ТРУДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

www.journal.spb-niilh.ru
ISSN 2079-6080

DOI 10.21178/2079-6080.2024.3.41
УДК 630*232.11

О плотности древесины климатипов ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.)) в географических культурах Архангельской области

© Е.Н. Наквасина[1], Н.Ю. Дробнова[1], Н.А. Прожерина[2], О.А. Юдина[1]

On wood density of Spruce (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.)) origins in the provenance test in Arkhangelsk region

E.N. Nakvasina, N.Y. Drobnova, N.A. Prozherina, O.A. Yudina (Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences)

The basic wood density of 21 provenances of Spruce (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.)) growing in 45-year provenance test in Arkhangelsk region (middle taiga subzone). Low individual and population variability of wood density (3–5 %) of Spruce in the studied collection was revealed. The absence of a clinal relationship of wood density with northern latitude, climatic characteristics in the place of growth of initial plantations, their bonitet and with the growth rate of progeny was showed. The significant impact of species (Norway and Siberian spruce) and form (introgressive hybrids 'with predominance of Siberian spruce traits' and 'with predominance of Norway spruce traits') on wood density formation was established. It is shown that the participation of Norway spruce genome in introgressive hybridisation contributes to a greater extent to the approximation of wood density indices to those of hybrid forms, compared to Siberian spruce. It was revealed that despite changes in growing conditions, wood density remains closely related to the proportion of late wood in the tree-ring within the collection of provenances. A number of provenances close in wood density to the same-aged local progeny were identified. The causes of low density in northern origins transmitted in the offspring are examined. It is shown that provenances with high wood density and with low wood density are found among spruce of different species and forms. No offspring forming wood density higher than the local spruce, which is the most adapted to growing conditions, were found in the conditions of the middle taiga subzone. The expediency of selection of progeny by wood density on the basis of a direct trait is shown. Selection according to the place of growth and species affiliation will not give results because of high population variability of Siberian spruce in the ×area.

Key words: Siberian spruce, Norway spruce, introgressive hybrids, provenances test, provenances, wood density

О плотности древесины климатипов ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.)) в географических культурах Архангельской области

Е.Н. Наквасина, Н.Ю. Дробнова, Н.А. Прожерина, О.А. Юдина

Изучена базисная плотность древесины 21 климатипа ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.)), произрастающих в 45-летних географических культурах Архангельской области (подзона средней тайги). Выявлена низкая индивидуальная и популяционная изменчивость плотности древесины (3–5 %) ели обыкновенной в изучаемой коллекции. Отражено отсутствие клинальной связи плотности древесины с северной широтой, климатическими характеристиками в месте произрастания исходных насаждений, их бонитетом и со скоростью роста потомства. Установлено достоверное влияние вида (ель европейская и ель сибирская) и формы (интрогрессивные гибриды «с преобладанием признаков ели сибирской» и «с преобладанием признаков ели европейской») на формирование плотности древесины. Показано, что участие при интрогрессивной гибридизации генома ели европейской в большей степени способствует приближению показателей плотности древесины к показателям гибридных форм, по сравнению с елью сибирской. Выявлено, что, несмотря на изменение условий произрастания, плотность древесины остается тесно связанной с долей поздней древесины в радиальном кольце в пределах коллекции климатипов. Выявлен ряд климатипов, близких по плотности древесины одновозрастному местному потомству. Рассмотрены причины низкой плотности у северных потомств, передающиеся в потомстве. Показано, что климатипы с высокой плотностью древесины и с низкой плотностью древесины встречаются среди ели разных видов и форм. Не выявлено потомств, формирующих в условиях подзоны средней тайги плотность древесины выше местной ели, наиболее адаптированной к условиям произрастания. Показана целесообразность отбора потомств по плотности древесины по прямому признаку. Отбор по месту произрастания и видовой принадлежности не даст положительных результатов из-за высокой популяционной изменчивости ели обыкновенной в ареале.

Key words: ель сибирская, ель европейская, интрогрессивные гибриды, географические культуры, климатипы, плотность древесины

Наквасина Елена Николаевна – профессор кафедры лесоводства и лесоустройства, д-р с.-х. наук
E-mail: nakvasina@yandex.ru

Дробнова Наталья Юрьевна – аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства

Прожерина Надежда Александровна – старший научный сотрудник лаборатории приарктических лесных экосистем, канд. биол. наук

Юдина Ольга Альбертовна – доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, канд. с.-х. наук

[1]Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова
163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17

[2]Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН

163020, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20

Введение

Плотность древесины является эффективным показателем ее качества и физико-механических свойств, определяющих использование в технологических процессах [18, 27]. Этот показатель наряду с параметрами макроструктуры широко изучался в естественных насаждениях. Установлена связь плотности древесины с географическим расположением популяций, с климатическими характеристиками мест произрастания и условиями роста [6, 7, 13, 18, 19, 24, 27]. Для экваториальных районов установлена норма реакции на каждый градус среднегодовой температуры – увеличение плотности на 0,5 % и на каждый сантиметр среднегодовых осадков – снижение на 0,02 % [26].

