

**А.С. Бондаренко, А.В. Жигунов, Я.Е. Мозжерин**

**СРАВНЕНИЕ СКОРОСТИ РОСТА  
СЕМЕННОГО И АВТОВЕГЕТАТИВНОГО ПОТОМСТВА  
ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ**

*Введение.* Одним из основных способов решения проблемы повышения продуктивности и качества создаваемых лесных насаждений в практике лесного хозяйства является применение различных систем селекции, в частности, для ели европейской перспективно использование следующих систем: отбор плюсовых насаждений (природных популяций), плюсовых деревьев, гибридов, быстрорастущих клонов, а также селекция на высокую комбинационную способность [Долголиков и др., 1984]. В настоящее время наибольшее распространение имеет система селекции, основанная на отборе плюсовых деревьев с последующим их испытанием в специальных культурах (испытательные культуры). Тем не менее, уровень наследования ценных признаков при семенном размножении хвойных пород в лучшем случае составляет 10–20% [Долголиков, Попивший, 1992]. Использование семян плюсовых деревьев для создания искусственных насаждений дает генетический эффект около 6%, более значительные результаты могут быть получены при использовании семян, испытанных по потомству плюсовых деревьев. Такие исследования были проведены во многих районах Швеции и Финляндии. Они показали, что генетический эффект при создании насаждений из семян от испытанных по потомству плюсовых деревьев составляет для ели европейской от 10 до 24% [Lindgren et al., 2008]. Кроме того, при семенном размножении получен значительный разброс генетического эффекта, а испытание по потомству плюсовых деревьев требует длительного времени.

Использование вегетативного размножения ели европейской в настоящее время является перспективным направлением исследований в лесной селекции, позволяющим сохранить генетические свойства исходных растений, что в первую очередь востребовано при создании селекционных объектов и плантационном лесовыращивании [Барнишкис, 1985; Уварова, Филиппова, 1987; Жигунов, Бондаренко, 2004; Kleinschmit, Schmidt, 1977; Högberg, 2003]. Отмечается, что для экономически эффективного и устой-

чивого производства древесины, а также энергетической биомассы перспективным направлением является использование клонирования селекционно-отобранного материала с последующим созданием лесосеменных плантаций в сочетании с интенсивным управлением этими объектами [Karlsson, 2000; Routa et al., 2013]. Тем не менее, исследователи отмечают невысокую интенсивность использования клонового материала ели европейской по причине высокой стоимости получаемых саженцев [Isik, 2010; Levkoev et al., 2017]. При этом рассматриваются различные параметры успешности клонирования саженцев, влияющие на скорость роста и качество древесины таких растений, в частности, исходное географическое происхождение и возраст материнских деревьев [Roulund et al., 1986; Gemmel et al., 1991; Raiskila et al., 2006], а также генетические составляющие, например, взаимодействия типа «генотип-среда» [Lundkvist, et al., 1992; Karlsson, Hogberg, 1997]. Полученные исследователями результаты говорят о том, что возраст маточных деревьев является одним из основных факторов, снижающих возможности применения черенкования [Уварова, Филиппова, 1987]. Это приводит к тому, что на практике в качестве маточников могут применяться лишь молодые (возраст не выше 10 лет), лидирующие в росте саженцы ели. При обсуждении проблемы ранней диагностики следует отметить, что надежность отбора быстрорастущих маточников с возрастом естественно повышается [Долголиков, Попивший, 1982]. Применение методов укоренения микропобегов ели европейской в условиях *in vitro* позволило увеличить возраст маточников до 20 лет, тем не менее, это еще не позволяет размножить проверенные по потомству плюсовые деревья [Жигунов и др., 2009; 2010].

С точки зрения практической реализации достаточно актуален вопрос об использовании смеси клонов и скорости роста такой смеси в сравнении с отдельными клонами. Широкое распространение идеи создания поликлоновых сортов ели путем укоренения черенков от многих молодых саженцев базировалось на том, что ожидаемый селекционный эффект от внедрения поликлоновых сортов может составить значительные 20–30%. Результат эксперимента по сравнению поликлоновых смесей и отдельных клонов на четырёх участках в 5-летнем возрасте черенкованных саженцев в условиях Центральной Швеции показал высокую стабильность клоновых смесей по скорости роста, но их достаточно посредственную производительность [Lundkvist, et al., 1992]. Сравнение скорости роста поликлоновой смеси ели из укорененных микрочеренков *in vitro* семенного потомства плюсовых деревьев 20-летнего возраста показало, что в культурах до 10-летнего возраста у таких саженцев нет преимуществ по сравнению с се-

менным потомством [Бутенко и др., 2016]. Это подтверждает тезис о том, что при составлении поликлоновой смеси приходится выбирать либо стабильность результата, либо высокую производительность, одновременная реализация двух этих направлений представляется бесперспективной. Тем не менее, данных по оценке влияния многоступенчатого отбора различной интенсивности при семенном и вегетативном размножении на скорость роста деревьев ели европейской в культурах старше 10-летнего возраста в литературе не имеется. Данное направление селекционной работы и являлось целью нашего исследования.

