

УДК 630*165.6;630*232.19

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ ОЦЕНКИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ

© 2020 г. А. С. Бондаренко^а, *, А. В. Жигунов^б, **

^аСанкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства,
Институтский просп., 21, Санкт-Петербург, 194021 Россия

^бСанкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,
Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, 194021 Россия

*E-mail: asbond@mail.ru

**E-mail: a.zhgunov@bk.ru

Поступила в редакцию 28.12.2016 г.

После доработки 27.02.2018 г.

Принята к публикации 06.04.2020 г.

Момент стабилизации рангового положения отдельных деревьев и полусибсовых семей плюсовых деревьев в испытательных культурах позволяет определить оптимальный возраст оценки генетических свойств древесных растений по семенному потомству. Отдельные деревья, а также полусибсовые семьи плюсовых деревьев ели европейской в насаждении характеризуются интенсивной сменой своего рангового положения в первые 10–15 лет жизни, а в последующие годы его скорость существенно снижается. Начиная со второго класса возраста (21 год и старше) наблюдается относительная стабилизация данного процесса по скорости роста. В возрасте, превышающем возраст окончательной оценки семей плюсовых деревьев в испытательных культурах (для ели европейской – 40 лет), изменения рангового положения семей также имеют место, но они гораздо менее интенсивные. Группа средних по скорости роста полусибсовых семей плюсовых деревьев характеризуется более интенсивной сменой своего рангового положения по сравнению с семьями, относящимися к крайним ранговым группам. По результатам исследований рекомендуется снижение возраста оценки генетических свойств плюсовых деревьев ели европейской в условиях Северо-Запада России до 20 лет.

Ключевые слова: испытательные культуры, ель европейская, семья, семенное потомство, скорость роста, группа роста, дифференциация, кластерный анализ, редуцированное число.

DOI: 10.31857/S0024114820040038

При создании лесосеменных плантаций основных лесобразующих пород непроверенным по потомству материалом, генетический эффект зависит от породы, селектируемого признака и интенсивности селекции. Он составляет по разным данным от 3 до 12% для высоты дерева и от 0 до 30% – для объема ствола (Ruotsalainen, 2014). Для получения более выраженного селекционного эффекта необходимо выполнить генетическую оценку плюсовых деревьев по семенному потомству. Для оценки наследственных свойств плюсовых деревьев используются испытательные культуры, представляющие собой заложенные по специальным схемам опытные объекты, создаваемые с использованием их семенного потомства. Цель создания таких объектов – оценка преимущества в росте семенного потомства тех или иных генотипов (Основные ..., 1982), которая выполняется

в возрасте, соответствующем стабилизации рангового положения деревьев относительно друг друга. Именно в это время исследователи делают вывод о генетически обусловленном преимуществе в росте тех или иных семей плюсовых деревьев. По результатам исследования семьи с хорошей сохранностью растений, показавшие достоверное превышение в скорости роста над контролем, подлежат переводу в категорию элитных (Жигунов и др., 2012). В дальнейшем вегетативным потомством элитных деревьев закладываются лесосеменные плантации второго порядка. В соответствии с “Указаниями по лесному семеноводству в Российской Федерации” (2000), окончательная оценка семенных потомств плюсовых деревьев в испытательных культурах производится в возрасте потомств не менее 1/2 возраста рубки главного пользования, или возраста спелости, принятого

для данного вида лесных растений в конкретной лесорастительной зоне. При этом основным вопросом в испытании генотипов лесообразующих пород является оценка уровня генетической обусловленности процессов роста и дифференциации растений в древостое по данному показателю (Маслаков, 1984; Бондаренко, Жигунов, 2007).

В частности, пристальное внимание исследователей привлекает возраст стабилизации рангового положения деревьев в насаждении, дающий ориентировочную оценку сроков испытания ценных генотипов. При этом оценки возраста, при котором происходит стабилизация рангов высот, позволяющая производить сравнительную оценку их роста и, следовательно, предсказывать преобладание в будущем по высоте тех или иных деревьев, существенно различаются. В данном контексте исследователи указывают диапазон возрастов от 5–7 до 80 лет (Картель, Манцевич, 1970; Долголиков, 1974; Орленко, 1974; Роне, 1980; Этверк, 1981; Jiang, 1987; Ворончихин, Видякин, 1989; Ефимов, 2000; Царев, 2003; Золотой, Казей, 2006; Федорков, 2009; Жигунов и др., 2012). Чрезвычайно высокий разброс оценок минимального для сравнительной характеристики генотипов возраста, очевидно, связан в первую очередь с различным подходом исследователей к допустимой точности результатов работы и формированию критериев такой оценки. Существуют различные методические подходы к моделированию процессов роста (Роне, 1980; Маслаков, 1984; Бондаренко, 2000; Демаков 2002; Хие, 2006), которые возможно использовать при изучении дифференциации деревьев в древостое.

