

УДК 630*232.311.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.73

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ОТБОРА ПОЛУСИБОВ КЕДРА СИБИРСКОГО ПО ИНТЕНСИВНОСТИ РОСТА В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ

А.М. Пастухова, канд. с.-х. наук, доц.

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М.Ф. Решетнева, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия, 660037; e-mail: past7@rambler.ru

Имеющиеся литературные данные указывают на разное представление о целесообразности отбора по скорости роста на ранних этапах онтогенеза хвойных видов и дальнейшего использования такого посадочного материала для лесокультурного производства. Впервые в условиях юга Средней Сибири нами проведены исследования роста второго поколения семенного потомства кедров сибирского разного географического происхождения, форм за 11-летний период наблюдений с момента прорастания семян и после высадки растений на постоянное место. Цели исследования: выявление изменчивости по показателям роста полусибов кедров сибирского с течением времени, определение перспективности отбора семей по скорости роста и их применения при создании культур. Объект исследований – полусибовое потомство кедров сибирского, произрастающее в испытательных культурах зеленой зоны г. Красноярска, относящейся по лесорастительному районированию к Среднесибирскому подтаежно-лесостепному району. Семьи были выращены из семян, собранных в 2003 г. в плантационных культурах, расположенных в тех же лесорастительных условиях. Год характеризовался слабой урожайностью кедровых семян, что отразилось на количестве семей и числе экземпляров в них. Полусибовы были высажены на постоянное место в 7-летнем возрасте в нескольких повторностях, расположенных рендомизировано по участку. Материалы обработаны с применением статистической программы SSPS. Отмечены закономерности изменения уровня варьирования по скорости роста полусибов и длине пучковой хвои. Установлено, что уровень изменчивости по высоте увеличивается с возрастом, тогда как по длине хвои остается стабильно высоким за весь период наблюдений. Выявлено, что у большей части семей кедров сибирского в возрасте до 6 лет характер роста может меняться. Доля семей, отличающихся стабильными темпами роста, увеличивается, начиная с 7-летнего возраста. Пересадка на постоянное место снизила долю таких семей на 26,7 %, но с тенденцией к уменьшению этого разрыва. Получена модель, описывающая зависимость высоты от диаметра стволика и возраста за весь период наблюдений ($R^2 = 0,888$). Отмечено наличие связи между длиной хвои, высотой и диаметром стволика ($r = 0,519$ и $r = 0,502$), а также возрастом ($r = 0,705$). Исследования показали, что на ранних этапах онтогенеза можно наблюдать семьи, стабильно сохраняющие свой рост независимо от внешних факторов. Быстро- и медленно растущие семенные потомства сохраняют характер роста на 2-й и 4-й год после пересадки. Отобраны семьи, отличавшиеся высокой скоростью

Для цитирования: Пастухова А.М. Перспективность отбора полусибов кедров сибирского по интенсивности роста в раннем возрасте // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 73–81. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.73

роста и быстрее восстанавливавшиеся после пересадки (с учетом размеров хвои до и после пересадки).

Ключевые слова: динамика роста, изменчивость, полусиб, отбор, корреляция, кедр сибирский.

Введение

Для целей сортоводства и повышения продуктивности создаваемых лесных культур необходимо знать закономерности наследования хозяйственно ценных признаков [6] и выбирать наиболее эффективные методы селекции. Так, на основе результатов испытания потомств плюсовых деревьев определенных биотипов предлагается сочетать несколько видов отбора: семейный, внутрисемейный (индивидуальный), комбинированный, с учетом общей комбинационной способности [9, 11–15]. Но эффективность данного метода селекции на ранних этапах онтогенеза остается дискуссионным вопросом. Например, у сосны обыкновенной ряд авторов отмечают разнонаправленное изменение скорости роста в возрасте от 13 до 25 лет [7, 10]. Для ели установлено, что отбор быстрорастущих семей возможен в 8-летнем возрасте [9]. Тогда как у ели европейской семьи, отобранные в 4–6-летнем возрасте, в дальнейшем сильно изменяют свое ранговое положение, однако саженцы, растущие быстрее остальных, сохраняют свое преимущество в росте [1]. У сосны скрученной, напротив, наблюдается стабилизация варьирования по высоте после 6 лет, а после 10 лет выявлены небольшие сдвиги рангов [16]. Для полусибового потомства кедр сибирского установлены наличие возрастной стабильности признаков роста в 3-летнем возрасте [3, 5] и перспективность использования быстрорастущих форм этого возраста [2, 4, 8]. Однако перспективность применения отселектированного посадочного материала остается не до конца изученной, так как имеющиеся данные характеризуют лишь определенные возрастные пределы.

