



Влияние усыхания на изреживание еловых древостоев и на изменение породного состава лесных насаждений Пермского края

Людмила А. Иванчина¹ ✉, ivanchina.ludmila@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-9476-8683>

Евгений Г. Большаков², b.e.g@mail.ru,  <https://orcid.org/0009-0000-9701-940X>

¹Естественнонаучный институт ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», ул. Букирева, 15, г. Пермь, 614068, Российская Федерация

²Пермский филиал ФГБУ «Рослесинфорг», ул. Маршрутная, 14Ж, г. Пермь, 614990, Российская Федерация

Происходящее в последние десятилетия в нашей стране и в других странах мира явление массового усыхания ельников имеет множество негативных последствий: потеря среды обитания, сокращение площади лесов, выступающих как поглотитель углерода, неспособность лесов выполнять защитные, средообразующие и водоохраные функции. Массовое усыхание еловых древостоев способно привести к изменению их состава, значительному изреживанию еловых древостоев, а также к смене пород. Объектом исследований служили ельники, произрастающие в южной части Пермского края, на территории Октябрьского и Чайковского лесничеств. В ходе исследования в летние периоды 2017–2024 гг. было обследовано 52 лесных насаждения в пределах пробных площадей. Обследованы ельники кисличного и липового типов леса. В результате обследования в указанные годы установлено, что по санитарному состоянию преобладают усыхающие древостои ели, их доля превышает 50 %. Доля погибших ельников составила 17,3 % от общего числа обследованных древостоев. Рассчитанный коэффициент вариации свидетельствует о том, что изменчивость средневзвешенных баллов санитарного состояния с увеличением возраста еловых древостоев возрастает в насаждениях обоих исследуемых типов леса. Зависимость изменчивости средневзвешенных баллов санитарного состояния от возраста древостоев описывается полиномиальной функцией. В насаждениях обоих типов леса после усыхания в среднем выживает от 30,7 до 47,3 % деревьев ели по запасу. В результате усыхания породный состав насаждений изменился в 75% случаев. Преобладают насаждения, доля участия ели в составе древостоев которых в результате усыхания сократилась на 10 %. В ряде случаев наблюдается смена коренных еловых древостоев на мягколиственные. При этом доля насаждений, в которых процесс усыхания привел к полной гибели деревьев ели, составляет 5,8%. В результате изучения густоты установлено, что усыхание части деревьев ели привело к образованию еловых древостоев малой густоты и редколесий.

Ключевые слова: *усыхание еловых древостоев, породный состав лесных насаждений, средневзвешенный балл санитарного состояния древостоев, запас древостоя, густота древостоя, смена пород, редколесье, ельник кисличный, ельник липовый*

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10057, <https://rscf.ru/project/24-76-10057/>.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи. Также авторы выражают благодарность Министерству природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края за содействие в проведении исследований.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванчина, Л. А. Влияние усыхания на изреживание еловых древостоев и на изменение породного состава лесных насаждений Пермского края / Л. А. Иванчина, Е. Г. Большаков // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 4 (56). – С. 6–21. – Библиогр.: с. 18–21 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/1>.

Поступила 25.11.2024. *Пересмотрена* 03.12.2024. *Принята* 06.12.2024. *Опубликована онлайн* 27.12.2024.

Article

The impact of drying on the thinning of spruce stands and on changes in the species composition of forest in the Perm Krai

Ludmila A. Ivanchina¹ ✉, ivanchina.ludmila@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-9476-8683>

Evgeny G. Bolshakov², b.e.g@mail.ru,  <https://orcid.org/0009-0000-9701-940X>

¹*Natural Science Institute of Perm State University, 15 Bukireva str., Perm, 614068, Russian Federation*

²*Roslesinforg Federal State Budgetary Institution, Perm branch, 14Zh Marshrutnaya str., Perm, 614990, Russian Federation*

Abstract

The phenomenon of a massive drying out of spruce stands, which has been taking place in recent decades in our country and in other countries of the world, has many negative consequences: reduction of the area of forests acting as a carbon sink, inability of forests to perform their protective, environment-forming, water-protecting functions, and loss of habitat. A massive drying out of spruce stands can lead to changes in forest composition, significant thinning of spruce stands, and the change of the species. The focus of our research was on spruce forests in the southern part of the Perm Krai, specifically within the Oktyabrsky and Tchaikovsky forestries. 52 forest stands had been examined within our study area, primarily focusing on spruce forests of the wood sorrel and linden forest types, in the summer periods of 2017-2024. As a result of the study in the above years, it was found that in terms of sanitary condition, the predominant species of spruce stands are spruce stands that are dying out, their share exceeding 50 %. Additionally, around 17.3% of the surveyed stands were found dead. The calculated coefficient of variation indicates that the variability of the average weighted scores of the sanitary condition increases with the age of spruce stands in plantations of both studied forest types. The dependence of variability of weighted average sanitary condition scores on the age of the stands is described by a polynomial function. On average, 30.7 to 47.3% of spruce trees survive after drying out in plantations of both types of forest. The species composition of plantations changed in 75% of cases as a result of drying out. The predominant stands are those where the share of spruce in the composition of stands has decreased by 10 %. In a number of cases there is a change from native spruce stands to soft stands. At the same time, the share of stands in which the drying out process led to the complete death of spruce trees is 5.8%. As a result of the density study, it has established that the drying out of some spruce trees led to the formation of spruce stands of low density and sparse forests.

Keywords: *drying out of spruce stands, species composition of forest plantations, weighted average scores of sanitary condition of forest stands, growing stock, stand density, species conversion, sparse forest, wood sorrel spruce forest, linden spruce forest*

Funding: the research was funded by a Russian Science Foundation grant № 24-76-10057, <https://rscf.ru/project/24-76-10057/>

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review. The authors would also like to thank the Ministry of Natural Resources, Forestry, and Environment of the Perm Krai for their support in carrying out the research.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Ivanchina L. A., Bolshakov E. G. (2024). The impact of drying on the thinning of spruce stands and on changes in the species composition of forest in the Perm Krai. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 4 (56). pp. 6-21 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/1>.

Received 25.11.2024. *Revised* 03.12.2024. *Accepted* 06.12.2024. *Published online* 27.12.2024.

Введение

Происходящее в последние десятилетия как в нашей стране [1-3], так и за рубежом [4-7], явление массового усыхания еловых лесов имеет множество негативных последствий: леса утрачивают свои защитные, средообразующие, водоохранные функции.

Зарубежные ученые Лескинен П., Линднер М., Веркерк П.Й. (2020) [8] отмечают, что леса Российской Федерации представляют собой крупный поглотитель углерода, при этом последовательное увеличение уровня усыхания древостоев может привести к значительному сокращению площади лесов, выступающих как поглотитель углерода.

Увеличение гибели насаждений может способствовать обезлесению и потере среды обитания. Потеря лесов представляет собой серьезную угрозу для биоразнообразия [9].

Первоначальное ослабление или гибель части деревьев в насаждении, деградация и нарушение лесной экосистемы могут привести к последующим разрушительным последствиям, которые являются более обширными и значительными [10, 11].

Кроме того, массовое усыхание еловых древостоев способно привести к изменению состава и структуры лесов, к значительному изреживанию еловых древостоев, а также к смене пород. По мнению большинства ученых [12], смена коренных темнохвойных лесов на производные мягколиственные является нежелательным процессом, поскольку мягколиственные древостои менее продуктивны.

Цель исследований – установление влияния процесса усыхания деревьев ели на изменение породного состава лесных насаждений и на изреживание еловых древостоев.