При изучении скорости роста в высоту обычно всю совокупность деревьев исследуемой популяции разделяют на пять групп в зависимости от их высоты в определенном возрасте (Маслаков, 1984). Недостатком такого деления деревьев является нестабильность во времени рангового положения дерева в популяции, что усложняет отнесение его к какой-либо ранговой группе. В связи с этим очевидна необходимость использовать данные о росте деревьев на всем изучаемом промежутке, а не только за какой-либо отдельный год наблюдения, что становится возможным при разделении деревьев на группы роста с помощью кластерного анализа (Бондаренко, 2000; Наследов, 2013). Следует отметить, что применение такого многомерного метода статистического анализа данных, как кластерный анализ, обусловлено исключительно удобством разделения объектов (растений) по совокупности численных характеристик (данные высот за ряд лет), не лимитировано использованием каких-либо критериев соответствия и с таким же успехом могло быть выполнено в ручном режиме самим исследователем. То есть метод кластерного анализа “К-средних” ис-

пользуется в качестве рабочего инструмента исследования и не включает в свой состав каких-либо статистических гипотез, на соответствие которым проверяются эмпирические данные.

При этом степень генетической обусловленности скорости роста в значительной мере определяет возможность разработки и использования методов ранней диагностики деревьев, выделенных по данному показателю, что является одним из приоритетных направлений лесовосстановления (Шутов и др., 1984; Долголиков, 1987; Беляев, 1999). В связи с этим необходима оценка возраста стабилизации рангового положения отдельных деревьев и полусибсовых семей плюсовых деревьев в целом, которая позволит определить оптимальный возраст для оценки генетических свойств древесных растений в испытательных культурах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объектами исследования послужили испытательные культуры ели европейской, заложенные на лесных участках Гатчинского лесничества Ленинградской области в период с 1968 по 1993 г. Испытательные культуры плюсовых деревьев ели европейской используются по той причине, что для них характерны некоторые специфические особенности, делающие их идеальными объектами для выполнения такого рода исследований. В частности, они закладываются по общепринятой в России схеме для лесных культур, схема закладки участков позволяет выполнить генетический анализ, уровень генетического разнообразия семенных потомств характеризует значение данного показателя для семян с улучшенными наследственными свойствами. Перечисленное дает возможность делать выводы об особенностях роста и дифференциации производственных лесных культур на основе изучения испытательных культур.

На каждом из участков испытательных культур выполнен подеревный учет с измерением основных биометрических показателей. Точность измерения высоты растений – до 1 см на участках моложе 20-летнего возраста и до 10 см – на участках старшего возраста. Измеряется также таксационный диаметр на высоте груди (1.3 м) с точностью до 1 мм. На участке испытательных культур ели европейской в кв. 48 Орлинского участкового лесничества Гатчинского лесничества в связи с высокой плотностью сплошное измерение высот деревьев выполнить затруднительно, поэтому этот показатель замерен у части деревьев числом от 2 до 13 для каждой из семей. Для расчёта средней высоты каждой из семей плюсовых деревьев использована линейная зависимость высоты от диаметра, поскольку в начальный период хода роста для деревьев ели европейской характерна линейная связь этих показателей. При этом произво-

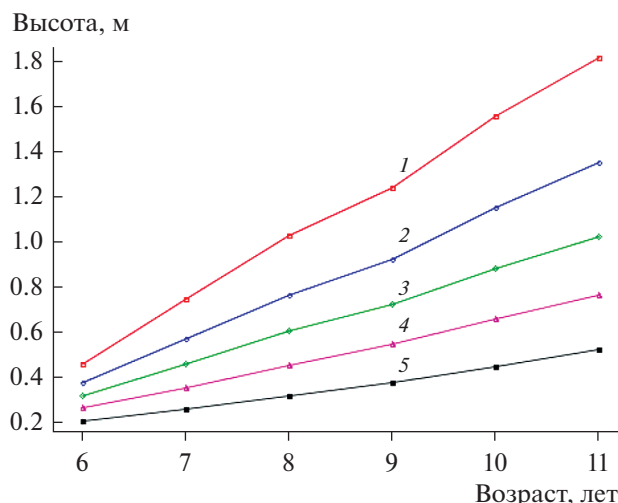


Рис. 1. Изменение высот растений различных групп роста (1–5) по результатам деления совокупности растений на основе кластерного анализа “*K*-means” (испытательные культуры ели европейской, Гатчинское лесничество, Орлинское участковое лесничество, кв. 4).

дится индивидуальный расчет коэффициентов регрессии для каждой из полусибсовых семей, представленных на данном участке. По результатам вычисления линейной регрессии для каждой семьи получены значения коэффициентов регрессии и рассчитаны соответствующие высоты для всех исследованных плюсовых деревьев в рамках соответствующих семей. В изучаемых культурах семьи плюсовых деревьев представлены числом повторностей от 1 до 12.

Для оценки роста деревьев в испытательных культурах использовалось разбиение всей совокупности растений на ранговые группы в соответствии с их высотой. При этом деревья объединяются в возможно более удаленные друг от друга группы (кластеры) по совокупности численных характеристик. В частности, для решения приведённой задачи использовался метод кластеризации “*K*-средних”, при котором исследователем изначально задаётся число кластеров, на которые необходимо разделить объекты. В нашем случае объектами изучения являются деревья в испытательных культурах, кластерами – пять групп скорости роста, переменными – высоты за ряд лет. Результатом анализа является деление деревьев на группы роста по данным ряда высот за определенный промежуток времени. По результатам выполненной группировки растений различия между группами роста в разном возрасте оцениваются при помощи дисперсионного анализа (Айвазян, 1983). Рассчитывается уровень достоверности различий между полученными группами по среднему значению высоты, а также анализиру-

ется динамика различий между полученными группами роста по высоте в возрастном градиенте. При выполнении такого анализа помимо различий между группами роста по значениям изучаемого признака рассматриваются таблицы численного распределения деревьев по группам роста, характеризующие интенсивность перехода деревьев из одних групп в другие. Доля деревьев, переходящих из одних групп в другие за определенный промежуток времени, позволяет оценить степень стабильности рангового положения деревьев разного размера в различном возрасте.