*Объекты и методы.* Для достижения поставленной цели были выполнены полевые обследования с измерением основных биометрических показателей на участке опытных культур ели, расположенном в 4-м квартале Орлинского участкового лесничества Гатчинского лесничества Ленинградской области (выделы 10, 11; площадь 2,4 га; возраст 28 лет). Данные опытные культуры, включающие в свой состав варианты с гибридными саженцами, черенкованными саженцами, поликлоновой смесью и испытательными культурами (сибсовые и полусибсовые семьи плюсовых деревьев), были созданы посадочным материалом ели европейской, выращенным с применением систем многоступенчатого отбора при семенном и вегетативном размножении.

На участке представлены следующие варианты опыта:

1. Межвидовые гибридные 4-летние саженцы ели, выращенные из семян межвидового скрещивания ели европейской (*Picea abies abies* (L.) H.Karst.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в посевном отделении питомника в течение 2 лет, затем дорацивались в школьном отделении питомника также в течение 2 лет;

2. Черенкованные 2-летние саженцы ели европейской: черенки, заготовленные с 2-летних быстрорастущих (интенсивность отбора 18–20%) контейнеризированных семян, выращенных из смеси семян Карташевского семенного заказника Гатчинского лесничества (кв. 26, 32), укореняли в теплице с контролируемыми условиями температуры и влажности на питательном торфяном субстрате в течение двух лет;

3. Поликлоновая смесь ели европейской: автовегетативное смешанное потомство (укоренённые черенки) наиболее быстрорастущих маточников (возраст маточников составил 5–10 лет, интенсивность отбора наиболее быстрорастущих растений 18–20%). Под автовегетативным потомством в контексте данной статьи подразумевается вегетативное потомство, полученное укоренением срезанных черенков и имеющее собственную корне-

вую систему (в отличие, например, от вегетативного потомства, полученного на основе прививки черенков на подвой, при котором корневая система получаемого растения имеет отличный от привоя генотип). Маточки выращивались из смеси семян, заготовленных с плюсовых деревьев Карташевского семенного заказника. Черенки укореняли в теплице с контролируемыми условиями температуры и влажности на питательном торфяном субстрате в течение четырех лет;

4. Сибсовыи семьи плюсовых деревьев ели европейской: двухлетние сеянцы, выращенные из семенного сибсового потомства от контролируемого скрещивания вегетативного потомства (клонов) плюсовых деревьев (прививки), представленных в Карташевском семенном заказнике Гатчинского лесничества. Доращивание сеянцев в течение двух лет выполнено в школьном отделении питомника;

5. Полусибсовыи семьи плюсовых деревьев: двухлетние сеянцы, выращенные из семенного полусибсового потомства от свободного опыления клонов плюсовых деревьев (прививка черенков верхней части кроны плюсовых деревьев Карташевского семенного заказника на семенные подвой), представленных на лесосеменной плантации Гатчинского лесничества. Доращивание в течение двух лет также выполнено в школьном отделении питомника.

Опытные культуры заложены в 1989 г. на раскорчёванной вырубке в кв. 4 Орлинского участкового лесничества Гатчинского лесничества, посадка произведена по пластам плужных борозд. Тип условий местопрорастания – С2, почвы модергумусные слабоподзолистые суглинистые свежие. На опытном участке в 2021 г. были выполнены полевые обследования со сплошным подеревным измерением диаметра ствола деревьев мерной вилкой с точностью до 0,1 см. С целью определения характера взаимосвязи между диаметром и высотой были выборочно замерены высоты растений по двухсантиметровым ступеням толщины. По данным сплошных измерений диаметра ствола растений выполнен расчёт средних значений данного показателя для представленных на участке вариантов опыта, а также однофакторный дисперсионный анализ влияния семейственной принадлежности деревьев на значение диаметра ствола для различных вариантов опыта. Выполнен графический анализ перечисленных выше закономерностей.

