

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВОСТОЕВ ЕЛИ В ВЫСОКОГОРЬЯХ ЮЖНОГО УРАЛА

Д.С. Балакин<sup>1</sup>, З.Я. Нагимов<sup>2</sup>, П.А. Моисеев<sup>1</sup>, А.А. Григорьев<sup>1</sup>, С.О. Вьюхин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт экологии растений и животных УрО РАН,  
г. Екатеринбург, Россия, e-mail: dmitrijbalakin047@gmail.com

<sup>2</sup>Уральский государственный лесотехнический университет  
г. Екатеринбург, Россия, e-mail: nagimovzy@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Установлено, что с улучшением климатической обстановки в высокогорьях Южного Урала наблюдается продвижение по высотному градиенту верхней границы древесной растительности. Процесс лесовозобновления здесь очень растянут во времени. Формируются циклично разновозрастные и ступенчато разновозрастные древостои, состоящие из нескольких морфологически невыраженных поколений леса.

**Ключевые слова:** изменение климата, Южный Урал, горный массив Ирмель, еловые древостои, экотон, лесовозобновление, разновозрастные древостои

**Финансирование:** Работа выполнена благодаря финансовой поддержке государственной темы "Естественно-научные и технологические аспекты рационального использования, прогнозирования и управления лесными ресурсами на основе генетического подхода к классификации типов леса в условиях современного изменения климата и антропогенных воздействий" (номер госрегистрации FEUG-2023-0002).

## FEATURES OF SPRUCE STAND FORMATION IN THE HIGH MOUNTAINS OF THE SOUTHERN URALS

D.S. Balakin<sup>1</sup>, Z.Ya. Nagimov<sup>2</sup>, P.A. Moiseev, A.A. Grigoriev, S.O. Vyukhin

<sup>1</sup>Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Yekaterinburg, Russia, e-mail: dmitrijbalakin047@gmail.com

<sup>2</sup>Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, Russia, e-mail: nagimovzy@m.usfeu.ru

**Abstract.** It has been established that with the improvement of climatic conditions in the high mountains of the Southern Urals, an upward shift of the upper forest boundary along the altitudinal gradient is observed. The process of forest regeneration in this area is highly prolonged over time.

Cyclically uneven-aged and stepwise uneven-aged stands are forming, consisting of several morphologically indistinct forest generations.

**Keywords:** climate change, Southern Urals, Iremel mountain massif, spruce stands, ecotone, forest regeneration, uneven-aged stands

**Funding:** This study was supported by the state-funded research project "*Natural Science and Technological Aspects of Sustainable Use, Forecasting, and Management of Forest Resources Based on a Genetic Approach to Forest Type Classification Under Contemporary Climate Change and Anthropogenic Impacts*" (state registration no. FEUG-2023-0002).

## **Введение**

В современный период времени количественная оценка реакций лесных экосистем на глобальные климатические изменения занимает одно из центральных мест в научных исследованиях [1,5]. Наиболее репрезентативными для подобных изысканий являются высокогорные регионы, где трансформации в растительных сообществах, вызванные климатическими изменениями, выражены максимально ярко [1,3]. Несмотря на это, механизмы и динамика экспансии древесной растительности в зону горных тундр в контексте меняющихся климатических условий исследованы в недостаточной степени. Изучение этих процессов имеет фундаментальное значение не только для индикации изменений окружающей среды, но и для понимания масштабов освоения лесными формациями ранее безлесных высокогорий, а также для оценки экологической и биосферной функций формирующихся здесь древостоев [3].

Целью данной работы выступает анализ процессов образования еловых насаждений в высокогорьях Южного Урала в условиях меняющегося климата, выполненный на основе детального изучения их возрастной структуры.