Проводимые нами исследования впервые охватывают 11-летний период наблюдений за ростом и развитием второго поколения семенного потомства кедр сибирского, полученного от свободного опыления растений разных географических происхождений и форм, представленных в одних плантационных культурах на территории пригородной зоны г. Красноярска.

Цель исследования – выявление изменчивости по показателям роста полусибов кедр сибирского с течением времени, определение перспективности отбора семей по скорости роста и их применения при создании культур.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлось семенное потомство кедр сибирского, полученного от свободного опыления климатипов, форм, произрастающих на плантации зеленой зоны г. Красноярска, относящейся по лесорастительному районированию к Среднесибирскому подтаежно-лесостепному району. Семена были собраны в 2003 г., который характеризовался низкой урожайностью кедровых семян. Посев был проведен осенью этого же года. В 7-летнем возрасте полусибов были пересажены в испытательные культуры, расположенные

в схожих с материнскими деревьями лесорастительных условиях. Посадку производили в борозды по 3 растения каждой семьи в отрезок с шагом посадки 1 м, расстояния между центрами отрезков и между рядами – по 3 м.

Представленность полусибов в семьях варьировала от единичных экземпляров до 20 шт. и более. Число растений после пересадки в семьях не превышало 7 шт.

Морфометрические показатели измеряли регулярно у всех растений в семьях в течение всего периода исследований.

Экспериментальные данные были статистически обработаны с применением программы SSPS.

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено проявление хронографической изменчивости высоты, диаметра стволика семенного потомства отселектированных на плантации деревьев. Так, в 1-летнем возрасте был отмечен средний уровень изменчивости, в 2-летнем – слабый. На снижение уровня изменчивости к 3-летнему возрасту указывали и А.М. Данченко, С.А. Кабанов [5]. Однако в возрасте от 4 до 11 лет уровень вариабельности по высоте возрастал, что, возможно, связано с усилением влияния внешних факторов и конкуренции полусибов в посевах. Данная тенденция сохраняется и после пересадки (табл. 1).

Таблица 1

Показатели роста и длина хвои полусибов кедра сибирского

Показатель	Значение показателя для биологического возраста, лет						
	1	2	4	6	7	9	11
	В посевном отделении					На постоянном месте	
Высота стволика, см:							
\bar{X}	4,9	7,9	10,6	20,4	28,7	30,8	41,6
$\pm m$	0,12	0,13	0,53	0,99	1,44	1,77	2,82
$\pm \sigma$	0,67	0,73	2,92	5,43	7,91	9,51	13,5
V, %	13,6	9,3	27,6	26,7	27,5	30,8	32,5
X_{\max}	6,2	9,1	18,5	30,5	43,2	45,0	69,3
X_{\min}	2,9	6,1	6,0	11,3	12,5	15,2	16,0
Диаметр стволика, см:							
\bar{X}	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2
$\pm m$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11
$\pm \sigma$	0,02	0,05	0,11	0,17	0,25	0,29	0,47
V, %	8,3	13,8	20,3	29,6	33,4	31,0	37,5
X_{\max}	0,3	0,5	0,7	1,0	1,1	1,7	2,4
X_{\min}	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6
Длина пучковой хвои, см:							
\bar{X}	–	3,3	6,1	7,8	6,5	6,2	7,1
$\pm m$	–	0,18	0,25	0,25	0,25	0,45	0,43
$\pm \sigma$	–	0,95	1,32	1,37	1,34	2,34	1,94
V, %	–	28,8	21,7	17,6	20,7	37,7	27,3
X_{\max}	–	4,8	8,8	10,3	9,7	12,1	10,9
X_{\min}	–	0,9	3,8	5,1	3,4	2,5	3,4

Полученное поле распределения средних высот семей было разбито на 3 разряда: 1 – быстрорастущие; 2 – средние по скорости роста (среднерастущие); 3 – медленно растущие (рис. 1).