Одним из важнейших вопросов исследования являлась оценка влияния генетических факторов на стабильность проявления признака скорости роста в высоту. При этом рассматривается стабильность средних семейственных значений высоты растений в различном возрасте и доля семей, сохранивших свой ранг по высоте растений в ряду других семей. Кроме того, большой интерес представляет направление изменений рангового статуса семей. При этом внимание уделяется всем возрастным периодам развития испытательных культур ели европейской вплоть до окончания оценки их генетических свойств, что в отношении данного вида на Северо-Западе России соответствует возрасту насаждений 40 лет и старше. Для возможности выполнения сравнительного анализа скорости роста в высоту семей плюсовых деревьев в различные периоды времени использовали такой относительный показатель как редукционное число по высоте ствола, представляющее собой отношение средней высоты той или иной семьи к среднему значению высоты всего насаждения (Маслаков, 1984).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При разделении совокупности деревьев участка испытательных культур ели европейской в кв. 4 Орлинского участкового лесничества Гатчинского лесничества на пять групп роста при помощи кластерного анализа по данным ряда высот растений в возрастном периоде 6–11 лет получены хорошо обособленные группы роста (рис. 1). При этом в соответствии с результатами дисперсионного анализа различия между группами уже в возрасте растений 6 лет достоверны на уровне значимости 0.05, и эти различия между группами с возрастом увеличиваются. Так, к возрасту растений 23 г. различия между средними значениями высот растений указанных групп достигают очень высоких величин (*F*-критерий Фишера равен 5681). Это подтверждает предположение, что уже начиная с первых лет роста в насаждениях ели европейской наблюдается выраженная дифференциация растений по скорости прироста в высоту и с течением времени различия по высоте

между деревьями-лидерами, средними деревьями и аутсайдерами только увеличивается (рис. 1).

Представление о ранговых перемещениях отдельных деревьев в древостое дают диаграммы перехода деревьев из одних групп роста в другие за определенный промежуток времени. На рисунке 2 приведен пример такой диаграммы для совокупности деревьев изучаемого участка испытательных культур ели европейской. Они отражают число деревьев по группам роста в возрасте культур 23 г. из тех, которые в соответствии с группировкой на основе кластерного анализа были отнесены по высотам растений в промежутке 6–11 лет соответственно к 1-, 3- и 5-й группам роста. В частности, из общего числа деревьев, которые по динамике хода роста в 6–11 лет по результатам кластерного анализа были отнесены к 1-й группе роста, к возрасту насаждения 23 г. в 1-2-й группах роста остались свыше 92% деревьев, а перешли в 4–5-ю группы – менее 5% деревьев (рис. 2а).

Из общего числа деревьев, которые по результатам анализа динамики хода роста в 6–11 лет были отнесены к 3-й группе роста, к возрасту насаждения 23 г. остались в 3-й группе 30% деревьев, в пределах средних 2–4-й групп роста – 78%, изменили свою группу роста на 1-ю – 10%, переместились в аутсайдеры – 12% деревьев (рис. 2б).

Если же рассматриваем исходную в возрасте 6–11 лет 5-ю группу роста (рис. 2в), то к возрасту насаждения 23 г. остались в ней осталось – 55% деревьев, сохранили положение ниже среднего (3–5-я группы) – 93%, перешли во 2-ю группу – 5%, перешли в лидирующую 1-ю группу всего 2% деревьев.

Необходимо отметить, что в соответствии с полученными данными группа средних по скорости роста полусибсовых семей плюсовых деревьев гораздо более изменчива по своему ранговому статусу, чем крайние группы роста, относящиеся к лидерам и аутсайдерам (соответственно 1- и 5-я ранговые группы).

Следует отметить, что при построении данных графических зависимостей использовались только деревья, сохранившиеся к 23 г. Очевидно, что при включении в такого рода анализ особей, которые к этому времени погибли, картина дифференциации деревьев по скорости роста была бы ещё более выраженной. Таким образом, наблюдается высокая степень стабильности рангового положения отдельных деревьев ели европейской уже после 10-летнего возраста.

С целью оценки роли генетических факторов в процессах дифференциации растений рассмотрим динамику ранговых перемещений не по высотам отдельных деревьев, как это было сделано в приведенных выше примерах, а по уровню стабильности рангов средних значений высот по се-