Материалы и методы

Объектом исследований служили ельники, произрастающие в южной части Пермского края, на территории Октябрьского и Чайковского лесничеств. Предметом исследований являются санитар-

ное состояние еловых древостоев, соотношение запасов живых и погибших деревьев ели, породный состав лесных насаждений, соотношение количества живых и погибших деревьев ели (густота еловых древостоев).

Исследования проводились методом пробных площадей, которые закладывались по стандартной методике [13]. В пределах каждой пробной площади проводился сплошной пересчет с определением категории санитарного состояния каждого дерева в соответствии со шкалой, представленной в действующих правилах санитарной безопасности в лесах [14]. У модельных деревьев измерялась высота с помощью высотомера Suunto PM-5 и определялся возраст с помощью возрастного бурава Haglof. Среднюю высоту определяли с помощью графика высот. Значения средней высоты использовались для определения разрядов высот, которые применяются в сортиментных и товарных таблицах для определения объемов стволов [15]. Породный состав насаждений определялся по запасу: по доле участия каждой породы от общего запаса всего древостоя [16].

В летние периоды 2017-2024 гг. было обследовано 52 пробных площади в насаждениях ели (Е.к.) и липового (Е.лп.) типов леса, подверженных усыханию. Возраст исследованных еловых насаждений варьирует от 51 до 80 лет.

Средневзвешенные баллы санитарного состояния еловых древостоев определялись и оценивались по методикам, представленным в действующих правилах санитарной безопасности в лесах [14].

Оценка густоты древостоев осуществлялась по классификации, разработанной М.К. Бочаровым и Г.Г. Самойловичем (1964) [17].

Определение статистических показателей и построение гистограмм осуществлялось с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel (версия 2019 года). Рассчитаны основные статистические показатели. Оценка коэффициента вариации проводилась по шкале, представленной в работе Н.Я. Сидельника с соавторами (2021) [18].

Результаты

В табл. 1 представлены статистические показатели средневзвешенных баллов санитарного состояния еловых древостоев, которые подверглись усыханию и послужили объектами исследований.

Таблица 1

Статистические показатели средневзвешенных баллов санитарного состояния еловых древостоев, подвергшихся усыханию

Table 1

The statistical data of weighted average sanitary condition scores of spruce stands subjected to drying out

| Тип леса The type of forest | Возраст, лет Age, year | Статистические показатели средневзвешенных баллов санитарного состояния еловых древостоев The statistical data of weighted average sanitary condition scores of spruce stands subjected to drying out | | | | | | | | |
|---|--------------------------|---|-------------------------------|--|-------------------|--------------------|---------------------|---|------------------|-------------|
| | | Количество древостоев, шт. Number of forest stands, pcs. | Среднее Average measurement | Стандартная ошибка измерения Standard error of measurement | Минимум Minimum | Максимум Maximum | Интервал Interval | Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, % | Медиана Median | Мода Mode |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Ельник кисличный Sorrel spruce forest | 51-60 | 4 | 4,2 | 0,14 | 3,90 | 4,5 | 0,60 | 6,6 | 4,2 | - |
| | 61-70 | 10 | 3,8 | 0,14 | 3,07 | 4,3 | 1,23 | 12,2 | 3,7 | - |
| | 71-80 | 7 | 4,0 | 0,21 | 2,98 | 4,68 | 1,70 | 14,0 | 4,0 | - |
| Итого Total | | 21 | 3,9 | 0,10 | 2,98 | 4,68 | 1,70 | 12,2 | 4,0 | 4,3 |
| Ельник липовый Linden spruce forest | 51-60 | 8 | 4,2 | 0,21 | 3,00 | 4,94 | 1,94 | 13,7 | 4,3 | - |
| | 61-70 | 12 | 3,9 | 0,16 | 2,82 | 4,80 | 1,98 | 14,3 | 3,8 | - |
| | 71-80 | 11 | 4,0 | 0,21 | 3,10 | 5,00 | 1,90 | 17,2 | 4,1 | 4,1 |
| Итого Total | | 31 | 4,0 | 0,11 | 2,82 | 5,00 | 2,18 | 15,2 | 4,1 | 3,3 |
| Всего Grand total | | 52 | 4,0 | 0,08 | 2,82 | 5,00 | 2,18 | 14,0 | 4,0 | 4,0 |

Источник: собственные вычисления авторов

Source: calculations of the authors

Средневзвешенные баллы санитарного состояния еловых древостоев в насаждениях ельника кисличного варьируют от 2,98 (сильно ослабленные) до 4,68 (погибшие), а в насаждениях ельника липового – от 2,82 (сильно ослабленные) до 5,0 (погибшие). Среднее значение средневзвешенного балла санитарного состояния в насаждениях всех типов леса составляет 4,0 (усыхающие насаждения).

Изменчивость исследуемого признака в большинстве случаев средняя (большинство значений превышает 10%). Только у древостоев ельника кисличного, имеющих возраст от 51 до 60 лет, варьирование составляет 6,6% и является слабым.

Коэффициент вариации свидетельствует о том, что изменчивость средневзвешенных баллов санитарного состояния с увеличением возраста еловых древостоев возрастает в насаждениях обоих типов леса. Зависимость изменчивости изучаемого признака от возраста древостоев описывается полиномиальной функцией (рис. 1). Сведения о запасах еловых древостоев, в которых произошло усыхание части деревьев, представлены в табл. 2.

