

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

HORTICULTURE AND FORESTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-3-1167

EDN: MYFRJE

УДК 630.5(561.1)



Научная статья

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ВЫСОТЫ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ СИБИРСКОЙ В ДРЕВОСТОЯХ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

С.Л. Шевелев, П.В. Михайлов

Аннотация

Обоснование. Высота древостоев является важным таксационным показателем, тесно связанным с производительностью древостоев и широко используется при характеристике их условий местопроизрастания, как в пределах отдельных лесорастительных регионов, так и в процессе сопоставления формирования древостоев в разных климатических зонах. Связь высот деревьев с их диаметрами является важным аспектом вертикальной структуры древостоев и в конечном итоге находит использование при построении основных нормативов таксации товарной структуры.

Цель. Установить особенности изменения высот древостоев ели сибирской в спелых древостоях Енисейского кряжа – горного таежного региона, с достаточной суровыми условиями произрастания древесной растительности.

Материалы и методы Объектом исследования явились спелые древостои ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) на Енисейском кряже – горном массиве западной части Среднесибирского плоскогорья. В основу работы положены материалы 15 пробных площадей, заложенных в древостоях с преобладанием в запасе ели сибирской.

Результаты. В ходе математического анализа удалось выделить несколько рядов естественного развития древостоев в пределах одной группа типов леса и даже в пределах одного типа леса. По результатам исследования можно констатировать, что использование бонитетной основы при составлении таксаци-

онных нормативов для еловых древостоев не оправдан, так как в бонитетную шкалу заложено отсутствие приростов в высоту в древостоях значительного возраста. Интенсивность роста древостоев ели в высоту можно разделить на три периода с различной изменчивостью комплексного оценочного показателя.

Заключение. В результате выполнения данной работы можно констатировать, что спелые, низкопроизводительные древостои ели в суровых климатических условиях Енисейского кряжа имеют ряд особенностей роста деревьев в высоту. В этой связи использование бонитетной основы для составления таксационных нормативов для еловых древостоев не оправдан, так как в бонитетную шкалу заложено отсутствие приростов в высоту в древостоях значительного возраста, следовательно, для специфических условий местопроизрастания древостоев ели на Енисейском кряже требуется разработка собственной нормативной базы таксации.

Ключевые слова: Енисейский кряж; ель сибирская; средняя высота; спелые древостои; естественный ряд развития древостоя; комплексный оценочный показатель

Для цитирования. Шевелев, С. Л., & Михайлов, П. В. (2025). Особенности динамики высоты деревьев ели сибирской в древостоях Енисейского кряжа. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 319-335. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1167>

Original article

DYNAMICS OF THE HEIGHT OF SIBERIAN SPRUCE IN THE STANDS OF THE YENISEI RIDGE

S.L. Shevelev, P.V. Mikhailov

Abstract

Background. The height of trees is an essential indicator in forest inventory, closely associated with stand productivity. It is a widely utilized metric for characterizing site conditions, both within individual forests and for comparing stand development across diverse climatic zones. The relationship between tree height and diameter is a pivotal aspect of forest stand vertical structure, ultimately informing the development of primary inventory standards for the commodity structure.

Purpose. The objective of this study is to identify the characteristics of height change in Siberian spruce trees in mature stands of the Yenisei Ridge, a mountain taiga region with challenging conditions for woody vegetation growth.

Materials and Methods. The study was conducted in mature stands of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) on the Yenisei Ridge, a mountain range in the western part of the Central Siberian Plateau. The research was based on data obtained from 15 research plots placed in stands with a predominance of Siberian spruce in the stand composition, as determined by the largest growing stock value.

Results. In the course of mathematical analysis, a number of series of natural development of forest stands were identified, both within a group of forest types and even within a single forest type. The findings of the study indicate that the application of the bonitet classes scale in the formulation of inventory standards for spruce stands is unwarranted, given that the bonitet scale encompasses the absence of growth in height in stands of considerable age. The growth intensity of spruce stands in height can be delineated into three phases, each characterized by a distinct variability of the complex assessment indicator.

Conclusion. The findings of this research indicate that mature, low-productivity spruce stands subjected to the harsh climatic conditions of the Yenisei Ridge exhibit a number of characteristics associated with tree growth in height. The utilization of a bonitet scale for the establishment of inventory standards for spruce stands is not a viable proposition. This is due to the fact that the bonitet scale incorporates the absence of height increments in stands of considerable age. Consequently, in order to ensure the suitability of the regulatory forest inventory base for spruce stands on the Yenisei Ridge, it is essential to develop a bespoke approach that takes into account the specific site conditions.