*Результаты и обсуждение.* Основные биометрические показатели полусибсовых семей плюсовых деревьев ели европейской в испытательных культурах 28-летнего возраста представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Биометрические показатели семей плюсовых деревьев ели европейской  
в испытательных культурах**

**Biometric indicators of Norway spruce plus tree families in progeny tests**

Номер семьи плюсового дерева (полусибсы)	Кол-во набл., шт.	Среднее значение, см	Станд. отклон., см	Коеф. вар., %
510	53	6,7 ± 0,57	4,17	62
513	62	8,2 ± 0,52	4,08	49
454	31	9,0 ± 0,79	4,41	49
514	45	9,2 ± 0,66	4,44	48
473	87	8,3 ± 0,43	3,99	48
411	53	8,4 ± 0,55	3,97	47
406	44	8,4 ± 0,59	3,94	47
466	83	8,2 ± 0,42	3,81	46
412	62	8,8 ± 0,52	4,07	46
515	65	9,4 ± 0,54	4,35	46
472	42	8,8 ± 0,63	4,07	46
512	56	7,3 ± 0,45	3,35	46
449	17	9,3 ± 1,01	4,17	45
450	93	9,0 ± 0,42	4,03	45
448	48	10,0 ± 0,64	4,46	44
453	138	8,8 ± 0,33	3,91	44
476	55	7,9 ± 0,45	3,35	43
503	68	10,0 ± 0,52	4,28	43
9-37	46	8,6 ± 0,53	3,63	42
501	58	8,8 ± 0,48	3,69	42
474	125	9,0 ± 0,33	3,69	41
4-37	117	10,2 ± 0,39	4,20	41
3-37	56	10,2 ± 0,55	4,12	40
379	71	9,9 ± 0,47	3,95	40
461	30	8,7 ± 0,62	3,41	39
500	54	9,3 ± 0,48	3,55	38
502	53	9,5 ± 0,50	3,62	38
507	39	10,3 ± 0,61	3,83	37
509	53	10,8 ± 0,54	3,94	37
3-26	33	9,9 ± 0,60	3,47	35
Итого	1837	9,0 ± 0,09	4,02	44

*Примечание:* данные упорядочены по уменьшению среднего коэффициента варьирования полусибсовых семей плюсовых деревьев.

Приведённая таблица демонстрирует тот факт, что семенное потомство плюсового дерева 509 имеет наибольший средний диаметр 10,8 см, что составляет 119% от контроля. Дальнейшее изучение роста этого потомства является перспективным для выделения плюсового дерева 509 в категорию элитного. Семенные потомства плюсовых деревьев 507, 5-37, 448, 503, 379, 3-26, 455 (11-26) показывают высокие результаты по скорости роста. По диаметру ствола их показатели составляют от 107 до 113% по отношению к средним по участку. Необходимо дальнейшее исследование данных семей в заложенных испытательных культурах. Семенные потомства плюсовых деревьев 502, 515, 474, 449, 500, 453, 514 имеют не достаточно высокие темпы роста, по отношению к среднему по участку их диаметр составляет не выше 105%. Семенные потомства плюсовых деревьев 450, 454, 501, 472, 412, 461, 9-37, 474, 453, 411, 406, 473, 513, 466, 476, 512, 510 имеют значения биометрических показателей ниже среднего по участку и рекомендуются к отбраковке.

Все потомства контролируемых скрещиваний плюсовых деревьев показывают превосходство среднего значения диаметра ствола над контролем. Основные параметры семей от контролируемых скрещиваний приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Биометрические показатели потомств контролируемых скрещиваний плюсовых деревьев ели европейской 28-летнего возраста**

**Biometric indicators of progenies of controlled crosses of Norway spruce plus trees**

Вариант схемы скрещивания семей плюсовых деревьев (сибсовые потомства)	Кол-во набл., шт.	Среднее значение, см	Станд. отклон., см	Коэф. вар., %
9-37*3-37	78	12,1 ± 0,58	5,13	42
455*11-26	58	9,7 ± 0,49	3,72	38
3-26*379	90	10,4 ± 0,42	4,01	38
47-37*10-26	147	10,6 ± 0,33	3,97	37
11-26*3-37	116	12,0 ± 0,40	4,34	36
3-26*10-26	65	9,6 ± 0,42	3,37	35
379*3-37	38	14,1 ± 0,79	4,88	34
384*10-26	39	12,0 ± 0,64	3,98	33
9-37*11-26	5	16,4 ± 1,70	3,80	23
Гибридные потомства ( <i>Picea abies</i> (L.) Н.Karst.x <i>Picea obovata</i> Ledeb.)	69	8,6 ± 0,42	3,51	41
Итого	636	11,2 ± 0,17	4,35	39

Примечание: данные упорядочены по уменьшению среднего коэффициента варьирования сибсовых семей плюсовых деревьев.