В опытах с происхождениями древесных пород проводятся исследования, которые с одной стороны позволяют проследить наследуемость признака в потомстве, с другой – отобрать климатипы с древесиной повышенной плотности в определенных условиях произрастания. В подобных опытах ожидается, что в формирование признаков вносит вклад наследственность происхождения климатипа и высокая популяционная изменчивость, которые отвечают за рост и свойства древесины, но в то же время отражают условия окружающей среды [23–25].

Перенос потомства ели обыкновенной в новые условия выращивания не позволяет установить какие-то клинальные широтные изменения по показателю плотности древесины, но дает возможность оценить качество древесины потомств и сравнить его с местным аналогом [5, 8, 16]. В исследованиях плотности древесины различных климатипов в географических культурах результат зависит от набора сравниваемых вариантов, возраста потомства, места его испытания и ряда других факторов. Изменения климатических характеристик в местах испытания потомств дифференцированно влияют на разные генетические маркеры, и отзывчивость потомства ростом и качеством древесины может находиться под специфическими генетическими контролями и наследуется в потомстве по-разному [17]. Считается, что плотность древесины, определяемая долей поздней древесины и толщиной ее трахеид, наследуется более значимо по сравнению с биометрическими показателями макроструктуры ствола [3, 8, 12].

Целью наших исследований было проследить особенности плотности древесины в коллекции климатипов ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.)), произрастающих в географических культурах в Архангельской области (подзона средней тайги). Культуры, которые входят в государственную сеть географических культур страны, достигли III класса возраста, что позволяет брать образцы на высоте таксационного диаметра. Ранее исследования плотности и макроструктуры ели обыкновенной в географических культурах региона проводились на ограниченном числе потомств [9] или на высоте 0,2 м [16].

Объекты и методы исследований

Изучение плотности древесины проводили в потомстве ели обыкновенной, произрастающем в географических культурах в Плесецком лесничестве Архангельской области (подзона средней тайги, по С.Ф. Курнаеву [4]). Координаты пункта испытания – 62° 60′ с. ш., 39° 98′ в. д.). Опытные посадки заложены в 1977 г. и входят в государственную сеть географических культур. Куратор объекта – Северный НИИ лесного хозяйства (СевНИИЛХ). Общая площадь географических культур ели составляет 8 га, коллекция насчитывает 27 потомств разного географического происхождения, видов и форм.

Рост, продуктивность и фенотипические особенности климатипов периодически изучались, данные представлены в отчетах СевНИИЛХ по ЕГСК и в публикациях [1, 10]. Они использованы также в проведенных нами исследованиях для установления закономерностей, связанных с плотностью древесины.

Ель в европейской части страны рассматривается лесоводами [14] как единый комплексный вид (Picea abies (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.)), однако, говоря о происхождениях, правомерно выделить виды и интрогрессивные формы отдельно: климатипы ели европейской (*P. abies* (L.) Karst.), ели сибирской (*Picea obovata* (Ledeb.), а также климатипы «с преобладанием признаков ели сибирской» и «с преобладанием признаков ели европейской». Уточнение принадлежности потомства к виду и форме проводили по семенным чешуям шишек (исходных насаждений и потомства), согласовывали с принципами, изложенными в работах других исследователей [11, 14].

Керны древесины отбирали у представителей 21 климатипа, отражающих все варианты видов и форм ели и имеющих близкую по показателям сохранность (63–81 %). Использовали 10–12 средних по диаметру деревьев, керны брали с двух сторон ствола, в направлении «запад-восток», на высоте 1,3 м. В лабораторных условиях с помощью микроскопа МИР-12, с точностью до 0,01 мм проводили замеры макроструктурных признаков (ширины ранней и поздней древесины). Для вычисления базисной плотности древесины использовали уравнение, предложенное для ели обыкновенной таежной зоны [18], основанное на показателях макроструктуры.

Все материалы исследований обработаны статистически, с применением корреляционного и дисперсионного (ANOVA) анализов.

Результаты и их обсуждение

Расчеты показали, что средняя плотность древесины климатипов ели обыкновенной, в пределах изученной коллекции, колеблется от 0,368 до 0,436 г/см^3 (табл. 1).