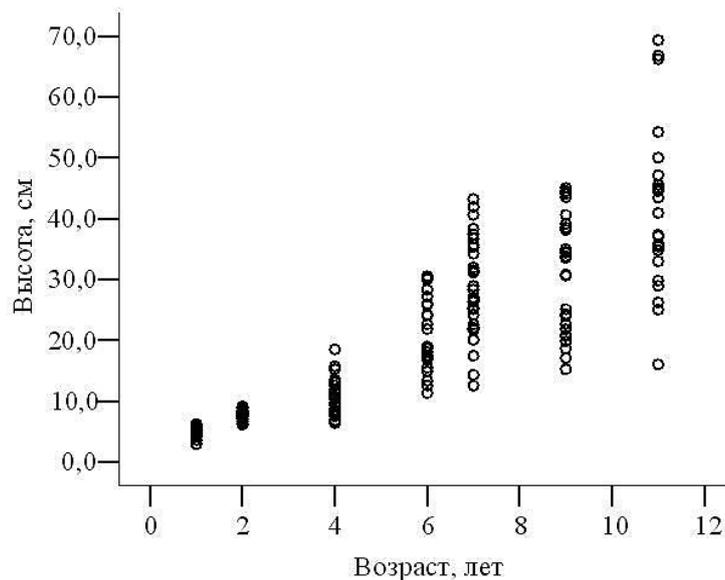


Рис. 1. Динамика роста семей кедров сибирского

Установлено, что у большинства семей до 7-летнего возраста могут изменяться темпы роста, что объясняется взаимодействием генотип–среда и взаимным влиянием сеянцев друг на друга. Для селекционной работы представляют ценность семьи, отличающиеся стабильными темпами роста. Необходимо отметить, что доля таких полусибов возрастает с 7-летнего возраста. После пересадки быстрорастущие семьи сохранили свое преимущество по высоте, о чем свидетельствует ее средневзвешенное значение, рассчитанное через представленность того или иного разряда высот за изучаемый период. Замедленный рост сохраняют семьи, отстававшие в росте и до пересадки, что согласуется с результатами С.А. Данченко, С.А. Кабанова [5], Ю.Н. Ильичева [8]. Исключением является только семенное потомство Ди-97-54, у которого наблюдается тенденция к переходу из медленно растущих в средние по скорости роста, начиная с 7-летнего возраста. Не повлияла на этот переход и пересадка (табл. 2).

Для построения хода роста по высоте и диаметру стволика использованы значения высот всех экземпляров семенного потомства за 11-летний период наблюдений. Установлено, что изменения высоты (H) и диаметра стволика (D) соответственно на 69,4 и 49,7 % связаны с возрастом (A) и описываются уравнениями прямой линии:

$$H = 1,194 + 3,259A \quad (R^2 = 0,694);$$

$$D = 0,189 + 0,052A \quad (R^2 = 0,497).$$

Таблица 2

Возрастные изменения семей кедр сибирского по разрядам (%)

Возраст, лет	Семьи, изменившие разряд						Всего семей	
	с 1-го на 2-й	с 1-го на 3-й	со 2-го на 1-й	со 2-го на 3-й	с 3-го на 1-й	с 3-го на 2-й	сменивших разряд	стабильных
2	23,3	0	20,0	13,3	0	3,3	60,0	40,0
4	10,0	20,0	3,3	30,0	0	10,0	73,3	26,7
6	0	0	13,3	13,3	6,7	26,7	60,0	40,0
7	3,3	0	3,3	0	0	10,0	16,7	83,3
9	6,7	0	6,7	23,3	3,3	3,3	43,3	56,7
11	17,4	0	0	8,7	0	13,0	39,1	60,9

Получена модель, описывающая зависимость высоты от диаметра стволика и возраста:

$$H = -4,917 + 1,707A + 30,400D \quad (R^2 = 0,808).$$

Стабильно высокий уровень изменчивости наблюдается по длине пучковой хвои, начиная с момента ее формирования в 2-летнем возрасте и до времени окончания исследования. После пересадки сеянцев коэффициент изменчивости этого показателя возрастает, что, возможно, связано с проявлением различной реакции растений на новые условия местопроизрастания (см. табл. 1). Был проведен анализ влияния «стресса» от пересадки на формирование хвои у семей кедр сибирского. Установлено, что 37,0 % семей уже на 2-й год после пересадки имели хвою, на 15,0...88,4 % превышающую средние значения, наблюдавшиеся до высадки на постоянное место (рис. 2).