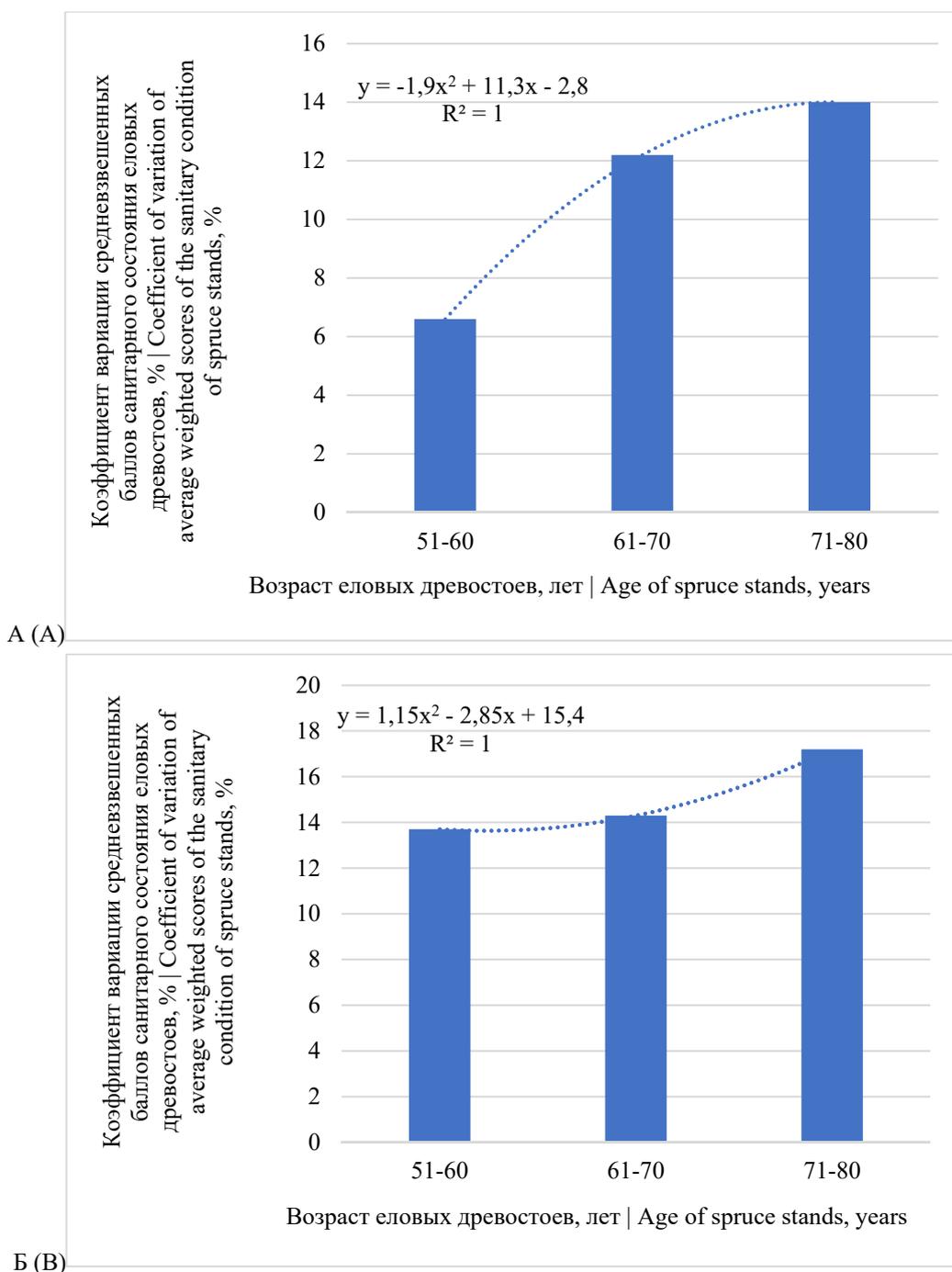


Рисунок 1. Гистограмма и уравнение зависимости коэффициента вариации средневзвешенных баллов санитарного состояния еловых древостоев от их возраста: А – еловые древостои, произрастающие в насаждениях кисличного типа леса; Б – еловые древостои, произрастающие в насаждениях липового типа леса

Figure 1. Histogram and equation of dependence of the coefficient of variation of average weighted scores of the sanitary condition of spruce stands on their age: А – spruce stands growing in sorrel spruce forests; Б – spruce stands growing in linden spruce forests

Источник: собственная композиция автора | Source: author's composition

Статистические показатели запаса елового древостоя в лесном насаждении до усыхания его части и после

Table 2

Statistical data of spruce growing stock in a forest plantation before and after drying out of it's part

| Тип леса The type of forest | Возраст, лет Age, year | Количество древостоев, шт. Number of forest stands, pcs. | Запас елового древостоя до усыхания, кбм/га Spruce growing stock until drying out, m3/ha | | | Запас елового древостоя после усыхания, кбм/га Spruce growing stock after drying out, m3/ha | | | Доля запаса выживших деревьев ели после усыхания, % The percentage of spruce growing stock after drying out, % | | |
|--|-----------------------------|---|---|----------------------|-----------------------|--|----------------------|-----------------------|---|----------------------|-----------------------|
| | | | Среднее Average | Минимум Minimum | Максимум Maximum | Среднее Average | Минимум Minimum | Максимум Maximum | Среднее Average | Минимум Minimum | Максимум Maximum |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 13 | 14 | 15 |
| Ельник кисличный Sorrel spruce forest | 51-60 | 4 | 118,7 | 105,0 | 134,8 | 36,5 | 24,1 | 45,7 | 30,8 | 21,6 | 40,3 |
| | 61-70 | 10 | 107,1 | 47,5 | 199,4 | 46,7 | 6,8 | 80,3 | 47,0 | 8,4 | 79,3 |
| | 71-80 | 7 | 136,7 | 87,8 | 184,5 | 59,5 | 10,7 | 105,6 | 43,3 | 12,2 | 80,6 |
| Итого Total | | 21 | 119,2 | 47,5 | 199,4 | 49,0 | 6,8 | 105,6 | 42,7 | 8,4 | 80,6 |
| Ельник липовый Linden spruce forest | 51-60 | 8 | 67,2 | 19,7 | 197,3 | 26,8 | 0 | 83,0 | 30,7 | 0 | 69,8 |
| | 61-70 | 12 | 54,7 | 21,8 | 126,6 | 28,9 | 0 | 79,5 | 47,3 | 0 | 81,4 |
| | 71-80 | 11 | 62,9 | 17,7 | 132,8 | 28,2 | 0 | 75,8 | 44,7 | 0 | 80,3 |
| Итого Total | | 31 | 60,8 | 17,7 | 197,3 | 28,1 | 0 | 83,0 | 42,1 | 0 | 81,4 |
| Всего Grand total | | 52 | 84,4 | 17,7 | 199,4 | 36,5 | 0 | 105,6 | 42,3 | 0 | 81,4 |

Источник: собственные вычисления авторов

Source: calculations of the authors

В среднем, запасы елового элемента леса в насаждениях липового типа леса значительно ниже (в среднем, в насаждениях разных возрастных групп до усыхания запас варьировал от 54,7 до 67,2 кбм), чем в насаждениях кисличного типа леса (в среднем варьировал от 107,1 до 136,7 кбм). После усыхания запас в среднем в насаждениях липового типа леса составил от 26,8 до 28,9 кбм, что также значительно ниже, чем в насаждениях ельника кисличного (после усыхания запас варьирует от 36,5 до 59,5 кбм). В насаждениях обоих типов леса после усыхания в среднем выживает от 30,7 до 47,3 % деревьев ели, что меньше половины от первоначального запаса. При этом в результате усыхания максимум способно

выжить более 80 % деревьев ели от их первоначального запаса. Кроме того, в ельниках липового типа леса всех возрастных групп имеются насаждения, в которых усыханию подверглись все деревья ели, и соответственно, еловый древостой полностью погиб.

Сравнение запасов выживших и погибших после усыхания еловых древостоев представлено на рис. 2. Согласно материалам графика боксплот, минимальные значения и медианы, а в насаждениях ельника кисличного и в общей выборке максимальные значения запасов погибших деревьев больше, чем аналогичные показатели сохранившихся еловых древостоев. Выбросы значений, характерные для по-

гибших древостоев, превышают максимальные значения выборок. Указанное свидетельствует, что

усыханию подвержена большая часть деревьев ели по запасу.