Таблица 1

Средние показатели сохранности, роста и плотности древесины у климатипов ели обыкновенной в географических культурах Архангельской области

№1)	Происхождение семян: Область, край, республика, лесхоз1)	Лесорастительная зона / подзона2)	Диаметр, см3)	Высота, м	Доля поздней древесины,%	Плотность, г/см3)	CV, %4)	$t_{0,05}$5)
	Ель сибирская							
1	Мурманская, Мончегорский	СТ	5,57	5,60	20,2	0,37 ± 0,003	3,1	**15,6**
20	Архангельская, Пинежский	СТ	8,16	8,02	23,5	0,40 ± 0,004	5,5	**7,6**
23	Архангельская, Холмогорский	СТ	9,28	9,60	30,2	0,42 ± 0,003	3,2	**3,8**
25	Коми, Корткеросский	СрТ	8,94	8,95	32,7	0,43 ± 0,004	4,6	1,0
38	Пермская, Красновишерский	ЮТ	9,78	9,95	31,6	0,43 ± 0,003	3,3	1,9
40	Свердловская, Карпинский	ЮТ	8,97	8,40	27,6	0,40 ± 0,003	3,3	**7,3**
Среднее значение			8,45	8,42	27,6	0,41 ± 0,003		
	Ель гибридная с признаками сибирской							
1а	Карелия, Медвежьегорский	СрТ	7,15	8,10	31,6	0,42 ± 0,004	4,9	1,8
2	Карелия, Сегежский	СрТ	7,07	8,15	27,0	0,40 ± 0,005	5,4	**5,5**
22	Архангельская, Котласский	СрТ	8,50	9,70	30,0	0,42 ± 0,003	3,7	**4,0**
28	Кировская, Слободской	ЮТ	8,25	8,20	33,4	0,44 ± 0,003	3,3	0,2
35	Удмуртия, Ижевский	СмЛ	6,02	6,11	29,4	0,41 ± 0,004	4,3	**4,2**
19	Архангельская, Плесецкий	СрТ	7,78	8,10	33,2	0,43 ± 0,003	3,3	-
Среднее значение			7,46	8,06	30,8	0,42 ± 0,004		
	Ель гибридная с признаками европейской							
4	Карелия, Сегежский	СрТ	8,98	10,20	29,3	0,41 ± 0,003	3,5	**4,95**
24	Вологодская, Череповецкий	ЮТ	9,80	10,35	30,7	0,42 ± 0,004	4,3	0,7

№[1]	Происхождение семян: Область, край, республика, лесхоз[1]	Лесорастительная зона / подзона[2]	Диаметр, см[3]	Высота, м	Доля поздней древесины,%	Плотность, г/см[3]	CV, %[4]	$t_{0,05}$[5]
27	Костромская, Галичский	ЮТ	7,60	8,10	33,1	0,43 ± 0,004	3,9	0
3	Карелия, Пряжинский	СрТ	9,49	10,22	30,8	0,42 ± 0,003	3,4	**3,0**
Среднее значение			9,00	9,70	31,0	0,42 ± 0,004		
	Ель европейская							
7	Псковская, Великолукский	СмЛ	9,41	10,33	30,0	0,42 ± 0,004	3,8	**3,6**
5	Ленинградская, Тосненский	ЮТ	9,54	10,23	29,2	0,41 ± 0,003	3,5	**4,95**
8	Эстония, Вильядинский	СмЛ	8,28	10,39	25,0	0,39 ± 0,004	5,0	**8,6**
10	Латвия, Даугавпилсский	СмЛ	7,82	9,55	33,1	0,43 ± 0,003	3,2	0
29	Московская, Загорский	СмЛ	9,44	10,90	33,3	0,44 ± 0,005	4,6	0,3
Среднее значение			8,90	9,28	30,1	0,42 ± 0,004		

Примечания. 1) Номера климатипов и наименование лесхозов даны в соответствии с Реестром государственной регистрации географических культур; 2) По С.Ф. Курнаеву [4] согласно паспортам географических культур: СТ – северная подзона тайги, СрТ – средняя подзона тайги, ЮТ – южная подзона тайги, СмЛ – зона смешанных лесов; 3) Данные для 36-летних культур; 4) *CV*, % – коэффициент изменчивости; 5) $t_{0,05}$ – по отношению к местному климатипу, полужирным шрифтом выделены достоверные значения различий.