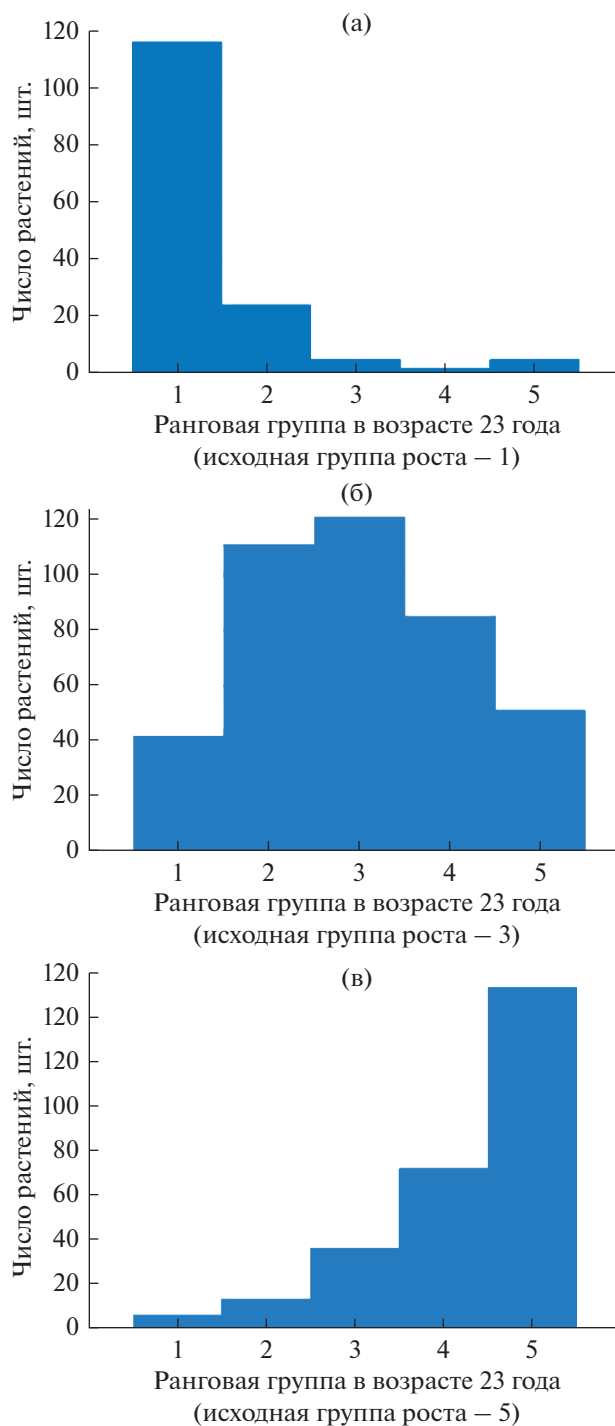


Рис. 2. Распределение растений в возрасте 23 лет по группам роста из различных исходных групп роста, рассчитанных кластерным анализом по совокупности высот в возрасте 6–11 лет.

мьям плюсовых деревьев, то есть их различных генетических групп. Для этого применим рассмотренный выше способ распределения растений по группам роста при помощи кластерного анализа, но с использованием значений высот не

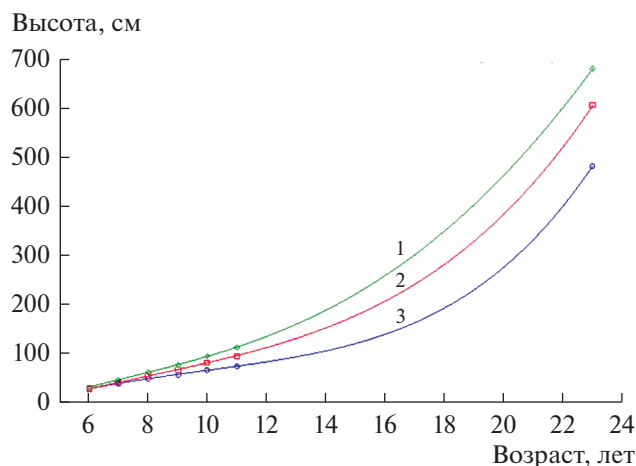


Рис. 3. Изменение средних высот растений в семьях плюсовых деревьев ели европейской по группам роста (1–3), выделенных по результатам кластерного анализа (испытательные культуры, Гатчинское лесничество, Орлинское участковое лесничество, кв. 4).

по отдельным растениям, а средних значений высот различных полусибсовых семей плюсовых деревьев в испытательных культурах. В отличие от используемого выше разделения отдельных растений выполнено деление всего на три группы роста (лучшие, средние и аутсайдеры). Применение в анализе меньшего числа групп роста связано со сравнительно небольшой численностью

объектов при кластерном анализе (целые семьи, а не отдельные деревья). Результаты такого распределения полусибсовых семей плюсовых деревьев в испытательных культурах ели европейской по трем группам роста приведены на рис. 3. Также, как и в случае с отдельными деревьями, наблюдается отчетливая дифференциация по группам роста. При этом различия между приведенными тремя группами роста в соответствии с результатами дисперсионного анализа достоверны уже начиная с 7-летнего возраста растений и последовательно увеличиваются с возрастом. Так, в возрасте растений 6 лет F -критерий равен 3.25 (значение недостоверно на уровне значимости 0.05), в возрасте 7 лет он составляет уже достоверную величину 4.63 и в дальнейшем закономерно увеличивается вплоть до различий на очень высоком уровне значимости со значением 67.01 в возрасте 23 г.