Keywords: Yenisei Ridge; Siberian spruce; mean height; mature stands; natural series of forest stand development; complex assessment indicator

For citation. Shevelev, S. L., & Mikhailov, P. V. (2025). Dynamics of the height of Siberian spruce in the stands of the Yenisei Ridge. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 319-335. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1167>

Введение

Интенсивная эксплуатация коренных лесов бореальной зоны, привело к фрагментации лесных ландшафтов и изменению структуры лесов [12; 18; 20; 21]. Как следствие все это влечет за собой их замену на производные лесные сообщества, что минимизирует возможности изучения фундаментальных закономерностей развития биogeоценозов, сформировавшихся за длительные исторические периоды [4, 9]. Согласно Shorohova et al. [20] развитие древостоев в бореальных лесах Евразии выявило многочисленные пути сукцессии во всех типах девственных лесов. Старовозрастные древостои, разновозрастность которых обусловлена особенностями про-

цессов лесообразования (темнохвойные), или вызвана мелкомасштабными нарушениями, формируются в течение нескольких сотен лет сукцессионного развития. Серьезные нарушения, такие как лесные пожары, ветровалы, буреломы, повреждения насекомыми и болезни, могут изменить структуру и динамику древостоя, физически разрушая древесный полог и даже выкорчевывая деревья [14].

Понимание роли соответствующих таксационных характеристик основных лесообразующих пород имеет решающее значение при разработке рациональных методов адаптивного лесоправления [10].

В настоящее время исследование горизонтальных компонентов структуры лесных насаждений, таких как густота и сумма площадей сечения стволов, показали наличие их существенных изменений вдоль экологических и эдафических градиентов [16; 19]. Однако варьирование вертикальных компонентов структуры леса и их причины остаются гораздо менее изученными. И это несмотря на имеющиеся данные, свидетельствующие о том, что высота дерева при заданном диаметре ствола может значительно варьировать у разных видов [13] и в разных регионах [17].

Высота деревьев является фактором, важным для определения объема древесины отдельных деревьев и запаса древостоев. Изменение высот деревьев, формирующих древостой, связь их с другими таксационными показателями зависят от ряда многих факторов, включающих не только климат и богатство условий местопроизрастания, но и особенности горизонтальной структуры древостоев и т.п.

В условиях изменения климата, т.е. повышения эвапотранспирации и снижения количества осадков, с возрастом у отдельных деревьев замедляется рост в высоту и увеличивается рост диаметра [15], что сказывается на средней высоте древостоя.

Цель исследования – установить особенности изменения высот древостоев ели сибирской в спелых древостоях Енисейского края – горного таежного региона, с достаточно суровыми условиями произрастания древесной растительности.

В рамках существующей проблемы для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- установление связи высот деревьев ели сибирской с их диаметрами в спелых древостоях Енисейского края и выявление рядов естественного развития;
- анализ динамики высот в древостоях ели с использованием «комплексного оценочного показателя» (КОП).

Материалы и методы исследования

Объектом исследования явились спелые древостои ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) на Енисейском кряже – горном массиве западной части Среднесибирского плоскогорья. Резко-континентальный климат, смешанный горно-равнинный характер рельефа, с преобладающими высотами 700-900 метров над уровнем моря, формируют достаточно суровые условия местопроизрастания, что находит отражение в невысокой производительности древостоев.

В основу работы положены материалы 15 пробных площадей, заложенных в древостоях с преобладанием в запасе ели сибирской. В составе древостоев значительные доли приходятся на пихту сибирскую (*Abies sibirica* Ledeb), сосну кедровую сибирскую (*Pinus sibirica* Du Tour) и березу повислую (*Betula pendula* Roth). На пробных площадях срублено и обмерено 159 модельных деревьев. При закладке пробных площадей соблюдались требования отраслевого стандарта – ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метода закладки».

В таблице 1 приведена характеристика древостоев пробных площадей.

Высота древостоев является важным таксационным показателем, тесно связанным с производительностью древостоев. Этот признак широко используется при характеристике их условий местопроизрастания, как в пределах отдельных лесорастительных регионов, так и в процессе сопоставления формирования древостоев в разных климатических зонах (Усольцев и др. [8]).