Межпопуляционная изменчивость составляет 4,1 %, что близко к внутрипопуляционным показателям (3,1–5,5 %). На низкую изменчивость плотности древесины у хвойных (по сосне – в среднем 7 %, или – 6,8 %) указывали некоторые исследователи [14, 15]. При изучении географических закономерностей ели отмечена значительно меньшая фенотипическая изменчивости древесины по сравнению с высотой, диаметром и объемом ствола [20]. Это наблюдается и в нашем эксперименте: изменчивость средних значений климатипов по высоте и диаметру в 3–5 раз выше (15,1 и 14,2 % соответственно).

Считается, что структура годичных слоев и плотность древесины отражают географические условия произрастания [7, 13, 19]. Однако при испытании потомства в опытах с происхождениями значительного широтного эффекта не наблюдается [5, 16, 21]. В нашей коллекции, в которой произрастают потомства климатипов ели, произрастающей от 68° до 56° с. ш., связь плотности с северной широтой оценивается как значительная (коэффициент корреляции –0,523 при $r_{0,05} = 0,456$), с суммой температур в месте происхождения климатипов – умеренная (0,394), с количеством годовых осадков – слабая (0,255). Близка к широтной зональности связь плотности древесины с продолжительностью вегетационного периода (0,492). На проявление зависимостей влияет набор климатипов, в нашем случае в перечне изучаемых потомств часть представлена северными по отношению к месту испытания, часть – южными. Первые несколько усиливают рост в более благоприятных условиях среды, вторые – снижают [2].

Представленность в коллекции видов и гибридных форм ели, исходные насаждения которой произрастают в различных лесорастительных зонах / подзонах, позволила оценить вклад факторов вида и места произрастания на плотность древесины. По обоим факторам проявилось наличие дифференциации по плотности древесины в пределах изучаемой коллекции при $F_{факт}$, равном 10,42 и 23,13 ($F_{табл.} = 2,63$).

Сравнение по группам видов и форм ели (табл. 2) показало отличия по плотности древесины ствола у группы климатипов ели сибирской от ели европейской и гибридных форм с ее участием. Ель европейская и ель гибридная «с преобладанием ели европейской» могут быть отнесены к одной группе. Участие аллелей ели европейской в геноме гибридных форм сближает их между собой и приближает к исходному таксону. Это подтверждает высказанное нами ранее утверждение о большей фенотипической пластичности ели европейской по сравнению с сибирской, что отражается в эффекте интрогрессивной гибридизации ели на территории Русской равнины [22], и может проявиться при ее инвазии в связи с климатическими изменениями.

Таблица 2

Коэффициенты Стьюдента между группами видов
и гибридных форм климатипов ели ($t_{0,05}$ = 2,086)

Виды и формы ели	Ель гибридная с признаками сибирской	Ель гибридная с признаками европейской.	Ель европейская
Ель сибирская	**2,800**	**3,000**	**2,200**
Ель гибридная с признаками сибирской	-	0,175	0,526
Ель гибридная с признаками европейской	-	-	0,702

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значения, достоверные на 5 % уровне значимости.

Однако значимой приуроченности потомства по показателю плотности древесины к определенной группе не наблюдается, широтная зональность не просматривается, что связано с высокой популяционной изменчивостью в пределах ареала породы [24]. При сравнении средней плотности древесины с местной одновозрастной елью, можно выделить потомства, близкие и достоверно отличающиеся от нее. Близки по плотности древесины на высоте груди к местной, наиболее адаптированной к условиям произрастания, 7 климатипов ели. Причем исходные насаждения этих климатипов произрастают в различных лесорастительных зонах / подзонах и относятся к различным видам / формам. Чаще это происхождения из средней и южной подзон тайги и зоны смешанных лесов (см. табл. 1). Климатипов, показатели плотности древесины которых заметно превышают местную ель, нет; 14 климатипов формируют древесину с более низкими значениями относительно местного потомства. Подобное уменьшение показателя у потомств южного вектора перемещения в более суровые условия произрастания может быть объяснимо снижением скорости роста. Потомства быстрорастущих популяций в географических культурах не всегда имеют низкий показатель плотности древесины [8], характерный для естественных насаждений [13, 18], так как в новых условиях среды они реагируют на сочетание наследственных и экологических факторов [23]. В нашей коллекции связь плотности древесины с таксационными показателями климатипов умеренная. Коэффициент корреляции плотности с диаметром и высотой составляет 0,393–0,382, чуть выше связь с бонитетом исходных насаждений – 0,406. Полагаться на отбор климатипов по плотности древесины на основе их географического происхождения и скорости роста в новых для них условиях среды нецелесообразно.