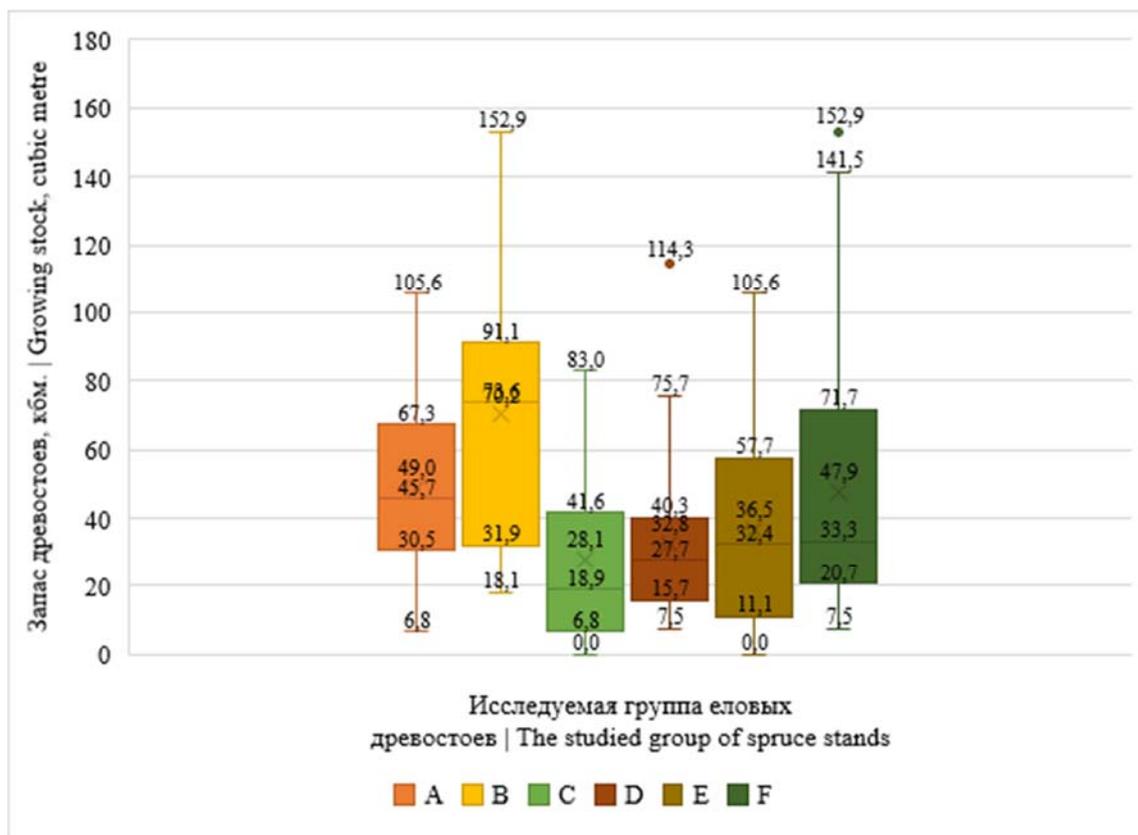


Рисунок 2. Запас выживших и усохших еловых древостоев в результате усыхания: А – Выжившие деревья ели (насаждения ельника кисличного); В – Усохшие деревья ели (насаждения ельника кисличного); С – Выжившие деревья ели (насаждения ельника липового); D – Усохшие деревья ели (насаждения ельника липового); E – Выжившие деревья ели (общая выборка); F – Усохшие деревья ели (общая выборка)

Figure 2. Growing stock of remaining and dried spruce stands due to drying out: A – Remaining spruce trees (sorrel spruce forest); B – Dried spruce trees (sorrel spruce forest); C – Remaining spruce trees (linden spruce forest); D – Dried spruce trees (linden spruce forest); E – Remaining spruce trees (total sample); F – Dried spruce trees (total sample)

Источник: собственная композиция авторов

Source: composition of the authors

Таким образом, высокие запасы деревьев ели, погибающих в результате усыхания, свидетельствуют об изменении породного состава насаждений. В табл. 3 представлены сведения о породном составе насаждений до усыхания части елового древостоя и после усыхания, а также об изменении долевого участия пород.

До усыхания доля участия еловых древостоев в составе насаждений составляла не менее 10% в насаждениях липового типа леса, и не менее 20% –

в насаждениях кисличного типа леса. В среднем она составляла 20-30 и 50-70 % соответственно. В результате усыхания в среднем доля участия ели в составе насаждений сократилась в насаждениях ельника липового на 5-10 %, а в насаждениях ельника кисличного – на 10-30%. Максимальная доля, на которую сократилось участие ели в породном составе насаждений, составила 30 % в ельнике липовом и 50 % – в ельнике кисличном, что составляет половину от общего запаса насаждения.

Во многих случаях усыхание ели привело к увеличению доли участия лиственных пород в формулах состава насаждений. В среднем данный показатель увеличился на 10-20 %. Максимальная доля,

на которую в результате усыхания увеличилось участие лиственных пород, составила 30 % в ельнике кисличном и 40 % в ельнике липовом.

Таблица 3

Статистические показатели породного состава лесных насаждений до усыхания и после усыхания части елового древостоя

Table 3

Statistical data of the species composition of forests before and after drying out of part of the spruce stand

| Тип леса The type of forest | Возраст, лет Age, year | Количество древостоев, шт. Number of forest stands, pcs. | Доля участия еловых древостоев в составе насаждения до усыхания, % The percentage of spruce stands in the composition of the plantation until drying out, % | | | | | Доля участия еловых древостоев в составе насаждения после усыхания, % The percentage of spruce stands in the composition of the plantation after drying out, % | | | | | Доля, на которую сократилось участие ели в породном составе насаждения после усыхания, % The percentage by which the participation of spruce in the species composition of the plantation decreased after drying out, % | | | | | Доля, на которую увеличилось участие лиственных пород в породном составе насаждения после усыхания, % The percentage by which the participation of hardwood in the species composition of the plantation increased after drying out, % | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|---|---|-----------|-------------------|-----------|--------------------|--|-----------|-------------------|-----------|--------------------|---|-----------|-------------------|----------|--------------------|--|---------|-------------------|----------|--------------------|
| | | | Среднее Average | Минимум | Минимум Minimum | Максимум | Максимум Maximum | Среднее Average | Минимум | Минимум Minimum | Максимум | Максимум Maximum | Среднее Average | Минимум | Минимум Minimum | Максимум | Максимум Maximum | Среднее Average | Минимум | Минимум Minimum | Максимум | Максимум Maximum |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | | | | | | | |
| Е.к. Sorrel spruce forest | 51-60 | 4 | 70 | 60 | 70 | 40 | 30 | 50 | 30 | 20 | 40 | 20 | 10 | 30 | | | | | | | | |
| | 61-70 | 10 | 50 | 20 | 80 | 40 | 10 | 70 | 30 | 0 | 50 | 10 | 0 | 20 | | | | | | | | |
| | 71-80 | 7 | 60 | 40 | 80 | 50 | 20 | 80 | 10 | 0 | 20 | 10 | 0 | 20 | | | | | | | | |
| Итого Total | | 21 | 50 | 20 | 80 | 40 | 10 | 80 | 20 | 0 | 50 | 10 | 0 | 30 | | | | | | | | |
| Е.лп. Linden spruce forest | 51-60 | 8 | 30 | 10 | 60 | 20 | 0 | 50 | 10 | 5 | 30 | 15 | 10 | 20 | | | | | | | | |
| | 61-70 | 12 | 20 | 10 | 50 | 20 | 0 | 50 | 5 | 0 | 10 | 10 | 0 | 20 | | | | | | | | |
| | 71-80 | 11 | 30 | 10 | 60 | 20 | 0 | 60 | 10 | 0 | 25 | 10 | 0 | 40 | | | | | | | | |
| Итого Total | | 31 | 30 | 10 | 60 | 20 | 0 | 60 | 10 | 0 | 30 | 10 | 0 | 40 | | | | | | | | |
| Всего Grand total | | 52 | 40 | 10 | 80 | 30 | 0 | 80 | 10 | 0 | 50 | 10 | 0 | 40 | | | | | | | | |

Источник: собственные вычисления авторов

Source: calculations of the authors

Количество деревьев ели на 1 га до усыхания в насаждениях ельника кисличного (в среднем варьирует от 175 до 258 шт./га) значительно выше, чем в насаждениях ельника липового (составляет в сред-

нем 133-140 шт./га) (табл. 4). В соответствии с классификацией древостоев по густоте М.К. Бочарова и Г.Г. Самойловича (1964), еловые древостои в ельниках кисличных характеризуются средней густотой, а

в ельниках липовых – малой густотой. Густота еловых древостоев в насаждениях липового типа леса достигает 353 шт./га (средняя густота древостоев), а в насаждениях кисличного типа леса – 473 шт./га (густой древостой).