## **Характеристика объектов и методика исследования**

Работа выполнялась на склоне юго-западной экспозиции горы Малый Иремель, находящейся в области наиболее высоких центральных поднятий Южного Урала. Методологической основой исследования послужили методы высотных профилей и пробных площадей [5]. Для изучения возрастной динамики ельников от нижнего уровня, где находятся сомкнутый древостой до верхнего в горных тундрах был заложен постоянный профиль. Данный профиль включает в себя насаждения ели, охватывающие зону экотона верхней границы распространения древесной растительности (ЭВГДР) и примыкающие к ней переходные зоны, расположившиеся ниже. Под ЭВГДР понимается переходная полоса в высокогорьях, находящаяся между верхней границей сомкнутых (сплошных) древостоев и верхним пределом распространения единичных деревьев в тундре. Выделение поясов зависит от густоты древостоя, сомкнутости крон и подразделяется на три основных высотных уровня: единичные деревья, редины и редколесья [1]. Как говорилось ранее для изучения возрастной динамики древостоев использовался высотный профиль и внутри профиля заложенные площадки расположенные на различных высотных уровнях: первом (верхнем) - в ЭВГДР в зоне редины на абсолютной высоте 1360 м; третьем (среднем) – в ЭВГДР в полосе редколесий

на отметке 1310 м; и пятом (нижнем) – в условиях сомкнутого древостоя на высоте 1260 м над уровнем моря.

Перечётные площадки в пределах высотных уровней закладывались на равном удалении друг от друга в количестве от 3 до 6 штук и размером 20x20 м площадью 400 м<sup>2</sup>. На каждой площадке учитывалось каждое дерево индивидуально которое достигло высоты выше 1,5 м. Каждая особь ели фиксировалась на местности, замерялся диаметр ствола и протяженность кроны, а также определялся возраст путем отбора буровых кернов. Подсчет годичных колец производился после предварительной обработки кернов на полуавтоматической установке Lintab 5. Для установления точной даты появления каждого взятого образца, полученные измерения кернов, перекрёстно датировались с использованием мастер – хронологии.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Горные экосистемы обладают своей уникальной спецификой, а именно облесением ранее безлесных территорий, где предел их произрастания ограничен климатическими факторами, тем самым представляет научный интерес к изучению данных процессов [2]. Для получения достоверных данных по распределению деревьев по годам их возникновения в пределах высотных уровней использовались данные возрастов всех деревьев ели. На точность определения возраста каждого отдельного дерева влияет множество факторов и определение возраста до года достаточно сложно, а иногда и не возможно. Для нивелирования существующей погрешности в определении возраста все деревья распределялись по 5-летним классам возраста с последующим распределением этих классов по основным периодам появления. Данный метод позволяет с высокой степенью точности определить основные этапы (периоды) появления новых деревьев ели по высотным уровням, а также установить в какой временной период происходила активная экспансия ранее в безлесные горные тундры. Данный метод применялся многими авторами [3], в своих исследованиях возрастной структуры в горах.

Наиболее объективное и репрезентативное понимание исторических особенностей формирования древостоев в пределах исследуемого профиля может быть получено при реконструкции исторических особенностей пространственно-временного распределения возрастов деревьев по периодам их появления (рисунок 1).

Графический анализ рисунка 1, позволяет отметить следующее: появление первых особей ели на нижнем уровне приходится на вторую половину XIX века, самый ранний из сохранившихся экземпляров датирован 1875 г. Активная фаза появления елей приходится на 1895 год, а в течение последующего десятилетия (1895–1905 гг.) отмечается непрерывное и относительное, равномерное увеличение количества деревьев. В следующие два пятилетия отмечается заметный спад в интенсивности возобновления ели. С 1920 года фиксируется новый всплеск заселения елью данного уровня, интенсивность которого максимального значения достигает в середине 30-х годов. В последующие годы процесс возобновления ели на фоне общей тенденции снижения его интенсивности чередуется периодами, заметно отличающимися по количеству появившихся растений. Следует отметить, что с начала 20-х до середины 40-х годов прошлого столетия на данном уровне появилось около 50% ныне растущих деревьев. Начиная с 1970 года процесс появления новых деревьев ели на нижнем