Еще в начале прошлого века М.М. Орлов, опираясь на труды немецкого лесовода Эттеля, разработал бонитетную шкалу, которой мы пользуемся до сих пор, где за базовый признак была принята средняя высота древостоев [4]. Характеризуя прежде всего условия местопроизрастания древостоев, М.М. Орлов совершенно верно использовал среднюю высоту, справедливо считая ее наиболее консервативным показателем, опосредованным условиями местопроизрастания (прежде всего богатством и влажностью почв) и связанным с производительностью древостоев.

В работах В.Г. Стороженко [5,6,7], посвященных горизонтальной структуре лесов еловых формаций европейской тайги России и структуре древесных фракций древесины еловых биогеоценозов, отмечается что формирование структур девственных лесных биогеоценозов, развивающихся без вмешательства в их сукцессионную динамику человека [4] и каких-либо экзогенных факторов воздействия, подчинено эволюционным

законам балансового равновесия. Это состояние определяет основное содержание понятия устойчивости лесных сообществ и может рассматриваться как базовая, созданная эволюцией платформа функционирования лесного сообщества.

Таблица 1.

Характеристика древостоев пробных площадей

№ ПП	Состав	Средние главного элемента леса		Полнота древостоя	Запас, м ³ /га	Густота древостоя, шт./га	Бонитет	Тип леса
		Высота, м	Диаметр, см					
1	6Е2Б1К1П	19,5	20,9	0,82	198	1016	IV	Е.черн.
2	6Е2Б1К1П	16,0	19,6	0,80	179	1029	V	Е.зелен.
3	5Е2К2Б1П	17,5	22,3	0,72	193	732	V	Е.зелен.
4	5ЕЗБ1К1П	14,5	18,8	0,64	143	833	V	Е.черн.
5	4ЕЗП2Б1К	13,2	18,7	1,27	269	1472	V	Е.черн.-зелен.
6	5Е2К2Б1П	16,8	19,4	0,62	149	794	V	Е.черн.
7	4ЕЗК2Б1П	16,5	18,6	0,73	174	936	V	Е.черн.-зелен.
8	5Е2К2Б1П	18,7	21,6	0,77	182	746	IV	Е.зелен.
9	5Е2К2Б1П	17,0	19,8	0,69	170	843	V	Е.черн.-зелен.
10	7Е2П1Б ед.К	18,0	20,5	0,70	198	837	V	Е.черн.-зелен.
11	6Е2П1К1Б	17,1	18,8	1,15	259	1634	V	Е.зелен.
12	7Е2П1Б+К	20,2	22,9	0,72	176	878	IV	Е.зелен.
13	7Е2П1Б+К	18,3	21,1	1,04	259	1217	IV	Е.зелен.
14	4ЕЗП2Б1П	17,6	19,2	0,85	234	1090	V	Е.черн.
15	6ЕЗБ1П+К	16,3	17,5	0,75	153	1002	V	Е.черн.-зелен.

Опираясь на это, можно утверждать, что изучение особенностей формирования и взаимосвязей между элементами таких биологических систем весьма важно и актуально.

Результаты и обсуждение

Ограниченное число модельных деревьев, срубленных в пределах пробных площадей не позволило детально охарактеризовать возрастную структуру еловых древостоев, подвергшихся исследованию, однако позволяет утверждать о их разновозрастности.

В таблице 2 приведены амплитуды колебания возрастов модельных деревьев и редуccionные числа, соответствующие минимальной ($R_{\min}$) и максимальной ($R_{\max}$) по возрасту моделям.

Таблица 2.

Показатели возрастной структуры древостоев

№ пробной площади	$R_{\min}$	$R_{\max}$	Амплитуда возрастов моделей, лет
1	0,39	1,56	190
2	0,37	1,58	202
3	0,42	1,87	240
4	0,39	1,86	228
5	0,51	1,83	223
6	0,48	1,71	194
7	0,46	1,77	217
8	0,40	1,60	222
9	0,66	1,89	181
10	0,42	1,75	213
11	0,60	1,73	144
12	0,45	1,38	145
13	0,46	1,54	177
14	0,41	1,56	178
15	0,53	1,31	139

Средний состав, полученный путем обобщения формул состава древостоев на отдельных пробных площадях:

5,4Е 1,4К 1,4П 1,8Б.

Ряды распределения числа стволов по диаметру, закономерно для темновойных древостоев, растянуты. Редуccionные числа наибольших стволов по диаметру в древостоях всех пробных площадей превышают 2.0, ряды трех пробных площадей – 2.5 и трех достигают 3.0.