В результате усыхания густота елового древостоя снижается в среднем до 61-121 шт./га в

насаждениях кисличного типа леса (древостой малой густоты), что составляет 35,1-52,5 % от исходной густоты, и до 57-74 шт./га в насаждениях липового типа леса (древостой редкой и малой густоты), что составляет 33,5-49,0 % от количества деревьев, произраставших до усыхания.

Таблица 4

Статистические показатели густоты елового древостоя в лесном насаждении до усыхания его части и после

Table 4

Statistical data of spruce stand density in a plantation before and after drying out of it's part

| Тип леса The type of forest | Возраст, лет Age, year | Количество древостоев, шт. Number of forest stands, pcs. | Густота елового древостоя до усыхания, шт./га Spruce stand density before drying out, pcs. /ha | | | | Густота елового древостоя после усыхания, шт./га Spruce stand density after drying out, pcs. /ha | | | | Доля густоты выживших деревьев ели после усыхания, % The percentage of density of the surviving spruce trees after drying out, % | | |
|---|--------------------------|--|--|-----------|------------|------------|--|------------|-------------|-------------|--|---------|---------|
| | | | Среднее Average | Минимум | Минимум | Максимум | Среднее Average | Минимум | Минимум | Максимум | Среднее Average | Минимум | Минимум |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 13 | 14 | 15 | | |
| Ельник кисличный Sorrel spruce forest | 51-60 | 4 | 175 | 135 | 219 | 61 | 46 | 68 | 35,1 | 30,1 | 39,9 | | |
| | 61-70 | 10 | 258 | 76 | 473 | 121 | 25 | 221 | 52,5 | 26,4 | 80,6 | | |
| | 71-80 | 7 | 227 | 135 | 372 | 102 | 14 | 176 | 44,6 | 10,4 | 83,4 | | |
| Итого Total | | 21 | 232 | 76 | 473 | 103 | 14 | 221 | 46,6 | 10,4 | 83,4 | | |
| Ельник липовый Linden spruce forest | 51-60 | 8 | 140 | 57 | 300 | 57 | 0 | 180 | 33,5 | 0 | 80 | | |
| | 61-70 | 12 | 133 | 55 | 308 | 74 | 0 | 192 | 49,0 | 0 | 72,3 | | |
| | 71-80 | 11 | 133 | 37 | 353 | 64 | 0 | 192 | 46,6 | 0 | 81,6 | | |
| Итого Total | | 31 | 134 | 37 | 353 | 66 | 0 | 192 | 44,2 | 0 | 81,6 | | |
| Всего Grand total | | 52 | 174 | 37 | 473 | 81 | 0 | 221 | 45,1 | 0 | 83,4 | | |

Источник: собственные вычисления авторов

Source: calculations of the authors

В результате усыхания густота елового древостоя снижается в среднем до 61-121 шт./га в насаждениях кисличного типа леса (древостой малой густоты), что составляет 35,1-52,5 % от исходной густоты, и до 57-74 шт./га в насаждениях липового типа леса (древостой редкой и малой густоты), что составляет 33,5-49,0 % от количества деревьев, произраставших до усыхания.

После усыхания максимальное количество выживших деревьев составило 221 шт./га (древостой средней густоты) в насаждениях кисличного типа леса, и 192 шт./га (древостой средней густоты) – в насаждениях липового типа леса.

Таким образом, в процессе усыхания густота еловых древостоев, произрастающих в условиях ельника кисличного, снижается от средней до ма-

лой, а древостоев, произрастающих в условиях ельника липового, - от малого количества деревьев до редколесья.

На рис. 3 представлено количество на 1 га сохранившихся и погибших после усыхания деревьев ели. В соответствии с материалами рисунка, во всех

случаях минимальное количество погибших деревьев ели больше, чем минимальное количество выживших.

По санитарному состоянию преобладают усыхающие древостои ели, их доля составляет свыше 50 % (табл. 5). Доля погибших ельников составила 17,3 % от общего числа обследованных древостоев.

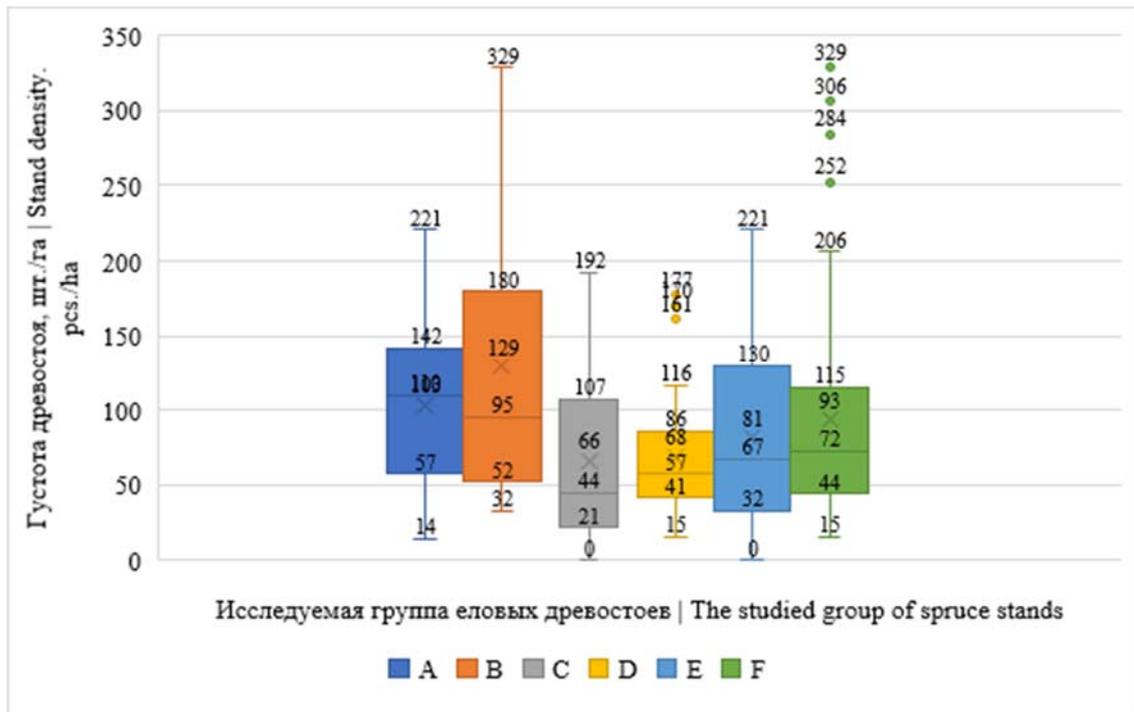


Рисунок 3. Густота выживших и усохших еловых древостоев после усыхания: А – Выжившие деревья ели (насаждения ельника кисличного); В – Усохшие деревья ели (насаждения ельника кисличного); С – Выжившие деревья ели (насаждения ельника липового); D – Усохшие деревья ели (насаждения ельника липового);

Е – Выжившие деревья ели (общая выборка); F – Усохшие деревья ели (общая выборка)

Figure 3. Density of remaining and dried spruce stands due to drying out: A – Remaining spruce trees (sorrel spruce forest); B – Dried spruce trees (sorrel spruce forest); C – Remaining spruce trees (linden spruce forest); D – Dried spruce trees (linden spruce forest); E – Remaining spruce trees (total sample); F – Dried spruce trees (total sample)