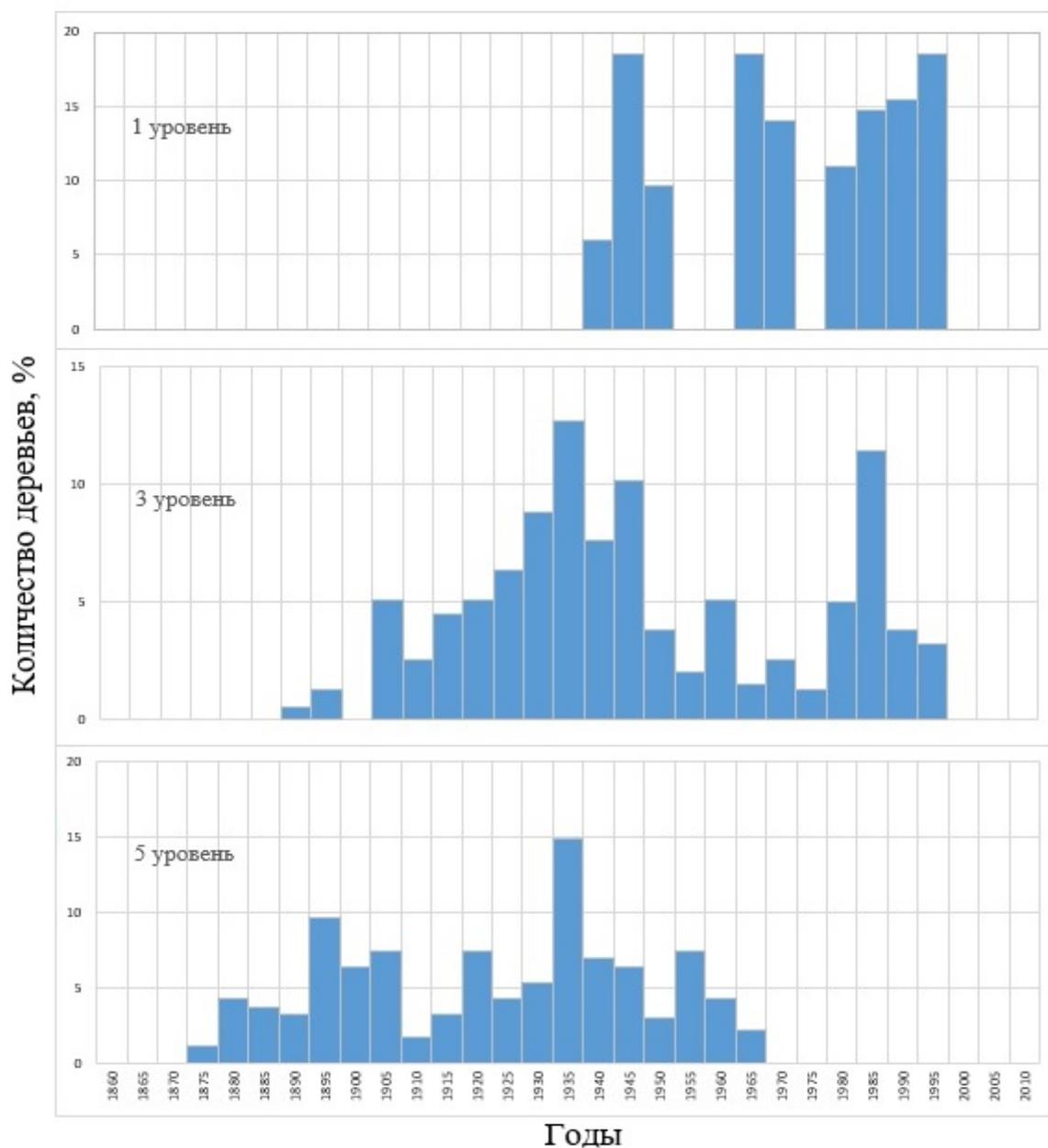


Рисунок 1 - Распределение деревьев ели по периодам их появления на разных высотных уровнях исследуемого профиля

уровне заканчивается. На наш взгляд это связано с заметным увеличением сомкнутости и густоты древостоев, которые препятствуют росту и развитию появляющегося под их пологом подроста.