Все это подтверждает то, что процесс лесообразования в исследуемых древостоях идет практически постоянно. Древостои состоят из деревьев различного возраста и размера, что значительно осложняет выделение возрастных поколений при визуальной оценке [11; 14].

Важным аспектом вертикальной структуры древостоев являются связи высот деревьев с их диаметрами. Эти связи в конечном итоге находят использование при построении основных нормативов таксации товарной структуры.

Анализ данных позволил установить функцию наиболее приемлемую для этой цели, она соответствует уравнению логарифмического вида:

$$y = a + b \cdot \ln(x) \quad (1)$$

На рисунке 1 показаны кривые высот древостоев пробных площадей.

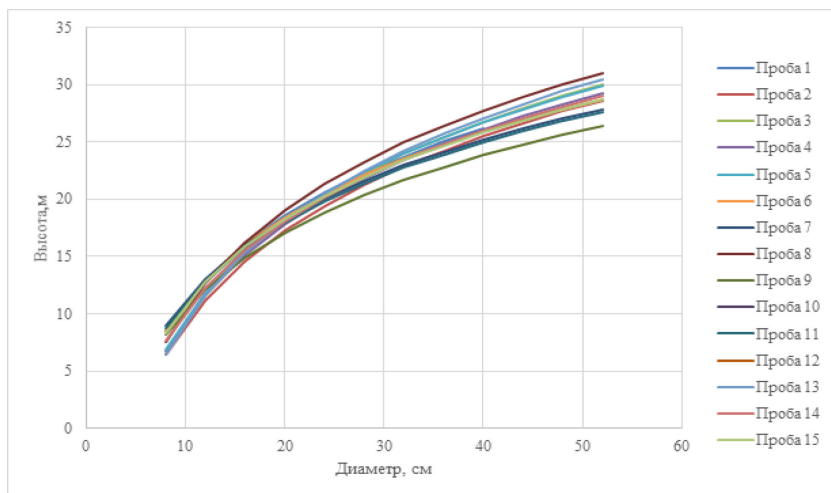


Рис. 1. Связь высот деревьев с диаметрами на высоте 1,3 м в древостоях ели

В таблице 3 приведены величины коэффициентов уравнений и показатели их адекватности.

Таблица 3.

Коэффициенты и показатели адекватности уравнений “кривых высот”

№ п.п.	a	b	R ²
1	-14,270702	10,974228	0,947
2	-18,334621	11,888733	0,850
3	-19,579489	12,556732	0,958
4	-18,19495	12,01361	0,952
5	-18,853073	12,347217	0,928
6	-13,878416	10,788159	0,924
7	-12,03057	10,093347	0,902
8	-18,477895	12,524118	0,938
9	-12,093562	9,7470841	0,879
10	-20,784238	13,071784	0,941

11	-12,282108	10,103506	0,853
12	-21,157445	13,045723	0,941
13	-20,325269	12,851138	0,863
14	-16,112347	11,413698	0,920
15	-14,281482	10,874508	0,964

Оценка совокупности кривых позволяет рекомендовать их к дальнейшему использованию при составлении таксационных нормативов для древостоев ели Енисейского края.

Ход роста по высоте деревьев в еловых древостоях также с достаточной адекватностью можно отобразить функцией (1) (таблица 4).

Таблица 4.

Коэффициенты и показатели адекватности уравнений хода роста по высоте

№ п.п.	a	b	R ²
1	-32,57214	10,495742	0,696
2	-35,254206	10,770341	0,568
3	-39,112047	11,80448	0,576
4	-36,312393	11,040395	0,474
5	-20,855233	8,5131023	0,287
6	-75,548943	18,584708	0,864
7	-15,010856	6,8621558	0,485
8	-48,989358	13,804163	0,719
9	-59,598238	14,761551	0,724
10	-43,865378	13,164429	0,553
11	-49,074638	13,747878	0,497
12	-47,577209	13,868805	0,880
13	-69,650748	18,123646	0,662
14	-18,079187	7,4731816	0,312
15	-36,973934	11,025794	0,314

Однако линии хода роста по высоте отличаются значительной изменчивостью в форме кривых, (рисунок 2) несмотря на то, что все древостои относятся к одной группе типов леса.

В совокупности линий хода роста по высоте можно выделить несколько рядов естественного развития древостоев в пределах одной группы типов леса и даже в пределах одного типа леса, что вызывает определенные трудности при подборе исходных данных в процессе построения таксационных нормативов, отражающих динамику таксационных показателей

древостоев или получении математических моделей, отражающих этот процесс.