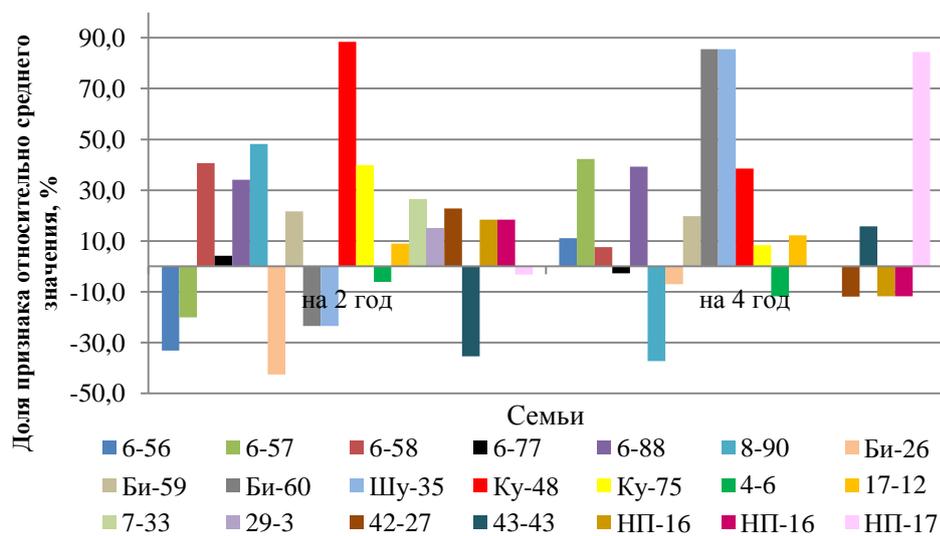


Рис. 2. Фрагмент распределения после пересадки семей кедр сибирского по длине хвои

Сопоставление выделенных семей с разрядом их роста после пересадки показало, что среди них только три семьи (Би-59, Шу-35, Ку-48) принадлежат к быстрорастущим, встречаются также средне- и медленнорастущие. Связь длины хвои с высотой и диаметром стволика значительная (соответственно $r = 0,519$ и $r = 0,502$), с возрастом – высокая ($r = 0,705$).

Заключение

Таким образом, на начальных этапах онтогенеза целесообразно проводить отбор семей по скорости роста и длине хвои, используя данные нескольких лет наблюдений, что позволит избежать ошибок при выделении перспективных семей. После пересадки медленно- и быстрорастущие семьи сохраняют тенденции роста, тогда как среднерастущие могут переходить из одной категории в другую, что, возможно, связано с разной восстановительной способностью после пересадки. Для оценки адаптационной способности растений к новым условиям местопроизрастания перспективно использовать в качестве показателя длину хвои. Так, выделенные по скорости роста семьи (Би-59, Шу-35, Ку-48) сохранили свое преимущество по высоте, а длина их хвои восстановилась уже на 2-й год после пересадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Генетическая обусловленность скорости роста ели европейской в культуре // Лесоведение. 2007. № 1. С. 42–48.
2. Братилова Н.П., Орешенко С.А. Рост сеянцев сосны кедровой сибирской различного географического происхождения // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 1. С. 2–65.
3. Брынцев В.А., Храмова М.И. Изменчивость семенного потомства сосны кедровой сибирской при интродукции // Лесн. журн. 2013. № 6. С. 38–47. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Воробьев В.Н., Хамитов Р.С. Влияние состояния филлотаксиса на показатели роста сеянцев кедра сибирского // Вестн. ИрГСХА. 2015. № 69. С. 46–52.
5. Данченко А.М., Кабанова С.А. Оценка роста полусибирского потомства сосны кедровой сибирской в открытом грунте и теплице // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV, № 2-3. С. 174–178.
6. Егоров М.Н. Испытание потомств как одна из ключевых проблем в генетике и селекции древесных пород (на примере *Pinus sylvestris* L.) // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2002. № 5. С. 37–44.
7. Ефимов Ю.П. Итоги многолетнего испытания материнских деревьев сосны обыкновенной по семенному потомству // Генетическая оценка исходного материала в лесной селекции: сб. науч. тр. Воронеж, 2000. С. 33–43.
8. Ильичев Ю.Н. Перспектива качественного отбора плюсовых деревьев кедра сибирского в горных условиях // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII, № 1-2. С. 83–86.
9. Рогозин М.В. Отбор лучших происхождений и семей ели сибирской // Лесн. хоз-во. 2011. № 6. С. 36–38.
10. Шеверножук Р.Г., Королева Н.Б., Бытченко Н.В. Рост полусибирского потомства сосны обыкновенной в испытательных культурах // Генетическая оценка исходного материала в лесной селекции: сб. науч. тр. Воронеж, 2000. С. 50–58.