Из числа сибсовых семей плюсовых деревьев наиболее перспективными являются варианты контролируемых скрещиваний плюсовых деревьев 9-37×11-26 и 379×3-37, их среднее значение диаметра ствола превосходит значение среднего по участку на величину, превышающую стандартное отклонение. Эти семьи демонстрируют достоверно высокие показатели скорости роста. Сибсовые потомства вариантов скрещиваний 11-26×3-37, 9-37×3-37, 384×10-26, 11-26×3-37 и 47-37×10-26 демонстрируют удовлетворительные результаты по скорости роста и могут быть рекомендованы для получения семян требуемых селекционных категорий. Варианты скрещиваний 3-26×379, 47-37×10-26 и 3-26×10-26 не показывают существенного превосходства над контролем и являются претендентами на отбраковку. Гибриды ели европейской и ели сибирской показывают худший результат по росту потомств от контролируемых скрещиваний. Среднее значение диаметра ствола в культурах, созданных посадочным материалом поликлоновой смеси, равно среднему значению контроля 9,1 см и составляет 9,2 и 9,0 см для каждой из двух повторностей (табл. 3).

Таблица 3

**Биометрические показатели культур ели европейской 28-летнего возраста, созданных поликлоновыми смесями при использовании исходных маточников разного возраста**

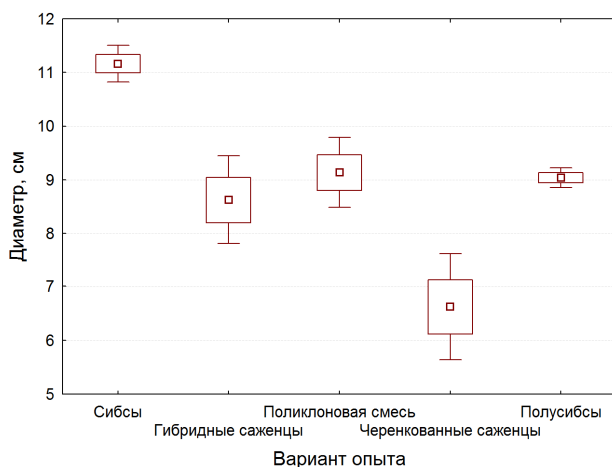
**Biometric indices of Norway spruce progeny tests created by polyclonal mixtures using original nurslings of different ages**

Возраст отбора маточных растений для черенкования	Кол-во набл., шт.	Среднее значение, см	Станд. отклон., см	Козф. вар., %
2 года	32	6,6 ± 0,50	2,84	43
8–10 лет	129	9,1 ± 0,33	3,77	41

Поликлоновые смеси ели европейской в обоих случаях представляют собой автовегетативное потомство (укоренённые черенки) наиболее быстрорастущих маточников. Маточники 5–10-летнего возраста выращивались из смеси семян, заготовленных с плюсовых деревьев Карташевского семенного заказчика Гатчинского левничества Ленинградской области, при этом интенсивность отбора наиболее быстрорастущих деревьев для заготовки черенков составляла 18–20%. Поэтому биометрические параметры 28-летних культур, созданных посадочным материалом этой поликлоновой смеси, соответствуют средним биометрическим показателям семей плюсовых деревьев по участку. Маточниками для черенков поликлоновой смеси 2-летнего возраста служили контейнеризированные сеянцы, выращиваемые из семян общего сбора в теплице Карташевского семенного заказчика с интенсивностью отбора наиболее быстрорастущих сеянцев около 25%. Биометрические

параметры 28-летних культур созданных посадочным материалом этой поликлоновой смеси являются наименьшими по опытному участку. Таким образом, применение только одноступенчатого отбора в молодом возрасте не позволяет повысить продуктивность создаваемых насаждений даже при использовании высокой интенсивности отбора, в то время как увеличение возраста отбираемых маточных растений даёт заметный выигрыш в скорости роста при использовании черенкования.

Сравнительный анализ скорости роста деревьев в исследуемых вариантах посадки показал, что наиболее высокую скорость роста демонстрируют сибсовы потомства плюсовых деревьев (рисунок). В частности, средний диаметр сибсовых потомств плюсовых деревьев в опыте составил  $11,2 \pm 0,17$  см, в то время как диаметр деревьев в других вариантах существенно ниже. В частности, средний диаметр ствола полусибсовых потомств плюсовых деревьев составил  $9,0 \pm 0,09$  см, поликлоновой смеси  $9,1 \pm 0,33$  см, гибридных потомств (*Picea abies* (L.) H.Karst. x *Picea obovata* Ledeb.)  $8,6 \pm 0,42$  см. Наименьшей скоростью роста характеризуются черенкованные саженцы (возраст маточников – 2 года): средний диаметр ствола деревьев данного варианта опыта составляет  $6,6 \pm 0,50$  см. Иллюстрация скорости роста перечисленных вариантов опыта приведена на рисунке. В соответствии с дисперсионным анализом приведённые варианты опыта достоверно различаются по среднему значению диаметра ствола (F-критерий = 37,64; уровень значимости  $p < 0,05$ ).