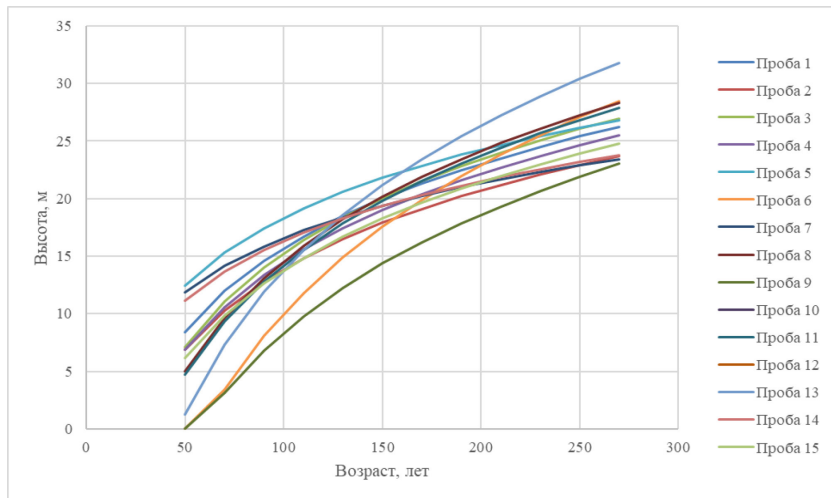


Рис. 2. Кривые хода роста по высоте еловых древостоев пробных площадей

Данная ситуация не является чем-то из ряда вон выходящих не только для древостоев Енисейского края. Рассматривая девственные ельники европейской части России В.Г. Стороженко [7] отмечал, что на близких по условиям роста территориям можно встретить участки леса, входящие в один биогеоценоз, но различающиеся по возрастным и динамическим параметрам. Он относит такое природное биоразнообразие к критериям определяющим устойчивость лесных сообществ.

Однако, несмотря на неоднозначность в процессах динамики древостоев, использование типологической основы, по сравнению с бонитетной при построении таксационных нормативов кажется более предпочтительным.

У бонитетной основы имеется существенный недостаток – в шкале М.М. Орлова заложено отсутствие прироста у древостоев по высоте, начиная со II класса бонитета и ниже, со 140 лет. Фактически же прирост разной интенсивности происходит. Однако при определении класса бонитета по средней высоте в спелых древостоях оказывается, что после прохождения кривой точки среднего возраста, ход роста начинает постепенно идти по линии более высокого класса бонитета, так как бонитетной шкале для всех последующих возрастов приведены не меняющиеся «вилки» высот.

Динамику высот в древостоях ели можно проследить с использованием «коэффициента напряженности роста», который еще называют «комплексным оценочным показателем» (КОП). Он рассчитывается как отношение высоты дерева, выраженной в сантиметрах, к площади поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м, выраженной в сантиметрах.

Физический смысл комплексного оценочного показателя заключен в характеристике величины части древесного ствола, формирование которого обеспечено единицей площади поперечного сечения. Этот показатель предложен К.К. Высоцким [2; 11].

На рисунке 3 показано изменение этой характеристики у деревьев ели различного возраста.