Для того, чтобы оценить стабильность рангового положения семей, рассмотрим картину динамики редуционных чисел для отдельных семей плюсовых деревьев в возрасте растений от 4 до 23 лет. В соответствии с графиком изменения редуционных чисел по высоте растений для отдельных семей плюсовых деревьев наиболее интенсивная смена их рангового положения наблюдается в возрасте до 7 лет (рис. 4). В дальнейшем ранговое положение семей на площади участка гораздо более стабильно: существенным образом меняют свои ранги только некоторые из них. Например, семья 455 в возрасте 6 лет характеризует-

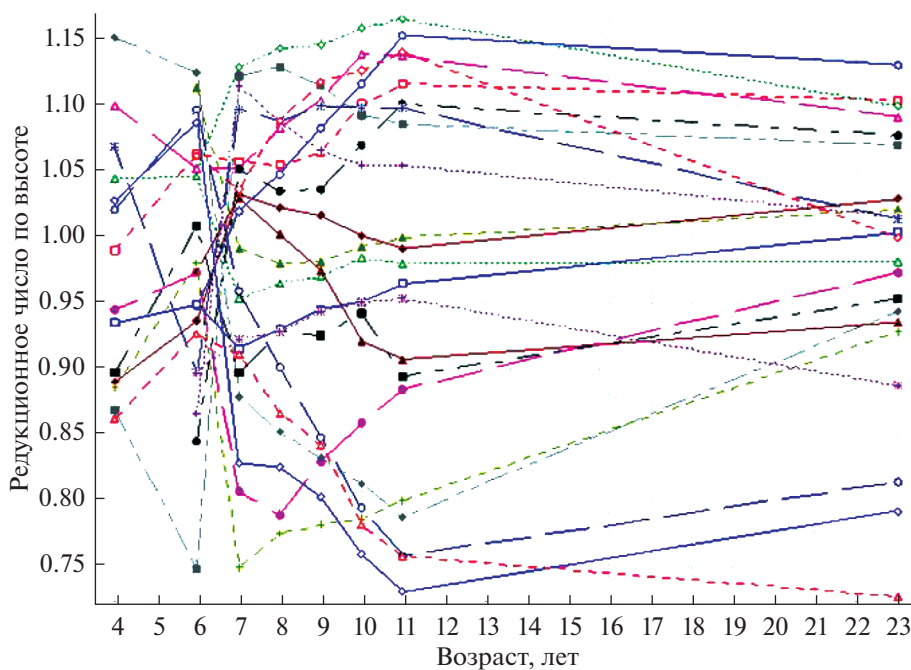


Рис. 4. Динамика редуционных чисел по семьям плюсовых деревьев ели европейской (испытательные культуры, Гатчинское лесничество, Орлинское участковое лесничество, кв. 4).

ся редуцированным числом 1.10, в то время как к возрасту растений 11 лет значение данного показателя неуклонно снижается до 0.76. И всё же основная масса семей после возраста растений 7–8 лет стабилизирует свое положение в древостое по среднему значению высоты.

Анализируя ранговые перемещения семей плюсовых деревьев на протяжении 19 лет (возраст с 4 до 23 лет) на участке испытательных культур ели европейской, расположенных в кв. 4 Орлинского участка лесничества Гатчинского лесничества, можем говорить о том, что из одиннадцати быстрорастущих семей, имеющих в возрасте 8 лет редуцированное число, превышающее 1.0 (среднее значение высоты насаждения в целом), к возрасту 23 г. (т.е. за 15 лет) сохранили свой статус 10. Таким образом, из числа семей, равных либо превышающих по высоте среднее дерево насаждения, за 15 лет роста (с 8 до 23 лет) свой лидирующий статус сохранили более 90%.

В то же время в более ранний период возрастов — с 6 до 8 лет (т.е., всего за двухлетний промежуток времени) — из 10 семей сохранили редуцированное число, равное 1.0 и более только 5 семей, то есть всего лишь 50% от общего числа. Полученная картина подтверждается приведенными выше результатами анализа динамики ранговых перемещений семей плюсовых деревьев, демонстрирующими интенсивную смену рангового положения семей в возрасте 4–8 лет и гораздо большую стабильность относительного положения семей по высоте растений в последующие годы (рис. 4) — уже к 8-летнему возрасту: так, из одиннадцати семей, имеющих в возрасте 8 лет редуцированное число, равное 1.0 и более, к возрасту 11 лет сохранили свое лидирующее положение 9 (81%). Если же мы рассматриваем стабильность рангового положения полусибсовых семей по высоте в возрастном промежутке от 11 до 23 лет, то за указанные 12 лет из 10 семей, имеющих в возрасте 11 лет редуцированное число, равное 1.0 и более, к возрасту 23 г. сохранили свое лидирующее положение все 10 семей, то есть 100%! Таким образом, на основании приведенных данных можно заключить, что после 11 лет ранговое положение деревьев изменяется на порядок менее интенсивно, чем в первое десятилетие жизни.

Для того, чтобы оценить динамику рангового положения полусибсовых семей плюсовых деревьев воспользуемся данными о ходе роста деревьев ели европейской на одном из старейших участков испытательных культур, расположенных в кв. 48 Орлинского участка лесничества Гатчинского лесничества Ленинградской области. По результатам аналогичного вышеприведенному анализа рангового положения семей плюсовых деревьев в возрастном градиенте из семи лучших семей, имеющих в возрасте 18 лет ре-

дукционное число равное 1.0 и более, к возрасту 49 лет (то есть в течение 1–2-го классов возраста за 31 г. наблюдений) сохранили свое лидирующее положение 5 из них, т.е. 71%. Если же мы используем более поздний промежуток времени, соответствующий первой половине 2-го класса возраста, то в возрасте от 44 до 49 лет из числа лучших, изменила свое лидирующее положение (редукционное число, равно 1.0 и более) только одна семья плюсового дерева 36–54.