Источник: собственная композиция авторов

Source: composition of the authors

Распределение обследованных насаждений по изучаемым параметрам

Table 5

Distribution of investigated plantations by studied parameters

| Тип леса The type of forest | Ельник кисличный Sorrel spruce forest | | | Ельник липовый Linden spruce forest | | | Итого, шт. Total, pcs. | Итого, % Total, % |
|---|---|-------|-------|---------------------------------------|-------|-------|--------------------------|---------------------|
| | 51-60 | 61-70 | 71-80 | 51-60 | 61-70 | 71-80 | | |
| Возраст, лет Age, year | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Количество обследованных древостоев, шт. The number of investigated stands, pcs. | 4 | 10 | 7 | 8 | 12 | 11 | 52 | 100 |
| Количество сильно ослабленных еловых древостоев, шт. The number of severely weakened spruce stands, pcs. | 0 | 4 | 1 | 1 | 3 | 3 | 12 | 23,1 |
| Количество усыхающих еловых древостоев, шт. The number of drying spruce stands, pcs. | 4 | 6 | 4 | 4 | 8 | 5 | 31 | 59,6 |
| Количество погибших еловых древостоев, шт. The number of dead spruce stands, pcs. | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | 3 | 9 | 17,3 |
| Количество полностью погибших еловых древостоев в результате усыхания, шт. The number of completely dead spruce stands as a result of drying out, pcs. | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5,8 |
| Количество насаждений, породный состав которых не изменился в результате усыхания, шт. The number of plantations whose species composition did not change as a result of drying out, pcs. | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 4 | 13 | 25,0 |
| Количество насаждений, в которых после усыхания произошла смена пород (сохранились только мягколиственные породы деревьев и погибли хвойные), шт. The number of plantations in which species conversion occurred as a result of drying out, pcs. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1,9 |
| Количество насаждений, участие ели в породном составе которых в результате усыхания сократилось на 5%, шт. The number of plantations where the spruce percentage in the species composition has decreased by 5% as a result of drying out, pcs. | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 4 | 7,7 |
| Количество насаждений, участие ели в породном составе которых в результате усыхания сократилось на 10%, шт. The number of plantations where the spruce percentage in the species composition has decreased by 10% as a result of drying out, pcs. | 0 | 4 | 3 | 4 | 6 | 4 | 21 | 40,4 |
| Количество насаждений, участие ели в породном составе которых в результате усыхания сократилось на 20%, шт. The number of plantations where the spruce percentage in the species composition has decreased by 20% as a result of drying out, pcs. | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 5 | 9,6 |
| Количество насаждений, участие ели в породном составе которых в результате усыхания сократилось на 30%, шт. The number of plantations where the spruce percentage in the species composition has decreased by 30% as a result of drying out, pcs. | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 5,8 |
| Количество насаждений, участие ели в породном составе которых в результате усыхания сократилось на 40%, шт. The number of plantations where the spruce percentage in the species composition has decreased by 40% as a result of drying out, pcs. | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3,8 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|----|------|
| Количество насаждений, участие ели в породном составе которых в результате усыхания сократилось на 50%, шт. The number of plantations where the spruce percentage in the species composition has decreased by 50% as a result of drying out, pcs. | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1,9 |
| Количество насаждений, градация густоты еловых древостоев которых не изменилась в результате усыхания, шт. The number of plantations whose density gradation of spruce stands did not change as a result of drying out, pcs. | 0 | 3 | 2 | 2 | 4 | 6 | 17 | 32,7 |
| Количество насаждений, еловые древостои которых после усыхания характеризуются средней густотой, шт. The number of plantations whose spruce stands have an average density after drying out, pcs. | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 8 | 15,4 |
| Количество насаждений, еловые древостои которых после усыхания характеризуются малой густотой, шт. The number of plantations whose spruce stands have a low density after drying out, pcs. | 3 | 5 | 3 | 1 | 4 | 6 | 22 | 42,3 |
| Количество насаждений, еловые древостои которых в результате усыхания превратились в редколесье, шт. The number of plantations the spruce stands of which have turned into sparse forests as a result of drying out, pcs. | 1 | 2 | 2 | 5 | 6 | 3 | 19 | 36,5 |

Источник: собственные вычисления авторов

Source: calculations of the authors

Доля насаждений, в которых процесс усыхания привел к полной гибели деревьев ели, составляет 5,8%. Породный состав насаждений после усыхания не изменился в 25% случаев. Преобладают насаждения (их доля составляет 40,4% от общего числа обследованных насаждений), доля участия ели в составе древостоев которых в результате усыхания сократилась на 10 %.

После гибели части деревьев еловый древостой в большинстве случаев характеризуется малой густотой. Доля указанных насаждений составляет 42,3 %. При этом доля редколесий составляет 36,5 %. Доля насаждений, в которых густота елового древостоя в результате усыхания является средней, составляет всего 15,4 %.

Обсуждение

Таким образом, выдвинутая гипотеза о том, что усыхание способно привести к изменению породного состава лесных насаждений и к изреживанию еловых древостоев, подтвердилась. Результаты исследований свидетельствуют, что усыхание деревьев ели приводит к значительному уменьшению запаса и густоты елового древостоя, а также в большинстве случаев – к изменению породного состава лесного насаждения. При изменении породного состава насаждения сокращается доля участия ели, и

увеличивается доля участия лиственных пород. В ряде случаев наблюдается смена коренных еловых древостоев на мягколиственные.

Аналогичные результаты получены и другими исследователями. М.Ю. Пукинская (2020) [19] пришла к выводу, что массовое усыхание ельников в период 1860-1880 гг. в Брянских лесах привело к смене ели кленом и дубом, а усыхание еловых лесов в Лосином острове, которое началось в 1820-х гг., – к вытеснению ели липой. Автор отмечает, что в настоящее время наблюдается аналогичная ситуация в Центрально-Лесном заповеднике: выпавшие неморальные еловые леса сменяются смешанными с доминированием липы и клена. Следует отметить, что в последние годы уменьшение доли хвойных пород и увеличение доли лиственных происходит и в зарубежных странах, о чем свидетельствует работа Т. Thrippleton с соавторами (2020) [20].

Об изреживании еловых древостоев в результате усыхания свидетельствует образование редколесий и древостоев малой густоты.

Статистическая обработка средневзвешенных баллов санитарного состояния еловых древостоев показала, что значения среднего, моды и медианы общей выборки совпадают (равны 4,0). Совпадение указанных статистических показателей

означает, что распределение симметрично и не имеет значительных выбросов [18].

Результаты проведенного авторами исследования могут быть использованы при установлении последствий усыхания еловых лесов, при расчете экономического ущерба государству, при прогнозировании изменения таксационных показателей еловых древостоев и насаждений с их участием.

В дальнейшем авторами планируется провести исследования по сравнению диаметров и форм поперечных сечений деревьев ели разных категорий санитарного состояния. Также необходимо сравнить параметры крон живых и усыхающих деревьев ели.

Выводы

1. Средневзвешенные баллы санитарного состояния еловых древостоев, произрастающих в южной части Пермского края, в насаждениях ельника кисличного варьируют от 2,98 (сильно ослабленные) до 4,68 (погибшие), а в насаждениях ельника липнякового – от 2,82 (сильно ослабленные) до 5,0 (погибшие). Средний балл санитарного состояния в насаждениях всех типов леса составляет 4,0 (усыхающие насаждения). По санитарному состоянию усыхающие насаждения являются преобладающими и составляют свыше 50 % от общей доли обследованных насаждений.

2. Изменчивость средневзвешенных категорий санитарного состояния еловых древостоев с увеличением их возраста возрастает.