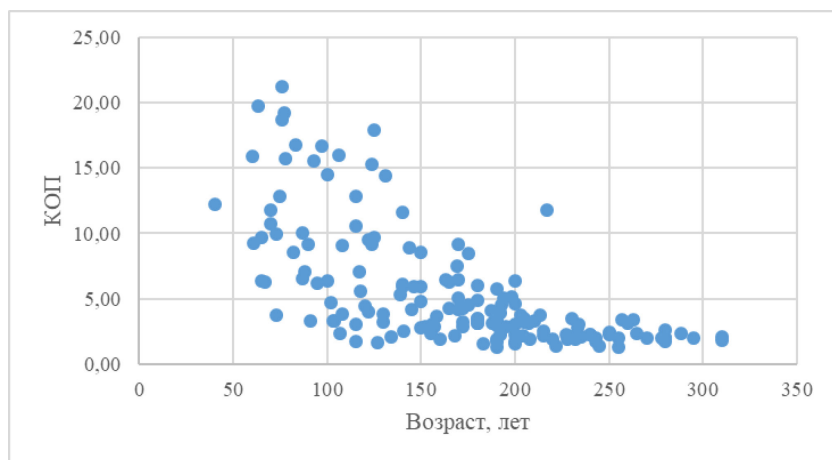


Рис. 3. Динамика коэффициента интенсивности роста деревьев ели

Исходя из графика, можно выделить три группы коэффициентов интенсивности роста деревьев ели в высоту. В первую группу входят коэффициенты деревьев, имеющих возраст до 150 лет. Группа отличается значительным варьированием показателя, в этот же возрастной промежуток наиболее четко проявляются индивидуальные свойства каждого дерева, его генетические особенности, влияние условий произрастания в пределах древостоев, влияние особенностей размещения, обеспечивающих возможности конкуренции за свет, минеральные вещества и т.п.

Вторая группа характеризуется средней изменчивостью признака и формируется из деревьев возраста 151-200 лет

И третья группа представлена деревьями, возраст которых превышает 200 лет. В этой группе изменчивость и величина коэффициентов интенсивности роста снижена до минимальных значений. Возраст деревьев приближен к возрасту естественного отпада.

Таким образом, можно констатировать, что спелые, низкопроизводительные древостои ели в суровых климатических условиях Енисейского края имеют ряд особенностей роста деревьев в высоту.

Прежде всего это находит отражение в том, что в пределах совокупности древостоев, относящихся к одной группе типов леса и даже к одному типу леса формируются несколько различающихся естественных рядов развития. Детализация периодов интенсивности роста деревьев ели и использование ее при разработке нормативов отражающих динамику таксационных показателей древостоев или динамику их товарной структуры в сочетании с кривыми хода роста в высоту может с одной стороны явиться элементом раскрывающим особенности процесса развития биогеоценоза, а с другой уточняющим содержание лесотаксационных нормативов.

Данное, обладающее новизной направление, позволит разработать более совершенные методики построения таблиц хода роста, в том числе для отдельных элементов леса сложных, смешанных насаждений.

Заключение

Еловые леса Енисейского края, формируясь в суровых горных условиях Средней Сибири, обладают рядом особенностей основными из которых являются низкая производительность и достаточно высокая полнота, иногда превышающая максимальные стандартные значения. Анализ особенностей роста еловых древостоев в высоту, установленные связи высот и диаметров деревьев в отдельных древостоях показали на наличие нескольких различающихся естественных рядов формирования древостоев.

Рассмотрение ряда коэффициентов интенсивности роста позволило выделить несколько периодов в величине этого показателя.

На основе полученных результатов, предлагается, при установлении особенностей вертикального формирования древостоев совместное рассмотрение хода роста и показателей интенсивности роста, что позволит детализировать процесс развития формации и более обоснованно выделить отдельные ряды естественного развития древостоев.

В заключение нельзя не отметить, что для специфических условий местопроизрастания древостоев ели на Енисейском крае требуется разработка собственной нормативной базы таксации.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Лесных экосистем» проекта «Динамика восстановления таежных лесов Центральной Сибири, нарушенных энтомовредителями» (№ FEFE-2024-0029).

Список литературы

1. Балакир, М. В., & Машковский, В. П. (2011). Строение еловых насаждений искусственного происхождения по верхней высоте в условиях Беларуси. В *Леса Евразии — Брянский лес: Материалы XI Международной конференции молодых ученых* (с. 34–35). Москва: МГУЛ. EDN: <https://elibrary.ru/erfrln>
2. Высоцкий, К. К. (1962). *Закономерности строения смешанных древостоев*. Москва: Гослесбумиздат. Т. 177.
3. Дерюгин, А. А. (2021). Формирование еловых древостоев в парцеллярных структурах с одинаковой густотой предварительной генерации ели после рубки березняка. *Сибирский лесной журнал*, 2, 96–102. <https://doi.org/10.15372/SJFS20210209> EDN: <https://elibrary.ru/manmyu>
4. Орлов, М. М. (1929). *Лесная таксация* (3-е изд.). Ленинград: Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть.
5. Стороженко, В. Г. (2022). Особенности горизонтальной структуры лесов еловых формаций европейской тайги России. *Лесной журнал*, 2, 39–49. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-2-39-49> EDN: <https://elibrary.ru/ddxaa>
6. Стороженко, В. Г. (2022). Структуры древесных фракций и объемы компонентов древесины еловых биогеоценозов тайги европейской России. *Сибирский лесной журнал*, 2, 29–40. <https://doi.org/10.15372/SJFS20220204> EDN: <https://elibrary.ru/yfuoiq>
7. Стороженко, В. Г. (2019). Коренные девственные ельники как эталоны биоразнообразия и устойчивости зональных формаций. *Хвойные бореальной зоны*, 37(1), 55–60. EDN: <https://elibrary.ru/yzcueh>
8. Усольцев, В. А., Цепордей, И. С., & Часовских, В. П. (2023). Высота древостоев ели (род *Picea*) как характеристика их продуктивности: климатические аспекты. *Хвойные бореальной зоны*, 41(5), 419–424. <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2023-5-419-424> EDN: <https://elibrary.ru/quavti>
9. Фалалеев, Э. Н. (1964). *Пихтовые леса Сибири и их использование*. Москва: Лесная Промышленность. 167 с.