Таким образом, в возрасте окончательной оценки наследственных свойств плюсовых деревьев (в соответствии с действующими нормативными документами для ели европейской это 40 лет) смена рангового положения семей плюсовых деревьев все еще имеет место, хотя и выражена в гораздо меньшей степени по сравнению с периодом возрастов до середины 2-го класса.

Основываясь на выполненных исследованиях можно говорить, что в конце 2-го класса возраста в насаждениях ели европейской в условиях Северо-Запада России с достаточно высокой долей вероятности становится возможной оценка наследственных свойств растений по скорости роста в испытательных культурах. Интенсивная смена рангового положения отдельных деревьев и полусибсовых семей плюсовых деревьев наблюдается в раннем возрасте в течение первой половины первого класса возраста. Начиная со второго класса возраста (21 год и старше) наблюдается относительная стабилизация рангового положения семей плюсовых деревьев по скорости роста. В связи с этим полученные результаты могут быть использованы в качестве одного из обоснований для снижения возраста оценки генетических свойств плюсовых деревьев ели европейской в условиях Северо-Запада России. Это позволит сократить сроки испытания генотипов основных лесообразующих пород, смягчить негативные последствия старения вегетативного материала при закладке лесосеменных плантаций, обеспечить необходимую преемственность работ в лесной селекции и повысить экономическую эффективность селекционных работ за счет интенсификации использования селекционного материала при производстве лесных культур.

Выводы. 1. Отдельные деревья ели европейской в насаждении характеризуются интенсивной сменой своего рангового положения в первые 10–15 лет жизни.

2. Наиболее интенсивная смена рангового положения у полусибсовых семей плюсовых деревьев ели европейской наблюдается в возрасте до 10 лет. В дальнейшем интенсивность смены рангового положения семей плюсовых деревьев существенно снижается. Тем не менее некоторые изменения рангового положения семей плюсовых деревьев наблюдаются и в возрасте, превы-

шающем возраст окончательной оценки семей плюсовых деревьев в испытательных культурах (для ели европейской – 40 лет).

3. Группа средних по скорости роста полусибсовых семей плюсовых деревьев характеризуется более интенсивной сменой своего рангового положения в древостое по сравнению с семьями, относящимися к крайним ранговым группам (то есть лидерам и аутсайдерам, соответственно 1- и 5-я ранговые группы).

4. Начиная со второго класса возраста (21 год и старше) наблюдается относительная стабилизация рангового положения семей плюсовых деревьев ели европейской по скорости роста.

5. Рекомендуются снижение возраста оценки генетических свойств плюсовых деревьев ели европейской в условиях Северо-Запада России до 20 лет для обеспечения снижения общего срока испытания генотипов и закладки лесосеменных плантаций второго порядка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1983. 487 с.
- Беляев В.В.* Эффективность отбора посадочного материала хвойных пород по прямому и косвенным признакам при создании лесных культур // *Лесной журн.* 1999. № 6. С. 41–48.
- Бондаренко А.С.* Применение кластерного анализа для оценки роста древесных пород // Восстановление лесов, ресурсо- и энергосберегающие технологии лесного комплекса: Мат. межвузов. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию Воронежской лесотех. академии. Воронеж, 27–29 сентября 2000 г. Воронеж, 2000. С. 40–42.
- Бондаренко А.С., Жигунов А.В.* Генетическая обусловленность скорости роста ели европейской в культуре // *Лесоведение.* 2007. № 1. С. 42–48.
- Ворончихин Л.И., Видякин А.И., Овечкин С.М.* Пути повышения эффективности работ по селекции сосны и ели в Кировской области // Селекция ценных форм древесных пород и их использование для создания целевых насаждений: Сб. науч. тр. Воронеж: Центральный НИИ лесной генетики и селекции, 1989. С. 79–83.
- Демаков Ю.П.* Изменчивость и классификация форм кривых роста деревьев в онтогенезе // *Лесной журн.* 2002. № 4. С. 34–41.
- Долголиков В.И.* О ранней диагностике быстрого роста в высоту у сосны и ели по прямому признаку // Состояние и перспективы развития лесной генетики, селекции, семеноводства и интродукции. Методы селекции древесных пород: Сб. тез. докл. совещ. Рига: Зинатне, 1974. С. 45–48.
- Долголиков В.И.* Отбор быстрорастущих саженцев ели для плантационного лесовыращивания: Методич. указания. Л.: ЛенНИИ лесн. хоз-ва, 1987. 20 с.
- Ефимов Ю.П.* Итоги многолетнего испытания материнских деревьев сосны обыкновенной по семенному потомству // Генетическая оценка исходного материала в лесной селекции. Воронеж: НИИ лесной генетики и селекции, 2000. С. 33–44.
- Жигунов А.В., Бондаренко А.С., Николаева М.А.* Первые результаты отбора элитных деревьев ели европейской в Ленинградской области // *Лесной журн.* 2012. № 3. С. 43–50.
- Золотой А.В., Казей Т.П., Яблоков С.А.* Селекционная оценка испытательных культур ели европейской в ОЛХ “Русский лес” // *Лесной вестник.* 2006. № 5. С. 135–138.
- Картель Н.А., Манцевич Е.Д.* Генетика в лесоводстве. Минск: Наука и техника, 1970. 165 с.
- Маслаков Е.А.* Формирование сосновых молодняков. М.: Лесная пром-сть, 1984. 168 с.
- Наследов А.* IBM SPSS Statistics 20 и AMOS: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2013. 416 с.
- Орленко Е.Г.* Ранняя диагностика при проверке генетических свойств плюсовых деревьев // Состояние и перспективы развития лесной генетики, селекции, семеноводства и интродукции: Сб. тез. докл. совещ. Рига: Зинатне, 1974. С. 83–84.
- Основные положения методики закладки испытательных культур плюсовых деревьев основных лесобразующих пород. Воронеж: Центральный НИИ лесной генетики и селекции, 1982. 18 с.
- Роне В.М.* Генетический анализ лесных популяций. М.: Наука, 1980. 160 с.
- Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. Утв. Рослесхозом 11.01.2000 г. М: ВНИИЦлесресурс, 2000. 198 с.
- Федорков, А.Л., Туркин А.А.* Возраст оценки качества потомств в испытательных культурах сосны // *Лесоведение.* 2009. № 2. С. 69–71.
- Царев А.П., Погиба С.П., Тренин В.В.* Селекция и репродукция лесных древесных пород. М.: Логос, 2003. 520 с.
- Шутов И.В., Маслаков Е.Л., Маркова И.А.* Лесные плантации (ускоренное выращивание ели и сосны). М.: Лесная пром-сть, 1984. 245 с.
- Этверк И.Э.* Результаты испытания потомств елей одного насаждения // Разработка основ систем селекции древесных пород: Тез. докл. совещ. Рига, 22–25 сентября 1981 г. Рига: Зинатне, 1981. Ч. 1. С. 122–125.
- Jiang I. B.-J.* Early testing in forest tree breeding: a review // *Forest Tree Improvement.* 1987. № 20. P. 45–78.
- Ruotsalainen S.* Increased forest production through forest tree breeding // *Scandinavian J. Forest Research.* 2014. V. 29. № 4. P. 333–344
- Xie C.-Y., Yanchuk A.D., Fu Y.-B.* Accuracy of ranking Individuals in field tests of different designs: a computer simulation // *Silvae Genetica.* 2006. V. 55. № 2. P. 70–77.