3. Значения среднего, моды и медианы общей выборки средневзвешенных баллов санитарного состояния еловых древостоев совпадают (равны 4,0),

что свидетельствует о симметричности распределения.

4. После усыхания в среднем выживает от 30,7 до 47,3 % деревьев ели, что меньше половины от первоначального запаса. При этом в результате усыхания максимум способно выжить более 80 % деревьев ели по запасу. Кроме того, в ельниках липнякового типа леса всех возрастных групп имеются насаждения, в которых усыханию подверглись все деревья ели, и, соответственно, еловый древостой полностью погиб. Доля насаждений, в которых процесс усыхания привел к полной гибели деревьев ели, составляет 5,8%.

5. В результате усыхания в среднем доля участия ели в составе насаждений, произрастающих в южной части Пермского края, сокращается в насаждениях ельника липнякового на 5-10%, а в насаждениях ельника кисличного – на 10-30%. Усыхание ели приводит к увеличению доли участия лиственных пород в составе насаждений в среднем на 10-20%. В ряде случаев наблюдается смена коренных еловых древостоев на мягколиственные.

6. В процессе усыхания в среднем выживает в насаждениях кисличного типа леса 35,1-52,5%, и в насаждениях липнякового типа леса 33,5-49,0 % деревьев ели по густоте, что приводит к образованию еловых древостоев малой густоты и редколесий. Доля насаждений, в которых образовался еловый древостой малой густоты, составляет 42,3 %, а доля насаждений, где образовалось редколесье, – 36,5 %.

Список литературы

1. Пукинская М.Ю. Возобновление темнохвойных пород в очагах усыхания *Picea Orientalis* (Pinaceae) в Тебердинском заповеднике (Западный Кавказ). Ботанический журнал. 2021; Т. 106, № 12: 1167-1179. DOI: 10.31857/S0006813621120073. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47295553>.

2. Пукинская М.Ю. Реконструкция динамики темнохвойных лесов Тебердинского заповедника и перспективы их естественного восстановления после массового усыхания. Поволжский экологический журнал. 2022; 4: 431-451. DOI: 10.35885/1684-7318-2022-4-431-451. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49948485>.

3. Чебакова Н.М., Бажина Е.В., Парфенова Е.И., Сенашова В.А. В поисках фактора “икс”: обзор публикаций по проблеме усыхания темнохвойных лесов Северной Евразии. Метеорология и гидрология. 2022; 5: 123-140. DOI: 10.52002/0130-2906-2022-5-123-140. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49308019>.

4. Nardi D., Jactel H., Pagot E., Samalens J.-C. & Marini L. Drought and stand susceptibility to attacks by the European spruce bark beetle: A remote sensing approach. Agricultural and Forest Entomology. 2023; 25(1): 119-129. DOI: 10.1111/afe.12536. URL: <https://doi.org/10.1111/afe.12536>.

5. Constandache C., Tudor C., Aga V., Popovici L. Ecological restoration of Norway spruce stands affected by drying from outside the natural range. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*. 2024; Vol. XIII: 60-66. URL: <https://landreclamationjournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/current?id=642>.
6. Piedallu C., Dallery D., Bresson C., Legay M., Gégout J.C., Pierrat R. Spatial vulnerability assessment of silver fir and Norway spruce dieback driven by climate warming. *Landscape Ecology*. 2023; 38: 341-361. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-022-01570-1>. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-022-01570-1#citeas>.
7. Löwe, R.; Sedlecký, M.; Sikora, A.; Prok° upková, A.; Modlinger, R.; Novotný, K.; Turčáni, M. How Bark Beetle Attack Changes the Tensile and Compressive Strength of Spruce Wood (*Picea abies* (L.) H. Karst.). *Forests* 2022, 13, 87. <https://doi.org/10.3390/f13010087>. URL: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/1/87>.
8. Лескинен П., Линднер М., Веркерк П.Й., Набуурс Г.Я., Ван Брюсселен Й., Куликова Е., Хассегава М., Леринк Б. Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука. 2020. Европейский институт леса. 142 с. DOI: <https://doi.org/10.36333/wsctu11>.
9. Thorn S., Seibold S., Leverkus A.B., Michler T., Müller J., Noss R.F., Stork N., Vogel S., Lindenmayer D.B. The living dead: acknowledging life after tree death to stop forest degradation. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2020; 18(9): 505-512. DOI: 10.1002/fee.2252. URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fee.2252>.
10. Burton P.J., Jentsch A., Walker L.R. The Ecology of Disturbance Interactions. *BioScience*. 2020; Vol. 70, No. 10: 854-870. DOI: 10.1093/biosci/biaa088. URL: https://www.researchgate.net/publication/345760490_The_Ecology_of_Disturbance_Interactions.
11. Leverkus A.B., Buma B., Wagenbrenner J., Burton P.J., Lingua E., Marzano R., Thorn S. Tamm review: Does salvage logging mitigate subsequent forest disturbances? *Forest Ecology and Management*. 2021; 481: 118721. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118721>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112720314900#preview-section-references>.
12. Теринов Н.Н., Андреева Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А., Магасумова А.Г. Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения. *Изв. вузов. Лесн. журн.* 2020; 3: 9-23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42916011>.
13. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки : Отраслевой стандарт : дата введения 1984-01-01 / Центральное бюро научно-технической информации Гослесхоза СССР. – Изд. официальное. – Москва, 1983. – 60 с.
14. Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах : утверждены Постановлением Правительства РФ от 09.12.2020 № 2047. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370645/0b3dfd4779a800d94c98bb0d44cd53e1dae94450/?ysclid=m3pjix3xsh627809010.
15. Сортиментные и товарные таблицы для равнинных лесов Урала : утверждены Приказом Федеральной службы лесного хозяйства России от 25 мая 2000 г. № 83. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=605972&ysclid=m3pjssji8414355550#LqDIeUUgBQbjP2421>.
16. Нагимов З.Я., Шевелина И.В., Нагимов В.З., Артемьева И.Н. Таксация лесного фонда : учебное пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 150 с.
17. Бочаров М.К., Самойлович Г.Г. Математические основы дешифрирования аэроснимков леса. Москва : Лесн. пром-сть, 1964. 222 с.
18. Сидельник Н.Я., Машковский В.П., Севрук П.В. Лесная биометрия. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие. Минск : БГТУ, 2021. 120 с.
19. Пукинская М.Ю. Смена пород в неморальных ельниках Центрально-Лесного заповедника. *Поволжский экологический журнал*. 2020; 4: 459-476. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-4-459-476>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44465813>.

20. Thrippleton T., Lüscher F., Bugmann H. Climate change impacts across a large forest enterprise in the Northern Pre-Alps: dynamic forest modelling as a tool for decision support. *European J. of Forest Research*. 2020; 139: 483-498. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01263-x>. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-020-01263-x#citeas>.

References

1. Pukinskaya M.Yu. Vozobnovlenie temnohvojnnyh porod v ochagah usyhaniya *Picea Orientalis* (Pinaceae) v Teberdinskom zapovednike (Zapadny'j Kavkaz). [Regeneration of dark coniferous species in the groups of *Picea Orientalis* (Pinaceae) drying in the Teberda nature reserve (Western Caucasus)]. *Botanicheskij zhurnal*. [Botanical journal]. 2021; Vol. 106, No. 12: 1167-1179. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0006813621120073.

