsteht. Weitere 150 Jahre benötigt es, bis sich ein geschlossener Wald etabliert hat. Die Kohlenstoffvorräte nehmen von der Bergtundra zum „Alten Wald“ im Oberboden ab, im

Unterboden hingegen zu. Dies weist auf einen Zusammenhang zwischen der Vegetation und der organischen Substanz des Oberbodens hin, und lässt vermuten, dass es bei einer klimabedingten Verschiebung von Vegetationsgürteln auch zu einer Veränderung des Humuskörpers, dessen Umsetzung und damit auch der Nährstoffverfügbarkeit kommt.

*Summary: Alpine Timberline Dynamics in the Southern Urals (Russia)*

Forest-tundra ecotones are highly suited to study the expected shift of vegetation zones induced by "Global Warming", because plant growth here is mainly limited by temperature. The summit area of Dalnii Taganai, Southern Urals, Russia, is suitable to survey natural forest dynamics not directly influenced by man, as it has never been influenced by forestry or farming, except little touristic influence. The research area includes six plots along a slope transect: one in the mountain tundra, two in the forest-tundra ecotone and three in the closed forest. About 300 increment cores of trees, eight soil profiles and 85 additional soil samples are surveyed. The main woody plants present are: *Picea abies ssp. obovata* (Ledeb) Hulten, *Betula pubescens ssp. tortuosa* (Ledeb.) Nyman, *Sorbus aucuparia L. ssp. sibirica* (Hedl.) Krylov and *Juniperus communis L. ssp. alpina* (Suter). The herbaceous layer of the tundra and the forest-tundra ecotone are dominated by alpine dwarf shrub heath and those of the closed forest by subalpine tall herbs. Temperature and precipitation data are provided by two meteorostations. The mean temperatures of winter and spring have increased by 2-3°C since the end of the 19<sup>th</sup> century, which might induce a prolongation of the vegetation period. During the period of 1700 to 2000 AD the forest-tundra ecotone increased about round 100 meters. The rise of the treeline is characterised by the establishment of single tree individuals and occurs in episodic waves. It needs 100-150 years of growth of a tree island, until these pioneer individuals protect the surface sufficiently enough to support the germination of further individuals. At the forestline, amelioration of the micro-climate allows a gradual but constant closing of the crowns, leading to a slow and continual progression. It takes another 150 years until a closed forest is established. From the mountain tundra to the "Old Forest" carbon storage decreases in the upper soil but increases in the mineral horizon. This shows an interrelation between the vegetation and the soil's organic matter. It can be suspected,

that a climatically induced move of the vegetation belts will lead to a change of the humus pool, its turnover and therefore of the nutrient availability.

*Résumé : La dynamique de la limite forestière alpine au sud d'Ural (Russie)*

Les écotones de toundra forestière offrent d'idéales conditions à l'enquête sur les processus dynamiques du déplacement des zones végétales attendu suite au « Climate Change ». Le sommet du Dalnii Taganai, Oural du Sud, Russie, n'ayant subi qu'une faible influence anthropogène (faible tourisme), est approprié à l'enquête sur les processus naturels. L'enquête comprend six surfaces étudiées: une dans la toundra alpine, deux dans l'écotone de toundra forestière et trois dans la forêt dense. Elle se base sur env. 300 carottes d'arbres, huit profils des sols et 85 échantillons de sols complémentaires. Les plantes ligneuses rencontrées sur les surfaces d'enquête sont: *Picea abies ssp. obovata* (Ledeb) Hulten, *Betula pubescens ssp. tortuosa* (Ledeb.) Nyman, *Sorbus aucuparia L. ssp. sibirica* (Hedl.) Krylov et *Juniperus communis L. ssp. alpina* (Suter). Dans la toundra alpine et l'écotone de toundra forestière, la couche herbeuse est formée de lande d'arbustes nains, dans la forêt close d'une végétation de macrophorbiées. Les données climatologiques sont composées de dates de précipitations et de températures de deux stations météorologiques. Les températures moyennes de l'hiver et du printemps ont augmenté de 2-3°C depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, ce qui probablement provoque une élongation de la période de végétation. De 1700 à 2000 l'écotone de toundra forestière a progressé d'environ 100 m de dénivelé. La progression de la limite des arbres est déterminée par l'établissement d'individus isolés et prend lieu en poussées épisodiques. Il faut 100-150 ans de formation d'îles d'arbres jusqu'à ce que les individus pionniers protègent suffisamment la surface colonisée pour permettre avec succès la germination d'autres individus. A la limite forestière, les améliorations du milieu causent une condensation progressive de la forêt; ainsi naît l'impression d'une progression lente et continue. Encore 150 ans sont nécessaires à l'établissement d'une forêt dense. Les réserves de carbone diminuent de la toundra alpine à la « Vieille Forêt » dans les horizons supérieurs des sols, mais augmentent dans l'horizon minéral. Ceci indique un rapport entre la végétation et la substance organique du sol et, lors d'un déplacement des zones végétales induit climatiquement, laisse supposer un changement du corps humique, de son cycle et de la disponibilité des nutritifs.