На третьем (среднем) высотном уровне профиля появление ели датируется концом XIX века. На этом уровне по сравнению с нижним высотным уровнем возобновление ели началось на 15-20 лет позднее. Начало XX века характеризуется периодом, когда этот процесс прекращается. В последующем заселение елью данного уровня приобретает устойчивый характер, темпы которого закономерно возрастают вплоть до середины 30-х годов прошлого столетия. Как видно из данных рисунка, на среднем уровне, как и на нижнем уровне интенсивность возобновления максимального показателя достигает в середине 30-х годов. С 1935 по 1975 годы процесс заселения ели на среднем уровне также характеризуется

тенденцией к снижению. Однако это снижение не плавное, а скачкообразное, связанное с различиями 5-летних периодов по количеству появляющихся растений. С конца XX века на данном уровне фиксируется новый всплеск возобновления, которое с этого периода приобретает достаточно устойчивый характер (без разрывов) и продолжается по настоящее время.

На первом (верхнем) высотном уровне первые из ныне растущих деревьев появились только в середине XX века. Здесь процесс зарастания территории отличается чередованием периодов с наличием и отсутствием возобновления. Причем четко выделяются три периода со всплеском этого процесса. Устойчивый характер процесс зарастания елью верхнего уровня приобретает только с конца XX века.

Следует отметить, что на верхнем и среднем уровнях увеличение густоты древостоев ели продолжается и в настоящее время. На рисунке отсутствие деревьев в последних возрастных классах объясняется не прекращением возобновления, а очень медленным ростом подроста в высоту. Подрост, появившийся на рубеже XX-XXI веков и позднее не достиг высоты 1,5 м и в число деревьев не попал.

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие основные выводы. Возрастной состав (временные периоды появления) деревьев ели, произрастающих в настоящее время на исследуемом профиле, характеризуется крайней неоднородностью. Процесс лесовозобновления на всех трех рассмотренных высотных уровнях отличается значительной временной протяженностью. В пределах ЭВГДР устойчивое и активное возобновление на верхнем уровне началось в конце XX столетия, тогда как на среднем уровне этот процесс отмечается с более раннего времени (с начала XX века). По нашему мнению, указанная динамика напрямую связана с потеплением климата, наблюдавшимся на протяжении последнего столетия. Интенсивная экспансия в горных тундрах и сопряженное с ним смещение верхней границы леса в этот же период фиксируются исследователями в различных горных регионах [3, 5].

Формирование разновозрастных древостоев в высокогорных условиях преимущественно обусловлено спецификой среды, играющую важную роль для интродукции леса в верхних частях склонов. Несмотря на общую тенденцию к улучшению климатических условий, в верхней части склона эти факторы остаются здесь экстремально суровыми. Для высокогорий характерны жесткие температурный и ветровой режимы, маломощные, низкоплодородные, каменистые и скелетные почвы с нестабильным водным режимом, а также пониженная семенная продуктивность самих древостоев [2]. В подобной обстановке даже массовое появление всходов не обеспечивает их последующего успешного развития и интеграции в процесс лесообразования. На ранних стадиях онтогенеза древесные растения в наибольшей степени уязвимы к воздействию неблагоприятных абиотических факторов и часто подвергаются массовой гибели.

Согласно данным многочисленных исследований на Урале, в высокогорьях формирование нового поколения леса происходит преимущественно после семенных лет. Всходы и подрост, как правило, не выживают и, следовательно, не принимают участия в образовании древостоя [2]. Их гибель обусловлена именно малочисленностью и неспособностью противостоять негативным воздействиям внешней среды.