2. Pukinskaya M.Yu. Rekonstrukciya dinamiki temnoxvojnny'x lesov Teberdinskogo zapovednika i perspektivy' ix estestvennogo vosstanovleniya posle massovogo usy'xaniya. [Reconstruction of the dynamics of the dark coniferous forests of the Teberdinsky Nature Reserve and prospects for their natural recovery after mass drying out]. *Povolzhskij e'kologicheskij zhurnal*. [Povolzhskiy Journal of Ecology]. 2022; 4: 431-451. (In Russ.). DOI: 10.35885/1684-7318-2022-4-431-451.

3. Tchebakova N.M., Bazhina E.V., Parfenova E.I., Senashova V.A. V poiskax faktora "iks": obzor publikacij po probleme usy'xaniya temnoxvojnny'x lesov Severnoj Evrazii. [In Search of an X Factor: A Review of Publications on the Issue of Dark-needled Forest Decline/Dieback in Northern Eurasia]. *Meteorologiya i gidrologiya*. [Russian Meteorology and Hydrology]. 2022; 5: 123-140. (In Russ.). DOI: 10.52002/0130-2906-2022-5-123-140.

4. Nardi D., Jactel H., Pagot E., Samalens J.-C. & Marini L. Drought and stand susceptibility to attacks by the European spruce bark beetle: A remote sensing approach. *Agricultural and Forest Entomology*. 2023; 25(1): 119-129. DOI: 10.1111/afe.12536.

5. Constandache C., Tudor C., Aga V., Popovici L. Ecological restoration of Norway spruce stands affected by drying from outside the natural range. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*. 2024; Vol. XIII: 60-66.

6. Piedallu C., Dallery D., Bresson C., Legay M., Gégout J.C., Pierrat R. Spatial vulnerability assessment of silver fir and Norway spruce dieback driven by climate warming. *Landscape Ecology*. 2023; 38: 341-361. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-022-01570-1>.

7. Löwe, R.; Sedlecký, M.; Sikora, A.; Prok° upková, A.; Modlinger, R.; Novotný, K.; Turčáni, M. How Bark Beetle Attack Changes the Tensile and Compressive Strength of Spruce Wood (*Picea abies* (L.) H. Karst.). *Forests* 2022, 13, 87. <https://doi.org/10.3390/f13010087>.

8. Leskinen P, Lindner M., Verkerk P.J., Nabuurs G.Ya., Van Brusselen J., Kulikova E., Hassegava M., Lerink B. Lesa Rossii i izmenenie klimata. Chto nam mozhet skazat' nauka. [Russia's Forests and Climate Change. What Science Can Tell Us]. *Evropejskij institute lesa*. [European forest institute]. 2020: 142. DOI: <https://doi.org/10.36333/wsctu11>

9. Thorn S., Seibold S., Leverkus A.B., Michler T., Müller J., Noss R.F., Stork N., Vogel S., Lindenmayer D.B. The living dead: acknowledging life after tree death to stop forest degradation. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2020; 18(9): 505-512. DOI: 10.1002/fee.2252.

10. Burton P.J., Jentsch A., Walker L.R. The Ecology of Disturbance Interactions. *BioScience*. 2020; Vol. 70, No. 10: 854-870. DOI: 10.1093/biosci/biaa088.

11. Leverkus A.B., Buma B., Wagenbrenner J., Burton P.J., Lingua E., Marzano R., Thorn S. Tamm review: Does salvage logging mitigate subsequent forest disturbances? *Forest Ecology and Management*. 2021; 481: 118721. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118721>.

12. Terinov N.N., Andreeva E.M., Zalesov S.V., Lyganskiy N.A., Magasumova A.G. Vosstanovlenie elovy'x lesov: teoriya, otechestvenny'j opy't i metody' resheniya. [Restoration of Spruce Forests: Theory, National Practice and Problem Solving]. *Lesnoy Zhurnal*. [Russian Forestry Journal]. 2020; 3: 9-23. (In Russ.). DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23.

13. OST 56-69-83. Ploshhadi probny`e lesoustroitel`ny`e. Metod zakladki [All-Union Standard 56-69-83. Sample plots forest management. Establishment method] : Otrasleyvoj standart [Substandard] : data vvedeniya [Effective date] 1984-01-01 / Central`noe byuro nauchno-texnicheskoy informacii Goslessoxa SSSR [Head office of scientific technical information of governmental Forestry Agency of USSR]. – Izdanie oficial`noe [Official publication]. – Moscow : 1983. – 60 p. (In Russ.).

14. Ob utverzhdenii Pravil sanitarnoj bezopasnosti v lesax [On approval of Regulations of sanitary Safety] : utverzhdeny` Postanovleniem Pravitel`stva RF [approved by the RF Government Decree] on December 9, 2020 No. 2047. (In Russ.). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370645/0b3dfd4779a800d94c98bb0d44cd53e1dae94450/?ysclid=m3pjix3xsh627809010.

15. Sortimentny`e i tovarny`e tablicy dlya ravninny`x lesov Urala [Single-tree assortment and stand assortment tables for the Ural plain forests] : utverzhdeny` Prikazom Federal`noj sluzhby` lesnogo khozyajstva Rossii [approved by the Order of the Federal Forestry Service of Russia] on May 25, 2000 No. 83. (In Russ.). URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=605972&ysclid=m3pjssji8414355550#LqDIeU UgBQbjP2421>.

16. Nagimov Z.Ya., Shevelina I.V., Nagimov V.Z., Artem`eva I.N. Taksaciya lesnogo fonda [Estimation of total forest area]. Yekaterinburg, Ural State Forest Engineering University. 2023: 150. (In Russ.).

17. Bocharov M.K., Samojlovich G.G. Matematicheskie osnovy` deshifirovaniya ae`rosnimkov lesa. [Mathematical fundamentals of forest aerophoto interpretation]. Moscow, Forestry industry. 1964: 222. (In Russ.).

18. Sidel`nik N.Ya., Mashkovskij V.P., Sevruc P.V. Lesnaya biometriya [Forestal biometry]. Minsk, Belarusian State Technological University. 2021: 120. (In Belarus).

19. Pukinskaya M.Yu. Smena porod v nemoral`ny`x el`nikax Central`no-Lesnogo zapovednika. [Tree change in nemoral spruce forests of the Central forest reserve]. Povolzhskij e`kologicheskij zhurnal. [Povolzhskiy Journal of Ecology]. 2020; 4: 459-476. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-4-459-476>.

20. Thrippleton T., Lüscher F., Bugmann H. Climate change impacts across a large forest enterprise in the Northern Pre-Alps: dynamic forest modelling as a tool for decision support. European J. of Forest Research. 2020; 139: 483-498. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01263-x>.

Сведения об авторах

✉ *Иванчина Людмила Александровна* – кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией Устойчивого лесопользования Естественного научного института, доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», ул. Букирева, 15, г. Пермь, 614068, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9476-8683>, e-mail: ivanchina.ludmila@yandex.ru.

Большаков Евгений Григорьевич – директор Пермского филиала ФГБУ «Рослесинфорг», ул. Маршрутная, 14Ж, г. Пермь, 614990, Российская Федерация, e-mail: b.e.g@mail.ru.

Information about the authors

✉ *Ludmila A. Ivanchina* – Cand. Sci. (Agric.), Head of the Laboratory of sustained yield forest Management of Natural Science Institute, Associate Professor of Department of Biogeocoenology and environment Conservancy, Perm State University, 15 Bukireva str., Perm, 614068, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9476-8683>, e-mail: ivanchina.ludmila@yandex.ru.

Evgeny G. Bolshakov – Director of Roslesinform Federal State Budgetary Institution, Perm branch, 14Zh Marshrutnaya str., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: b.e.g@mail.ru.