Optimal Age of the Elite Trees' Genetic Properties Assessment in Test Cultures of a Norway Spruce

A. S. Bondarenko^{1, *} and A. V. Zhigunov^{2, **}

¹*Saint-Petersburg Forest Research Institute, Institutskii pr. 21, St. Petersburg, 194021 Russia*

²*Saint-Petersburg State Forest Technical University, Institutskii per. 5, St. Petersburg, 194021 Russia*

*E-mail: asbond@mail.ru

**E-mail: a.zhigunov@bk.ru

Estimation of the time when individual trees and half-sib families acquire stable rank position in progeny tests makes it possible to determine the optimal age best suited for estimation of genetic properties of trees with respect to their seed progeny. Individual trees and half-sib families in Norway spruce (*Picea abies* L.) stands may significantly change their rank position in the first 10–15 years of their life, whereas later on, their rank positions become stable. Starting from age class 2 (21 years and older), the rank positions of *Picea abies* families become relatively stable with respect to the growth rate. At the age exceeding the age of the final estimation of families in progeny tests (40 years for *Picea abies*), families may also change their rank positions but not so significantly. The group of half-sib families with average rates of growth is characterized by a more significant change in its ranking position as compared with the families from extreme ranking groups. Based on the results of the research, it is recommended that the genetic properties of *Picea abies* families in progeny tests in the North-West of Russia be estimated prior to the age of 20.

Keywords: progeny tests, Picea abies, seed progeny, growth rate, growth group, differentiation, cluster analysis.