Среднее значение диаметра ствола по вариантам опыта в испытательных культурах 28-летнего возраста

□ – среднее значение; □ – среднее значение ± ош. ср.;

┆ – среднее значение ± 1,96 • ош. ср.

Average value of trunk diameter by variants of experiments



Необходимо отметить, что при исключении из сравнения крайних вариантов, то есть наиболее быстрорастущего варианта (сибсовые потомства плюсовых деревьев) и медленнорастущего варианта (черенкованные саженцы), оставшиеся варианты (гибридные саженцы, поликлоновая смесь и полусибсовые потомства плюсовых деревьев) по результатам дисперсионного анализа достоверно друг от друга не отличаются ( $F = 0,41$ ;  $p = 0,66$ ). Это подтверждается и близкими средними значениями диаметров ствола этих вариантов (от 8,6 до 9,1 см). Таким образом, общие достоверно высокие различия между группами обусловлены в значительной мере отличиями по скорости роста сибсов (в большую сторону) и черенкованных саженцев (в меньшую сторону).

Помимо сопоставления средних значений рассматриваемых вариантов опыта, целесообразно сравнить уровень варьирования изучаемого биометрического показателя в них. Это позволит оценить степень однородности саженцев и, следовательно, показатели стабильности достигнутых результатов. Такое изучение уровня изменчивости показало, что варианты посадки характеризуются очень сходными показателями варьирования, в частности, наибольшую изменчивость закономерно демонстрирует наиболее быстрорастущий вариант – сибсовые семьи плюсовых деревьев со средним значением стандартного отклонения равным 4,35 см. Наименьшее значение стандартного отклонения соответствует наименьшему среднему значению (черенкованные саженцы, стандартное отклонение диаметра ствола составляет 2,84 см). Другие варианты по значению стандартного отклонения занимают промежуточные значения и различаются несущественно: от 3,51 см (гибридные потомства *Picea abies* (L.) H.Karst. x *Picea obovata* Ledeb.) до 4,02 см (полусибсовое потомство плюсовых деревьев).

При общем уровне варьирования сибсовых семей равном 4,35 см для стандартного отклонения диаметра ствола дерева данный показатель для сибсовых семей изменяется для разных сибсовых семей в диапазоне от 3,37 см до 5,13 см. В соответствии с результатами дисперсионного анализа сибсовые семьи плюсовых деревьев достоверно различаются по значению диаметра ствола дерева ( $F = 7,33$ ;  $p < 0,01$ ). Среднее стандартное отклонение диаметра ствола дерева для полусибсовых семей плюсовых деревьев составляет 4,02 см и изменяется по отдельным семьям в диапазоне от 3,35 см до 4,46 см. При этом в соответствии с результатами дисперсионного анализа полусибсовые семьи плюсовых деревьев так же, как и полусибсовые семьи достоверно различаются по значению диаметра ствола дерева ( $F = 3,34$ ;  $p < 0,01$ ). Другие варианты опыта характеризуются несколько меньшими уровнями варьирования диаметра ствола дерева в сравнении с сибсовыми и полусибсовыми семенными потомствами. В частности, стандартное отклонение диаметра ствола дерева для поликлоновой смеси составляет 3,77 см,

для гибридных потомств (*Picea abies* (L.) Н. Karst. × *Picea obovata* Ledeb.) 3,51 см, а для черенкованных саженцев 2,84 см.

По результатам анализа возрастной динамики ранговых перемещений полусибсовых семей плюсовых деревьев ели европейской получены данные, приведенные в табл. 4. Ранжирование в возрасте 4 года выполнено по данным измерения диаметров растений, первый ранг присваивается семье с наибольшим средним диаметром, самый высокий по порядку номер ранга – у семьи с минимальным средним значением диаметра ствола. Таким же образом семьи ранжируются и в возрасте 28 лет: наибольшие средние значения диаметра (приведены в табл. 4) соответствуют первым номерам рангов.