Верхняя граница леса является местом суровых климатических условий, где для выживания подроста и прохождения им стадий онтогенеза необходимые благоприятные условия характерные для верхней границы леса, которые следуют за семенными годами. Именно эта особенность обуславливает исключительную временную растянутость процесса лесовозобновления в высокогорьях и формирование здесь абсолютно разновозрастных древостоев Г.Е. Коминым и И.В. Семечкиным [4]. В соответствии с данной концепцией, еловые древостои на нижнем уровне профиля можно классифицировать как циклично-разновозрастные, в то время как на среднем и верхнем уровнях – как ступенчато-разновозрастные.

### **Выводы**

Массовое заселение елью на Южном Урале, как показало исследование, растянуто во времени. По мере продвижения вдоль по склону от сомкнутых лесов к горной тундре отмечается закономерное уменьшение возраста деревьев, данная закономерность также отмечается по основным периодам появления. Данный процесс обусловлен улучшением климатической обстановки в регионе.

Разновозрастность древостоев объясняется лесорастительными условиями при которых появившиеся всходы и самосев могут не участвовать в лесовозобновительном процессе. Рост и развитие всходов, подроста возможен только при сложившихся благоприятных условиях внешней среды и семенных годов. Формирование циклично разновозрастных и ступенчато разновозрастных древостоев, состоящих из нескольких морфологически невыраженных поколений леса обусловлена именно внешними факторами среды. Разновозрастность древостоя на верхнем пределе их произрастания, может рассматриваться как адаптация деревьев при выживании в экстремальных климатических условиях.

### **Список литературы**

1. Горчяковский, П.Л. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях / П.Л. Горчяковский, С.Г. Шиятов. – Москва : Наука, 1958. – 208 с.
2. Горяева, А.В. Оценка естественного возобновления ели сибирской и лиственницы сибирской на верхнем пределе их произрастания в высокогорьях Урала : специальность 06.03.02 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Горяева Алена Викторовна. – Екатеринбург, 2008. – 24 с.
3. Григорьев, А.А. Формирование древостоев в высокогорьях приполярного Урала в условиях современного изменения климата / А.А. Григорьев, П.А. Моисеев, З.Я. Нагимов. – Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2012. – 170 с.
4. Комин, Г.Е. Возрастная структура древостоев и принципы ее типизации / Г.Е. Комин, И.В. Семечкин // Лесоведение. – 1970. – № 2. – С. 24-33.
5. Шиятов, С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата / С.Г. Шиятов. – Екатеринбург : УрО РАН, 2009. – 219 с.

### References

1. Gorchyakovskiy, P.L. Phytoindication of environmental conditions and natural processes in the highlands / P.L. Gorchyakovskiy, S.G. Shiyatov. - Moscow: Nauka, 1958. - 208 p.
2. Goryaeva, A.V. Evaluation of natural regeneration of Siberian spruce and Siberian larch at the upper limit of their growth in the highlands of the Urals: specialty 06.03.02: abstract of a dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences / Goryaeva Alena Viktorovna. - Ekaterinburg, 2008. - 24 p.
3. Grigoriev, A.A. Formation of tree stands in the high mountains of the cidpolar Ural under conditions of modern climate change / A.A. Grigoriev, P.A. Moiseev, Z.Ya. Nagimov. – Ekaterinburg: Ural State Forestry University, 2012. – 170 p.
4. Komin, G.E. Age structure of tree stands and principles of its typification / G.E. Komin, I.V. Semechkin // Forestry. - 1970. - No. 2. - P. 24-33.
5. Shiyatov, S.G. Dynamics of tree and shrub vegetation in the mountains of the Polar Urals under the influence of modern climate change / S.G. Shiyatov. - Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. - 219 p.