В то же время обращают на себя внимание заметно низкие показатели плотности древесины у северной ели сибирской из Мурманской, Архангельской и Свердловской областей (0,368–0,418 г/см³). Связано это с жестким генетическим контролем плотности древесины [8, 12], как результат закрепленных наследственно вариаций формирования поздней древесины [3]. В свое время, говоря о качестве северных сосен, И.С. Мелехов [6] подчеркивал, что она отличается хорошими свойствами, но лучше все же древесина из средней и южной подзон тайги (юг Архангельской и Вологодская обл.). Самые северные популяции могут иметь низкую плотность древесины, наследуемой в потомстве, из-за короткого вегетационного периода в северных регионах, что не позволяет полностью сформировать достаточное число слоев поздней древесины, чтобы обеспечить ее высокую плотность. По мнению Е.А. Ваганова с соавторами [1], именно самые поздние слои трахеид годичного кольца определяют максимальную плотность. Высокую связь между этими показателями для естественных насаждений и географических культур ели различных возрастов и коллекций подтверждают материалы целого ряда исследований [8, 9, 13, 16, 18]. Данные, приведенные на рисунке, подтверждают меньшую связь плотности с показателем доли поздней древесины, характерную для потомств северного происхождения.

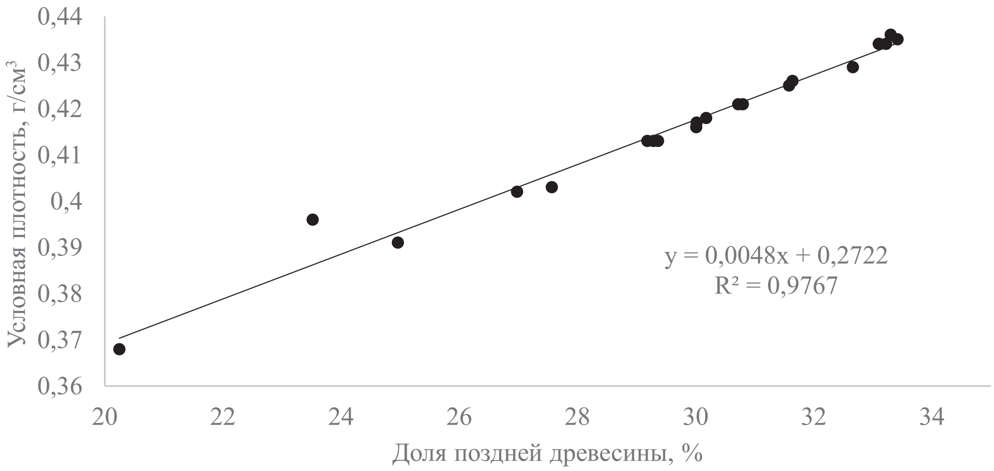

Рис. Зависимость плотности древесины от доли поздней древесины в годичном кольце в коллекции климатипов ели обыкновенной

Выводы

При выращивании потомства ели обыкновенной различного географического происхождения в условиях подзоны средней тайги (Архангельская область) в определенной мере сохраняются наследственно закрепленные свойства качества древесины, которые наряду с ростом нивелируются влиянием несвойственных им условий произрастания. Отбор климатипов по признаку географического происхождения и климатических факторов, определяющих наследственность в условиях формирования исходных насаждений, не даст ожидаемых результатов.

Большое значение при формировании плотности древесины имеет вид ели. Сильное влияние на изменение плотности древесины при интрогрессивной гибридизации ели оказывает ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst.), в отличие от фенотипически более консервативной ели сибирской (*P. obovata* (Ledeb.).