11. Jansson G., Li B. Genetic Gains of Full-Sib Families from Disconnected Diallels in Loblolly Pine // *Silvae genetica*. 2004. No. 53. Pp. 60–64.

12. Johnson G.R. Common Families Across Test Series – How Many Do We Need? // *Forest Genetic*. 2004. No. 11(2). Pp. 103–112.

13. Parker W.C., Noland T.L., Morneau A.E. The Effects of Seed Mass on Early Seedling Growth of Five Eastern White Pine *Pinus strobus* L. Families Under Contrasting Light Environments // *Can. J. Bot.* 2004. No. 82. Pp. 1645–1655.

14. Shaowei H., Weihua Zh., Bingquan Ch. Estimation on Genetic Gains of Combined Selection for Growth Traits of Half-Sib Progeny of *Pinus taeda* // *Scientia Silvae Sinicae*. 2006. Vol. 42, no. 4. Pp. 33–37.

15. Xiao-Xia S., Yi-chi L., Xiao-xing Z. Combined Selection for Rapid Growth and Disease Resistance of the Introduced Families *Pinus taeda* // *Hebei nongue daxue xuebao*. 2004. No. 2. Pp. 71–80.

16. Xiaoyang Ch., Hawkins B., Xie Ch.-Yi, Ying Ch.C. Age Trends in Genetic Parameters and Early Selection of Lodgepole Pine Provenances with Particular Reference to the Lambeth Model // *Forest Genetics*. 2003. Vol. 10, no. 3. Pp. 249–258.

Поступила 12.03.17

UDC 630*232.311.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.73

Prospects of Selection of Siberian Cedar Half-Sibs According to Their Growth Rate at an Early Age

A.M. Pastukhova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev, pr. Imeni Gazety “Krasnoyarskiy rabochiy”, 31, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation; e-mail: past7@rambler.ru

The available literary evidence points to different understanding of the selection expediency according to the growth rate at the early ontogenesis stages of coniferous species and further using of such planting material for silvicultural production. For the first time in the conditions of the south of Central Siberia we carried out growth investigations of the 2nd generation of Siberian cedar seed offspring of different geographic origin, of forms over the 11-year observation period from the time of seeds germination and after bedding plants. The goal of research was the detection of variability within the growth indicators of Siberian cedar half-sibs in the course of time; determination of prospects of selection of families for the growth rate and their application in the development of crops. The target of research was a half-sib offspring of Siberian cedar in test cultures of the Krasnoyarsk suburban zone belonging to the Central Siberian sub-boreal forest steppe area according to the forest site zoning. The families were raised from seed harvested in 2003 in plantation crops, located in the same forest site conditions. That year was characterized by low yield of cedar seeds, which affected the number of families and the number of specimens in them. The half-sibs were planted at the age of 7 in several replications located randomized on the site. The materials

For citation: Pastukhova A.M. Prospects of Selection of Siberian Cedar Half-Sibs According to Their Growth Rate at an Early Age. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 73–81. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.73

were processing using the SPSS statistical program. The patterns of change in the variation level with respect to the rate of half-sib growth and the length of bundle needles were noted. The height variability level increased with age, whereas the variability level of the needle length remained stably high for the entire observation period. In most Siberian cedar families under the age of 6, the growth pattern could change. The proportion of families with stable growth rates increased from 7 years of age. Transplantation to a permanent place reduced the proportion of such families by 26.7 %, but with a tendency to reduce this gap. The model describing the dependence of height on a stipitate diameter and the age over the entire observation period was obtained ($R^2 = 0.888$). The link between the needle length, height and diameter of a stipitate was noted ($r = 0.519$ and $r = 0.502$), and with the age ($r = 0.705$). In the early stages of ontogenesis, we could observe families stably retaining their growth regardless of external factors. After transplantation, fast- and slow-growing seed offspring retained their growth pattern for the 2nd and 4th year after transplantation. We selected families that had a high growth rate and quick recovery after transplantation (taking into account the needle size before and after transplantation).

Keywords: growth rates, variability, half-sib, selection, correlation, Siberian cedar.