Таблица 4

**Возрастная динамика ранговых перемещений полусибсовых семей плюсовых деревьев ели европейской**

**Age dynamics of the ranking movements of half-sib families of Norway spruce plus trees**

Группа семей по среднему значению диаметра ствола в возрасте 4 года	Номер семьи	Ранг семьи в возрасте 4 года (посадочный материал)	Ранг семьи в возрасте 28 лет	Средний диаметр ствола в возрасте 28 лет, см
Значение среднего диаметра ствола выходит за границу ошибки среднего значения в большую сторону ( $M > M_{ср} + m$ )	448	2	5	10,0
	454	3	18	9,0
	514	4	16	9,2
	379	5	7	9,9
	509	6	1	10,8
	500	7	14	9,3
	501	8	19	8,8
	4-37	9	2	10,7
	502	10	10	9,5
	453	11	15	9,2
	453	11	25	8,5
	450	14	17	9,0
	455	15	9	9,7
Значение среднего диаметра ствола не выходит за границу ошибки среднего значения ( $M = M_{ср} \pm m$ )	513	16	29	8,2
	515	18	11	9,4
	507	19	3	10,3
	472	21	20	8,8
Значение среднего диаметра ствола выходит за границу ошибки среднего значения в меньшую сторону ( $M < M_{ср} - m$ )	3-26	25	8	9,9
	3-37	26	4	10,2
	503	31	6	10,0
	512	22	32	7,3
	466	23	30	8,2
	449	24	13	9,3

Окончание табл. 4

Группа семей по среднему значению диаметра ствола в возрасте 4 года	Номер семьи	Ранг семьи в возрасте 4 года (посадочный материал)	Ранг семьи в возрасте 28 лет	Средний диаметр ствола в возрасте 28 лет, см
	9-37	24	23	8,6
	412	27	21	8,8
	411	28	26	8,4
	473	29	28	8,3
	474	30	12	9,3
	474	30	24	8,6
	476	32	31	7,9
	510	36	33	6,7
	406	38	27	8,4
	461	41	22	8,7
Среднее				9,1

Примечание: данные упорядочены по значению ранга семьи в возрасте 4 года.

Таблица 5

**Возрастная динамика ранговых перемещений сибсовых семей плюсовых деревьев ели европейской**

**Age dynamics of rank movements of sybaceous families of Norway spruce plus tree**

Вариант схемы скрещивания семей плюсовых деревьев (сибсовые потомства)	Ранг семьи в возрасте 4 года (посадочный материал)	Ранг семьи в возрасте 28 лет	Средний диаметр ствола в возрасте 28 лет, см
9-37 × 11-26	1	1	16,4
9-37 × 3-37	2	4	12,1
379 × 3-37	3	2	14,1
11-26 × 3-37	4	3	12,3
11-26 × 3-37	5	6	11,7
3-26 × 10-26	6	10	9,6
3-26 × 379	7	8	10,4
47-37 × 10-26	8	7	11,3
47-37 × 10-26	9	9	10,1
384 × 10-26	10	5	12,0
Среднее			11,2

Примечание: данные упорядочены по значению ранга семьи в возрасте 4 года.

Данные, полученные в результате анализа ранговых перемещений показывают, что семьи плюсовых деревьев, как полусибсовые, так и сибсовые, в период возрастов с 4 до 28 лет в ряде случаев демонстрируют суще-

ственное изменение рангового положения. Тем не менее, наблюдается выраженная стабильность рангового положения семей относительно среднего дерева насаждения. В частности, из 17 полусибсовых семей плюсовых деревьев, превышающих среднее значение по диаметру ствола к возрасту 28 лет, сохранили такое превышение 15 семей, то есть 88%! Сходная достаточно высокая стабильность наиболее быстрорастущих семей характерна и для сибсовых семей плюсовых деревьев.

*Заключение.* На основании проведенных исследований можно сформулировать следующие краткие выводы:

1. Наибольшей скоростью роста в опыте характеризуются сибсовые потомства плюсовых деревьев. Учитывая высокую трудоёмкость получения таких саженцев, связанную с контролем происхождения как подвоя, так и привоя, а также необходимость проведения затратных прививочных работ, целесообразно использовать такой материал для получения саженцев исключительно быстрого роста и жёстко контролируемого происхождения, прежде всего в работах по селекционному улучшению лесов.

2. Несколько меньшая по сравнению с сибсовыми потомствами плюсовых деревьев скорость роста свойственна для полусибсовых потомств (полученных в результате свободного опыления плюсовых деревьев), поликлоновой смеси и межвидовых гибридных потомств (*Picea abies* (L.) Н. Karst. x *Picea obovata* Ledeb.). Для целей лесовыращивания, прежде всего, имеет смысл использовать полусибсовые потомства плюсовых деревьев. Клонирование и межвидовая гибридизация при сопоставимом эффекте в отношении скорости роста характеризуются гораздо большими затратами и нецелесообразны для получения саженцев с высокой скоростью роста.

3. Наименьшая скорость роста характерна для черенкованных саженцев, поэтому для целей получения высокой скорости роста использование данного метода размножения ценных генотипов представляется нецелесообразным.