REFERENCES

- Aivazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D., *Prikladnaya statistika: issledovanie zavisimosti* (Applied statistics: studies of relationships), Moscow: Finansy i statistika, 1985, 487 p.
- Belyaev V.V., *Effektivnost' otbora posadochnogo materiala khvoinykh porod po pryamomu i kosvennym priznakam pri sozdanii lesnykh kul'tur* (The effectiveness of the planting material selection of coniferous species based on direct and indirect features for the establishment of forest plantations), *Lesnoi zhurnal*, 1999, No. 6, pp. 41–48.
- Bondarenko A.S., *Primenenie klaster'nogo analiza dlya otsenki rosta drevesnykh porod* (Using cluster analysis to evaluate the growth of tree species), *Vosstanovlenie lesov, resurso- i energosberegayushchie tekhnologii lesnogo kompleksa* (Forest restoration, resource and energy saving technologies of the forest complex), Proc.Conf., Voronezh, 27–29 September, 2000, Voronezh, 2000, pp. 40–42.
- Bondarenko A.S., Zhigunov A.V., *Geneticheskaya obuslovlennost' skorosti rosta eli evropeiskoi v kul'ture* (Genetic stipulation of growth rate of Norway spruce plantation), *Lesovedenie*, 2007, No. 1, pp. 42–48.
- Demakov Y.P., *Izmenchivost' i klassifikatsiya form krivykh rosta derev'ev v ontogeneze* (Variability and classification of tree growth curves in ontogenesis), *Lesnoi zhurnal*, 2002, No. 4, pp. 34–41.
- Dolgolikh V.I., *O rannei diagnostike bystrogo rosta v vysotu u sosny i eli po pryamomu priznaku* (About early direct detection of accelerated height growth for pine and spruce), *Sostoyanie i perspektivy razvitiya lesnoi genetiki, selektsii, semenovodstva i introduktsii. Metody selektsii drevesnykh porod* (Status and prospects of forest genetics, breeding, seed production and introduction: tree breeding methods), Proc. Conf., Riga, pp. 45–48.
- Dolgolikh V.I., *Otor bystrorastushchikh sazhentsev eli dlya plantatsionnogo lesovy rashchivaniya* (Selection of fast-growing spruce seedlings for the establishment of forest plantations), Leningrad: LenNIILKh, 1987, 20 p.
- Efimov Y.P., *Itogi mnogoletnego ispytaniya materinskikh derev'ev sosny obyknovnoy po semennomu potomstvu* (The results of long-term tests of *Pinus sylvestris* mother trees by seed progeny), *Geneticheskaya otsenka iskhodnogo materiala v lesnoi selektsii* (Genetic assessment of original material in forest tree breeding), Proc.Conf., Voronezh: NIILGiS, pp. 33–44.
- Etverk I.E., *Rezul'taty ispytaniya potomstv elei odnogo nashzhdeniya* (Progeny test results for a spruce stand), *Razrabotka osnov sistem selektsii drevesnykh porod* (Development of the basic systems of tree species breeding), Proc. Conf., Riga, 1981, pp. 122–125.
- Fedorkov A.L., Turkin A.A., *Vozrast otsenki kachestva potomstv v ispytatel'nykh kul'turakh sosny* (Offspring quality assessment age of experimental pine plantations), *Lesovedenie*, 2009, No. 2, pp. 69–71.
- Jiang I.B.-J., *Early testing in forest tree breeding: a review*, *Forest Tree Improvement*, 1987, No. 20, pp. 45–78.
- Kartel' N.A., Mantsevich E.D., *Genetika v lesovodstve* (Genetics in forestry), Minsk: Nauka i tekhnika, 1970, 165 p.
- Maslakov E.L., *Formirovanie sosnovykh molodnyakov* (Development of pine young-growth), M.: Lesnaya promyshlennost', 1984, 165 p.
- Nasledov A.N., *IBM SPSS Statistics 20 i AMOS: professionalnyy statisticheskiy analiz dannykh* (IBM SPSS Statistics 20 and AMOS: Professional statistical analysis of data), St. Petersburg: Piter, 2013, 416 p.
- Orlenko E.G., *Rannaya diagnostika pri proverke geneticheskikh svoystv plusovykh derev'ev* (Early testing on the genetic properties of plus trees), *Sostoyanie i perspektivy razvitiya lesnoi genetiki, selektsii, semenovodstva i introduktsii* (Status and prospects of forest genetics, tree breeding, seed production and introduction), Proc. Meeting, Riga, 1974, pp. 83–84.

- Osnovnye polozheniya metodiki zakladki ispytatel'nykh kul'tur plyusovykh derev'ev osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod* (The main provisions of the methodology for foundation of progeny tests for the main forest tree species), Voronezh: TsNIILGiS, 1982, 18 p.
- Rone V.M., *Geneticheskii analiz lesnykh populyatsii* (Genetic analysis of forest populations), M.: Nauka, 1980, 160 p.
- Ruotsalainen S., Increased forest production through forest tree breeding, *Scandinavian J. Forest Research*, 2014, Vol. 29, No. 4, pp. 333–344.
- Shutov I.V., *Lesnye plantatsii (uskorennoe vyrashchivanie eli i sosny)* (Forest plantations (accelerated cultivation of spruce and pine)), M.: Lesnaya promyshlennost', 1984, 248 p.
- Tsarev A.P., Pogiba S.P., Trenin V.V., *Selektsiya i reproduktsiya lesnykh drevesnykh porod* (Breeding and reproduction of forest tree species), M.: Logos, 2003, 520 p.
- Ukazaniya po lesnomu semenovodstvu v Rossiiskoi Federatsii* (Guidance on forest seed production in the Russian Federation), M., 2000, 198 p.
- Voronchikhin L.I., Vidyakin A.I., Ovechkin S.M., Puti povysheniya effektivnosti rabot po selektsii sosny i eli v Kirovskoi oblasti (Methods for increasing the efficiency of pine and spruce tree breeding in the Kirov region), *Selektsiya tsennykh form drevesnykh porod i ikh ispol'zovanie dlya sozdaniya tselevykh nasazhdenii* (Tree breeding of valuable tree species and their use for the establishment of target plantations), Voronezh: Tsentral'nyi NII lesnoi genetiki i selektsii, 1989, pp. 79–83.
- Xie C.-Y., Fu Y.-B., Yanchuk A.D., Accuracy of ranking individuals in field tests of different designs: a computer simulation, *Silvae Genetica*, 2006, Vol. 55, No. 2, pp. 70–77.
- Zhigunov A.V., Bondarenko A.S., Nikolayeva M.A., Pervye rezul'taty otbora elitnykh derev'ev eli evropeiskoi v Leningradskoi oblasti (Primary results of the spruce elite trees selection in the Leningrad Region), *Lesnoi zhurnal*, 2012, No. 3, pp. 43–50.
- Zolotoi A.V., Kazei T.P., Yablokov S.A., Seleksionnaya otsenka ispytatel'nykh kul'tur eli evropeiskoi v OLKh "Russkii les" (Selection evaluation of the Norway spruce progeny tests in OLKH Russian Forest), *Lesnoi vestnik*, 2006, No. 5, pp. 135–138.