10. Цепордей, И. С. (2024). Изменение высоты деревьев и древостоев некоторых хвойных и лиственных видов в климатических градиентах Евразии. *Хвойные бореальной зоны*, 42(2), 45–52. <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-2-45-52> EDN: <https://elibrary.ru/eujlgg>
11. Шевелев, С. Л., Шолохова, М. Ю., Михайлов, П. В., & др. (2019). Особенности использования комплексного оценочного показателя при характеристике формирования древостоев лиственницы сибирской. *Хвойные бореальной зоны*, 37(1), 61–67. EDN: <https://elibrary.ru/yzcuep>
12. Granström, A. (2001). Fire management for biodiversity in the European boreal forest. *Scandinavian Journal of Forest Research. Supplement*, 3, 62–69.
13. King, D. A. (1996). Allometry and life history of tropical trees. *Journal of Tropical Ecology*, 12, 25–44.
14. Lin, C., Tsogt, K., & Zandraabal, T. (2016). A decompositional stand structure analysis for exploring stand dynamics of multiple attributes of a mixed-species forest. *Forest Ecology and Management*, 378, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.022> EDN: <https://elibrary.ru/wromnl>
15. Lines, E. R., Zavala, M. A., Purves, D. W., et al. (2012). Predictable changes in aboveground allometry of trees along gradients of temperature, aridity and competition. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 1017–1028. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00746.x> EDN: <https://elibrary.ru/rclcfkj>
16. Malhi, Y., Wood, D., Baker, T. R., et al. (2006). The regional variation of aboveground live biomass in old growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 12, 1107–1138.
17. Nogueira, E. M., Nelson, B. W., & Fearnside, P. M., et al. (2008). Tree height in Brazil's "arc of deforestation": shorter trees in South and Southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecology and Management*, 255, 2963–2972.
18. Nordlind, E., & Östlund, L. (2003). Retrospective comparative analysis as a tool for ecological restoration: a case study in a Swedish boreal forest. *Forestry*, 76, 243–251. EDN: <https://elibrary.ru/iojpfx>
19. Paoli, G., Curran, L., & Slik, J. (2008). Soil nutrients affect spatial patterns of aboveground biomass and emergent tree density in Southwestern Borneo. *Oecologia*, 155, 287–299. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0906-9> EDN: <https://elibrary.ru/slzopx>
20. Shorohova, E., Kuuluvainen, T., Kangur, A., & Jõgiste, K. (2009). Natural stand structures, disturbance regimes and successional dynamics in the Eurasian boreal forests: a review with special reference to Russian studies. *Annals of Forest Science*, 66(2), 1–20. <https://doi.org/10.1051/forest/2008083> EDN: <https://elibrary.ru/lltdev>