4. В период с четырех- до 28-летнего возраста полусибсовые и сибсовые семьи плюсовых деревьев демонстрируют выраженную стабильность своего рангового положения;

5. Применение многоступенчатого отбора при выращивании насаждений (отбор лучших насаждений, отбор лучших плюсовых деревьев, отбор лучших полусибсовых семей либо лучших вариантов скрещиваний плюсовых деревьев для сибсовых семей, отбор лучших смесей сибсовых и полусибсовых семей) позволяет достичь максимального эффекта при повышении скорости роста искусственных насаждений ели европейской.

### Библиографический список

Барнишкис Э. Особенности роста автовегетативного потомства ели // Охрана и рациональное использование генофонда древесных пород и недревесной растительности леса // Охрана и рациональное использование генофонда древесных пород и недревесной растительности леса : тез. докл. семинара, ЛитНИИЛХ, 17–18 июня 1985 г. Каунас: Лит-НИИЛХ, 1985. Т. 1. С. 24–28.

Бутенко О.Ю., Шабунин Д.А., Жигунов А.В. Сравнение скорости роста культур сосны и ели, созданных сеянцами и микрорегенерантами *in vitro* // Инновации и технологии в лесном хозяйстве, ИТФ-2016: тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф., 31 мая – 2 июня 2016 г., Санкт-Петербург. ФБУ «СПбНИИЛХ». СПб.: СПбНИИЛХ, 2016. С. 40.

Долголиков В.И., Осьминина Р.Ф. Испытание потомства сосны и ели на Северо-Западе РСФСР. Л.: ЛенНИИЛХ, 1984. 44 с.

Долголиков В.И., Попивций И.И. Положительные стороны и недостатки клоновой селекции ели // Лесоведение. 1992. № 2. С. 11–18.

Жигунов А.В., Бондаренко А.С. Оценка скорости роста семенного и автовегетативного потомства ели европейской различных селекционных категорий // Научно-технический прогресс в отраслях лесного комплекса: сб. ст. сотрудников лесохозяйственного факультета СПбГЛТА по итогам законченных научно-исследовательских работ. СПб.: СПбГЛТА, 2004. С. 12–31.

Жигунов А.В., Шабунин Д.А., Салмова М.А., Шестибратов К.А. Адаптация регенерантов ели европейской к условиям *ex vitro* // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. СПб., 2010. Вып. 1(21). С. 120–135.

Жигунов А.В., Шестибратов К.А., Чуручкина О.А., Шабунин Д.А. Укоренение микрообоев ели европейской в условиях *in vitro* и *ex vitro* // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2009. Вып. 3(20). С. 152–170.

Уварова Н.И., Филиппова Л.Н. Технология вегетативного размножения ели для создания плантаций. Л.: ЛенНИИЛХ, 1987. 20 с.

Gemmel P., Örlander G., Högborg K.A. Norway spruce cuttings perform better than seedlings of the same genetic origin // *Silvae Genetica*. 1991. Vol. 40, no. 5-6. P. 198–202.

Högborg K.A. Possibilities and limitations of vegetative propagation in breeding and mass propagation of Norway spruce: Doctoral thesis. Uppsala, 2003. 39 p.

Isik K., Kleinschmit J., Steiner W. Age-age correlations and early selection for height in a clonal genetic test of Norway spruce // *Forest science*. 2010. Vol. 56, no. 2. P. 212–221.

Karlsson B. Clone testing and genotype x environment interaction in *Picea abies*: Doctoral thesis. Uppsala, 2000. 47 p.

Karlsson B., Hogberg K.A. Genotypic parameters and clone x site interaction in clone tests of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) // *Forest genetics*. 1998. Vol. 5, no. 1. P. 21–30.

Kleinschmit J., Schmidt J. Experiences with *Picea abies* cuttings propagation in Germany and problems connected with large scale application // *Silvae Genetica*. 1977. Vol. 26, no. 5-6. P. 197–203.

Levkoev E. et al. Differences in growth and wood density in clones and provenance hybrid clones of Norway spruce // Canadian journal of forest research. 2017. Vol. 47, no. 3. P. 389–399.

Lindgren D., Karlsson B., Andersson B., Prescher F. Swedish seed orchards for Scots pine and Norway spruce // Seed orchard : Proceeding from a conference at Umea, Sweden, 26–28 September 2007. Umea, 2008. P. 142–154.

Lundkvist K., Eriksson G., Norell L. Performance of clonal mixtures and single-clone plots in young Picea abies trials // Scandinavian journal of forest research. 1992. Vol. 7, no. 1–4. P. 53–62.

Raiskila S. et al. Growth rate and wood properties of Norway spruce cutting clones on different sites // Silva Fennica. 2006. Vol. 40, no. 2. P. 247–256.