Возможен популяционный отбор потомств, отличающихся высокой плотностью древесины, в пределах группы видов / форм интрогрессивных гибридов по прямому признаку. Однако в пределах коллекции с разбросом мест происхождения потомств от 68° до 56° с. ш. не удалось выявить климатипы, имеющие плотность древесины выше показателя местного потомства, наиболее адаптированного к месту испытания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ваганов, Е.А. Влияние климатических факторов на прирост и плотность древесины годичного кольца ели и сосны в горах Северной Италии / Е.А. Ваганов, М.В. Скомаркова, Э.-Д. Шульце, П. Линке // Лесоведение. – 2007. – № 2. – С. 37–44.
2. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере / Е.Н. Наквасина, О.А. Юдина, Н.А. Прожерина, И.И. Камалова, Н.С. Минин. – Архангельск : АГТУ, 2008. – 308 с.
3. Косиченко, Н.Е. Закономерности формирования высококачественной древесины / Н.Е. Косиченко, А.В. Киселева, С.Н. Снегирева // Лесотехнический журнал. – 2011. – № 4. – С. 68–72.
4. Курнаев, С.Ф. Лесорастительное районирование СССР / С.Ф. Курнаев – М. : Лесная промышленность, 1973. – 240 с.
5. Леонтьев, Л.Л. Изучение свойств древесины ели в географических культурах на Северо-Западе России / Л.Л. Леонтьев, М.А. Николаева // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления : Сб. материалов Всерос. науч. конф., 30 сентября –3 октября 2009 года, Петрозаводск : Ин-т леса КарНЦ РАН, 2009. – С. 128–130.
6. Мелехов, И.С. Леса Европейской части СССР / И.С. Мелехов // Леса СССР в пяти томах. – 1966. – Т. 1. – С. 60–70.
7. Мелехов, И.С. Значение структуры годичных слоев и ее динамики в лесоводстве и дендроклиматологии / И.С. Мелехов // Лесной журнал. – 1979. – № 4. – С. 6–14.
8. Мельник, П.Г. Влияние географической изменчивости на продуктивность и физико-механические свойства древесины ели / П.Г. Мельник, О.В. Пронина., Я.Н. Станько, Н.А. Дюжина // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2014. – № 1. – С. 45–52.
9. Наквасина, Е.Н. Изменчивости структуры годичных колец и плотности древесины в географических культурах ели в Архангельской области / Е.Н. Наквасина, Н.С. Минин // Вестник Поморского университета. – 2007. – № 2 (12). – С. 78–85.
10. Наквасина, Е.Н. Адаптационная изменчивость ели *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) при испытании в географических культурах Архангельской области / Е.Н. Наквасина, И.А. Юдин, А.Г. Волков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2017. – Вып. 218. – С. 31–42.
11. Орлова, Л.В. К систематике и географическому распространению ели финской (*Picea fennica* (Regel.) Kom., Pinaceae) / Л.В. Орлова, А.А. Егоров // Новости систематики высших растений. – 2010. – Т. 42. – С. 5–23.
12. Пеккоев, А.Н. Качество древесины культур ели при ускоренном лесовыращивании / А.Н. Пеккоев // Известия вузов. Лесной журнал. – 2016. – № 1. – С. 89–99.
13. Полубояринов, О.И. Плотность древесины / О.И. Полубояринов. – М. : Лесная промышленность, 1976. – 159 с.
14. Попов, П.П. Ель европейская и сибирская: структура, интеграция и дифференциация популяционных систем / П.П. Попов. – Новосибирск : Наука, 2005. – 231 с.
15. Ребко, С.В. Сравнительная оценка физико-механических свойств древесины различных климатипов сосны обыкновенной / С.В. Ребко, П.Г. Мельник, А.В. Козел, Л.Ф. Поплавская, П.В. Тупик, В.В. Носников // Известия вузов. Лесной журнал. – 2023. – № 4. – С. 26–40.
16. Тарханов, С.Н. Изменчивость ели в географических культурах Республики Коми / С.Н. Тарханов. – Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 1998. – 194 с.
17. Тихонова, И.В. Вклад генотипических и метеорологических факторов в изменчивость годичных приростов древесины на клоновой плантации сосны / И.В. Тихонова, В.В. Тараканов, А.А. Кнорре // Экология. – 2012. – № 3. – С. 163–169.
18. Чибисов, Г.А. Качество древесины сосны и ели, метод его определения / Г.А. Чибисов, С.А. Москалева, Л.Е. Крыжановская // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере : Сборник научных трудов Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства. – Архангельск: Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 2005. – С. 89–99.
19. Усольцев, В.А. Квалиметрия фитомассы лесных деревьев: плотность и содержание сухого вещества : монография / В.А. Усольцев, И.С. Цепордей. – Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
20. Levkoev, E. Differences in growth and wood density in clones and provenance hybrid clones of Norway spruce / E. Levkoev, A. Kilpeläinen, K. Luostarinen, P. Pulkkinen, L. Mehtätalo, V. Ikonen, R. Jaatinen,