REFERENCES

1. Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. Geneticheskaya obuslovlennost' skorosti rosta eli evropeyskoy v kul'ture [Genetic Conditionality of the European Spruce Growth Rate in Culture]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2007, no. 1, pp. 42–48.
2. Bratilova N.P., Oreshenko S.A. Rost seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya [Seedlings Growth of Siberian Cedar Pine of Various Geographical Origin]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [the Bulletin of KrasGAU], 2010, no. 1, pp. 62–65.
3. Bryntsev V.A., Khramova M.I. Izmenchivost' semennogo potomstva sosny kedrovoy sibirskoy pri introduktsii [Variability of Seed Progeny of Siberian Pine at Introduction]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 6, pp. 38–47.
4. Vorob'ev V.N., Khamitov R.S. Vliyanie sostoyaniya fillotaksisa na pokazateli rosta seyantsev kedra sibirskogo [Influence of Phyllotaxis Condition on Growth Indicators of Siberian Cedar Seedlings]. *Vestnik Irkutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Vestnik IrGSHA], 2015, no. 69, pp. 46–52.
5. Danchenko A.M., Kabanov S.A. Otsenka rosta polusibsovogo potomstva sosny kedrovoy sibirskoy v otkrytom grunte i teplitse [Growth Estimation of Half-Sib Offspring of Siberian Cedar Pine on the Field and Greenhouse]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2007, vol. XXIV, no. 2-3, pp. 174–178.
6. Egorov M.N. Ispytanie potomstva kak odna iz klyuchevykh problem v genetike i selektsii drevesnykh porod (na primere *Pinus sylvestris*) [Test of Posterity as One of the Key Problems in Genetics and Selection of Tree Species (on the Example of *Pinus sylvestris*)]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2002, no. 5, pp. 37–45.
7. Efimov Yu.P. Itogi mnogoletnego ispytaniya materinskikh derev'ev sosny obyknovennoy po semennomu potomstvu [Results of Long-Term Seed Progeny Testing of Maternal Trees of Scots Pine]. *Geneticheskaya otsenka iskhodnogo materiala v lesnoy selektsii: sb. nauch. tr.* [Genetic Evaluation of the Initial Material in Forest Breeding: Proc.]. Voronezh, 2000, pp. 33–43. (In Russ.)

8. Il'ichev Yu.N. Perspektivy kachestvennogo otbora plyusovykh derev'ev kedra sibirskogo v gornykh usloviyakh [The Prospects of Selection of *Pinus sibirica* Plus Trees]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2010, vol. XXVII, no. 1-2, pp. 83–86.

9. Rogozin M.V. Otkor luchshikh proiskhozhdeniy i semey eli sibirskoy [Selection of the Best Origins and Families of Siberian Spruce]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2011, no. 6, pp. 36–38.

10. Shevernozhuk R.G., Koroleva N.B., Bytchenko N.V. Rost polusibovykh potomstv sosny obyknovennoy v ispytatel'nykh kul'turakh [Growth of Half-Sib Progenies of Scots Pine in Test Cultures]. *Geneticheskaya otsenka iskhodnogo materiala v lesnoy seleksii: sb. nauch. tr.* [Genetic Evaluation of the Initial Material in Forest Breeding: Proc.]. Voronezh, 2000, pp. 50–59. (In Russ.)

11. Jansson G., Li B. Genetic Gains of Full-Sib Families from Disconnected Diallels in Loblolly Pine. *Silvae genetica*, 2004, no. 53, pp. 60–64.

12. Johnson G.R. Common Families Across Test Series – How Many Do We Need? *Forest Genetics*, 2004, no. 11(2), pp. 103–112

13. Parker W.C., Noland T.L., Morneau A.E. The Effects of Seed Mass on Early Seedling Growth of Five Eastern White Pine *Pinus strobus* L. Families Under Contrasting Light Environments. *Can. J. Bot.*, 2004, no. 82, pp. 1645–1655.

14. Shaowei H., Weihua Zh., Bingquan Ch. Estimation on Genetic Gains of Combined Selection for Growth Traits of Half-Sib Progeny of *Pinus taeda*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, vol. 42, no. 4, pp. 33–37.

15. Xiao-Xia S., Yi-chi L., Xiao-xing Z. Combined Selection for Rapid Growth and Disease Resistance of the Introduced Families *Pinus taeda*. *Hebei nongue daxue xuebao*, 2004, no. 2, pp. 71–80.

16. Xiaoyang Ch., Hawkins B., Xie Ch.-Yi, Ying Ch.C. Age Trends in Genetic Parameters and Early Selection of Lodgepole Pine Provenances with Particular Reference to the Lambeth Model. *Forest Genetics*, 2003, vol. 10, no. 3, pp. 249–258.

Received on March 12, 2017