21. Siitonen, J. (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletin*, 49, 11–41.

References

1. Balakir, M.V., & Mashkovsky, V.P. (2011). Structure of artificial spruce stands by upper height in Belarusian conditions. In *Forests of Eurasia — Bryansk Forest: Proceedings of the XI International Conference of Young Scientists* (pp. 34–35). Moscow: MGUL. EDN: <https://elibrary.ru/erfrln>
2. Vysotsky, K.K. (1962). *Regularities of mixed stands structure*. Moscow: Goslesbumizdat. Vol. 177.
3. Deryugin, A.A. (2021). Formation of spruce stands in parcel structures with the same density of preliminary spruce generation after birch stand cutting. *Siberian Journal of Forest Science*, 2, 96–102. <https://doi.org/10.15372/SJFS20210209> EDN: <https://elibrary.ru/manmyu>
4. Orlov, M.M. (1929). *Forest assessment*. 3rd ed. Leningrad: Lesn. hoz-vo i lesn. prom-st.
5. Storozhenko, V.G. (2022). Features of horizontal structure of forests of spruce formations in the European taiga of Russia. *Forest Journal*, 2, 39–49. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-2-39-49> EDN: <https://elibrary.ru/ddxaa>
6. Storozhenko, V.G. (2022). Structures of wood fractions and volumes of wood components in spruce biogeocenoses of the European Russian taiga. *Siberian Journal of Forest Science*, 2, 29–40. <https://doi.org/10.15372/SJFS20220204> EDN: <https://elibrary.ru/yfuoiq>
7. Storozhenko, V.G. (2019). Virgin primeval spruce forests as standards of biodiversity and stability of zonal formations. *Conifers of the Boreal Zone*, 37(1), 55–60. EDN: <https://elibrary.ru/yzcueh>
8. Usoltsev, V.A., Tsepordei, I.S., & Chasovskikh, V.P. (2023). Height of spruce stands (genus *Picea*) as a characteristic of their productivity: climatic aspects. *Conifers of the Boreal Zone*, 41(5), 419–424. <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2023-5-419-424> EDN: <https://elibrary.ru/qoavti>
9. Falaleev, E.N. (1964). *Fir forests of Siberia and their use*. Moscow: Lesn. prom-st. 167 p.
10. Tsepordei, I.S. (2024). Changes in tree and stand height of some coniferous and deciduous species in climatic gradients of Eurasia. *Conifers of the Boreal Zone*, 42(2), 45–52. <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-2-45-52> EDN: <https://elibrary.ru/eujlgg>
11. Shevelev, S. L., Sholokhova, M. Yu., Mikhailov, P. V., et al. (2019). Features of using a comprehensive evaluation indicator in characterizing the formation of

- Siberian larch stands. *Conifers of the Boreal Zone*, 37(1), 61–67. EDN: <https://elibrary.ru/yzcuep>
12. Granström, A. (2001). Fire management for biodiversity in the European boreal forest. *Scandinavian Journal of Forest Research. Supplement*, 3, 62–69.
 13. King, D. A. (1996). Allometry and life history of tropical trees. *Journal of Tropical Ecology*, 12, 25–44.
 14. Lin, C., Tsogt, K., & Zandraabal, T. (2016). A decompositional stand structure analysis for exploring stand dynamics of multiple attributes of a mixed-species forest. *Forest Ecology and Management*, 378, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.022> EDN: <https://elibrary.ru/wromnl>
 15. Lines, E. R., Zavala, M. A., Purves, D. W., et al. (2012). Predictable changes in aboveground allometry of trees along gradients of temperature, aridity and competition. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 1017–1028. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00746.x> EDN: <https://elibrary.ru/rlcfkj>
 16. Malhi, Y., Wood, D., Baker, T. R., et al. (2006). The regional variation of aboveground live biomass in old growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 12, 1107–1138.
 17. Nogueira, E. M., Nelson, B. W., & Fearnside, P. M., et al. (2008). Tree height in Brazil's "arc of deforestation": shorter trees in South and Southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecology and Management*, 255, 2963–2972.
 18. Nordlind, E., & Östlund, L. (2003). Retrospective comparative analysis as a tool for ecological restoration: a case study in a Swedish boreal forest. *Forestry*, 76, 243–251. EDN: <https://elibrary.ru/iojpx>
 19. Paoli, G., Curran, L., & Slik, J. (2008). Soil nutrients affect spatial patterns of aboveground biomass and emergent tree density in Southwestern Borneo. *Oecologia*, 155, 287–299. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0906-9> EDN: <https://elibrary.ru/slzopx>
 20. Shorohova, E., Kuuluvainen, T., Kangur, A., & Jögi, K. (2009). Natural stand structures, disturbance regimes and successional dynamics in the Eurasian boreal forests: a review with special reference to Russian studies. *Annals of Forest Science*, 66(2), 1–20. <https://doi.org/10.1051/forest/2008083> EDN: <https://elibrary.ru/lltdev>
 21. Siitonen, J. (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletin*, 49, 11–41.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шевелев Сергей Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
shewel341@yandex.ru

Михайлов Павел Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
mihaylov.p.v@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergey L. Shevelev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
shewel341@yandex.ru

Pavel V. Mikhailov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
mihaylov.p.v@mail.ru

Поступила 15.10.2024

После рецензирования 13.11.2024

Принята 05.12.2024

Received 15.10.2024

Revised 13.11.2024

Accepted 05.12.2024