A. Zhigunov, J. Kangas, H. Peltola // Canadian Journal of Forest Research. – 2017. – Vol. 47. – P. 389–399. – DOI: https://doi.org/10.1139/CJFR-2016-0285.
21. Lundgren, C. Provenance variation in stem wood density and dry matter for *Picea abies* grown on farmland in southern Sweden Lundgren / C. Lundgren, B. Persson // Forest Genetic. – 2002. – Vol. 9 (2). – P. 103–110.
22. Nakvasina, E. Assessment of phenotypic plasticity of spruce species *Picea abies* (L.) Karst. and *P. obovata* (Ledeb.) on provenances tests in European North of Russia / E. Nakvasina, N. Demina, N. Prozherina, N. Demidova // Central European Forestry Journal. – 2019. – Vol. 65. – P. 121–128. – DOI: https://doi.org/10.2478/forj-2019-0012.
23. Oleksyn, J. Growth and biomass partitioning of populations of European *Pinus sylvestris* L. under simulated 50° and 60° N daylengths: evidence for photoperiodic ecotypes / J. Oleksyn, M.G. Tjoelker, P.B. Reich // New Phytologist. – 1992. – Vol. 120, iss. 4. – P. 561–574.
24. Sandak, J. Differences in wood properties of Picea abies L. Karst. in relation to site of provenance and population genetics / J. Sandak, A. Sandak, C. Cantini, A. Autino // Holzforschung. – 2015. – Vol. 69. – № 4. – P. 385–397. – DOI: https://doi.org/10.1515/hf-2014-0061.
25. Szaban, J. Effect of tree provenance on basic wood density of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) grown on an experimental plot at Siemianice forest experimental station / J. Szaban, W. Karaszewski, Z. Jakubowski, M. Jakubowski // Drewno. – 2014. – Vol. 57. – № 191. – P. 135–143. – DOI: https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.061.10.
26. Wiemann, M.C. Geographic variation in wood specific gravity: effects of latitude, temperature and precipitation / M.C. Wiemann, G.B. Williamson // Wood and Fiber Science. -27. Zhang, S. Wood anatomy of boreal species in a warming world: a review / S. Zhang, E. Belien, R. Hai, S. Rossi, J.-G. Huang // iForest – Biogeosciences and Forestry. – 2020. – Vol. 13, iss. 2. – P. 130–138. – DOI: https://doi.org/10.3832/ifor3230-013.

REFERENCES

1. Vaganov E.A., Skomarkova M.V., Shul'tse E.H.-D., Linke P. The influence of climatic factors on the growth and density of tree ring wood of spruce and pine in the mountains of Northern Italy. *Forestry [Lesovedenie]*, 2007, no. 2, pp. 37–44. (In Russian).
2. Geographical crops in gene-ecological studies in the European North. E.N. Nakvasina, O.A. Yudina, N.A. Prozherina, I.I. Kamalova, N.S. Minin. Arkhangelsk, AStU. 2008, 308 p. (In Russian).
3. Kosichenko N.E., Kiseleva A.V., Snegireva S.N. Patterns of formation of high-quality wood. *Forestry Journal [Lesotekhnicheskij zhurnal]*, 2011, no. 4, pp. 68–72. (In Russian).
4. Kurnaev S.F. Forest vegetation zoning of the USSR. Moscow, Timber industry, 1973, 240 p. (In Russian).
5. Leontyev L.L. Nikolaeva M.A. Studying the properties of spruce wood in geographical cultures in the North-West of Russia. *Forest resources of the taiga zone of Russia: problems of forest management and reforestation. Coll. materials Vseros. scientific Conf., September 30 – October 3, 2009, Petrozavodsk: Institute of Forestry, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences [Mat. vseros. nauch. konf. Lesnye resursy taezhnoj zony Rossii: problemy lesopol'zovaniya i lesovosstanovleniya]*. Petrozavodsk, Forest Institute KarRC RAS. 2009, pp. 128–130. (In Russian).
6. Melekhov I.S. Forests of the European part of the USSR. Forests of the USSR in five volumes, 1966, vol. 1, pp. 60–70. (In Russian).
7. Melekhov I.S. The importance of the structure of annual layers and its dynamics in forestry and dendroclimatology. *Forest Journal [Izv. vuzov Lesnoj zhurnal]*, 1979, no. 4, pp. 6–14. (In Russian).
8. Melnik P.G., Pronina O.V., Stanko Ya.N., Dyuzhina N.A. The influence of geographical variability on the productivity and physical and mechanical properties of spruce wood. *Forestry Bulletin [Lesnoj vestnik]*, 2014, no. 1, pp. 45–52. (In Russian)
9. Nakvasina E.N., Minin N.S. Variability in the structure of tree rings and wood density in geographical spruce cultures in the Arkhangelsk region. *Bulletin of Pomor University [Vestnik Pomorskogo universiteta]*, 2007, no. 2 (12), pp. 78–85. (In Russian).
10. Nakvasina E.N., Yudin I.A., Volkov A.G. Adaptive variability of spruce *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) when tested in geographical crops of the Arkhangelsk region. *News of the St. Petersburg Forestry Academy [Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoj akademii]*, 2017, vol. 218, pp. 31–42. (In Russian).
11. Orlova L.V., Egorov A.A. On the taxonomy and geographical distribution of Finnish spruce (*Picea fennica*

(Regel.) Kom., Pinaceae). *News of taxonomy of higher plants [Novosti sistematiki vysshikh rastenij]*, 2010, vol. 42, pp. 5–23. (In Russian).
12. Pekkoev A.N. Quality of spruce wood during accelerated forest growing. *News of universities. Forest Journal [Izv. vuzov. Lesnoj zhurnal]*, 2016, no. 1, pp. 89–99. (In Russian).
13. Poluboyarinov O.I. Wood density. Moscow, Timber industry, 1976, 159 p. (In Russian).
14. Popov P.P. Norway spruce and Siberian spruce: structure, integration and differentiation of population systems. Novosibirsk, Science, 2005, 231 p. (In Russian).
15. Rebko S.V., Melnik P.G., Kozel A.V., Poplavskaya L.F., Tupik P.V., Nosnikov V.V. Comparative assessment of the physical and mechanical properties of wood of different climatic types of Scots pine. *News of universities. Forest Journal [Izv. vuzov Lesnoj zhurnal]*, 2023, no. 4, pp. 26–40. (In Russian).
16. Tarkhanov S.N. Variability of spruce in geographical cultures of the Komi Republic. Ekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1998, 194 p. (In Russian).
17. Tikhonova I.V., Tarakanov V.V., Knorre A.A. The contribution of genotypic and meteorological factors to the variability of annual wood growth on a clonal pine plantation. *Ecology [Ekologiya]*, 2012, no. 3, pp. 163–169. (In Russian).
18. Chibisov G.A., Moskaleva S.A., Kryzhanovskaya L.E. Quality of pine and spruce wood, method of its determination. *Issues of taiga forestry in the European North: Collection of scientific works of the Northern Research Institute of Forestry. Arkhangelsk: Northern Research Institute of Forestry [Voprosy tayozhnogo lesovodstva na Evropejskom Severe, sb. nauchn. trudov, Arhangel'sk]*, 2005, pp. 89–99. (In Russian).
19. Usoltsev V.A., Tsepordej I.S. Qualimetry of forest tree phytomass: density and dry matter content: monograph. Ekaterinburg, Ural State Forestry University, 2020. (CD-ROM). (In Russian).
20. Levkoev E., Kilpeläinen A., Luostarinen K., Pulkkinen P., Mehtätalo L., Ikonen V., Jaatinen R., Zhigunov A., Kangas J., Peltola H. Differences in growth and wood density in clones and provenance hybrid clones of Norway spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 2017, vol. 47, pp. 389–399. DOI: https://doi.org/10.1139/CJFR-2016-0285
21. Lundgren C., Persson B. Provenance variation in stem wood density and dry matter for *Picea abies* grown on farmland in southern Sweden. *Forest Genetic*, 2002, vol. 9 (2), pp. 103–110.
22. Nakvasina E., Demina N., Prozherina N., Demidova N. Assessment of phenotypic plasticity of spruce species *Picea abies* (L.) Karst. and *P. obovata* (Ledeb.) on provenances tests in European North of Russia. *Central European Forestry Journal*, 2019, vol. 65, pp. 121–128. DOI: https://doi.org/10.2478/forj-2019-0012.
23. Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Growth and biomass partitioning of populations of european *Pinus sylvestris* L. under Simulated 50° and 60° N daylengths: evidence for photoperiodic ecotypes. *New Phytologist*, 1992, vol. 120, iss. 4, pp. 561–574. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01806.x.
24. Sandak J., Sandak A., Cantini C., Autino A. Differences in wood properties of Picea abies L. Karst. in relation to site of provenance and population genetics. *Holzforschung*, 2015, vol. 69, no. 4, pp. 385–397. DOI: https://doi.org/10.1515/hf-2014-0061.
25. Szaban J., Karaszewski W., Jakubowski Z., Jakubowski M. Effect of tree provenance on basic wood density of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) grown on an experimental plot at Siemianice forest experimental station. *Drewno*, 2014, vol. 57, no. 191, pp. 135–143. DOI: https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.061.10.
26. Wiemann M.C., Williamson G.B. Geographic variation in wood specific gravity: effects of latitude, temperature and precipitation. *Wood and Fiber Science*, 2002, vol. 34, no. 1, pp. 96–107.
27. Zhang S., Belien E., Hai R., Rossi S., Huang J.-G. Wood anatomy of boreal species in a warming world: a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 2020, vol. 13, iss. 2, pp. 130–138. DOI: https://doi.org/10.3832/ifor3230-013.

Статья поступила в редакцию 27.05.2024