Roulund H., Wellendorf H., Werner M. A selection experiment for height growth with cuttings of Picea abies (L.) Karst // Scandinavian journal of forest research. 1986. Vol. 1, no. 1–4. P. 293–302.

Routa J. et al. The timber and energy biomass potential of intensively managed cloned N on way spruce stands // Bioenergy. 2013. Vol. 5, no. 1. P. 43–52.

## References

Barnishkis J. Osobennosti rosta avtovegetativnogo potomstva eli [Features of the growth avtovegetative of picea progenies]. *Ohrana i racional'noe ispol'zovanie genofonda drevesnyh porod i nedrevesnoj rastitel'nosti lesa* [Protection and rational using of the forest species gene fund and non-woody vegetation of the forest]. Seminar proc., LitNIIH, 17–18 Jun 1985. Kaunas: LitNIIH, 1985, vol. 1, pp. 24–28. (In Russ.)

Butenko O.J. Shabunin D.A., Zhigunov A.V. Sravnenie skorosti rosta kul'tur sosny i eli, sozdannyh sejancami i mikroregenerantami in vitro [Comparison of the growth rate of pinus and picea plantations created by seedlings and in vitro microregenerants]. *Innovacii i tehnologii v lesnom hozjajstve ITF-2016* [Innovations and technologies in forestry ITF-2016]. tez. dokl. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Proc. theses 31 May – 2 Jun 2016, St. Petersburg. SPbNIIH. 2016, p. 40. (In Russ.)

Dolgolikh V.I., Osmirina R.F. Ispytanie potomstva sosny i eli na Severo-Zapade RSFSR [Pine and picea offspring testing in the North-West RSFSR]. L.: LenNIIH, 1984. 44 p. (In Russ.)

Dolgolikh V.I., Popivshij I.I. Polozhitel'nye storony i nedostatki klonovoj selekcii eli. [Positive aspects and disadvantages of clone breeding of picea]. *Lesovedenie*, 1992, no. 2, pp. 11–18. (In Russ.)

Gammel P., Örlander G., Högborg K.A. Norway spruce cuttings perform better than seedlings of the same genetic origin. *Silvae Genetica*, 1991, vol. 40, no. 5–6, pp. 198–202.

Högborg K.A. Possibilities and limitations of vegetative propagation in breeding and mass propagation of Norway spruce: Doctoral thesis. Uppsala, 2003. 39 p.

Isik K.J., Kleinschmit W. Steiner Age–age correlations and early selection for height in a clonal genetic test of Norway spruce. *Forest science*, 2010, vol. 56, no. 2, pp. 212–221.

Karlsson B. Clone testing and genotype x environment interaction in Picea abies: Doctoral thesis. Uppsala, 2000. 47 p.

Karlsson B., Hogberg K.A. Genotypic parameters and clone x site interaction in clone tests of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Forest genetics*, 1998, vol. 5, no. 1, pp. 21–30.

Kleinschmit J., Schmidt J. Experiences with *Picea abies* cuttings propagation in Germany and problems connected with large scale application. *Silvae Genetica*, 1977, vol. 26, no. 5–6, pp. 197–203.

Levkoev E. et al. Differences in growth and wood density in clones and provenance hybrid clones of Norway spruce. *Canadian journal of forest research*, 2017, vol. 47, no. 3, pp. 389–399.

Lindgren D., Karlsson B., Andersson B., Prescher F. Swedish seed orchards for Scots pine and Norway spruce: *Seed orchard*. Proceeding from a conference at Umea, Sweden, 26–28 September 2007. Umea, 2008, pp. 142–154.

Lundkvist K., Eriksson G., Norell L. Performance of clonal mixtures and single-clone plots in young *Picea abies* trials. *Scandinavian journal of forest research*, 1992, vol. 7, no. 1–4, pp. 53–62.

Raiskila S. et al. Growth rate and wood properties of Norway spruce cutting clones on different sites. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40, no. 2, pp. 247–256.

Roulund H., Wellendorf H., Werner M. A selection experiment for height growth with cuttings of *Picea abies* (L.) Karst. *Scandinavian journal of forest research*, 1986, vol. 1, no. 1–4, pp. 293–302.

Routa J. et al. The timber and energy biomass potential of intensively managed cloned N on way picea abies stands. *Bioenergy*, 2013, vol. 5, no. 1, pp. 43–52.

Uvarova N.I., Filipova L.N. Tehnologija vegetativnogo razmnozhenija eli dlja sozdaniya plantacij [Technology of vegetative reproduction of picea abies for the creation of plantations]. Guidelines. L.: LenNILH, 1987. 20 p. (In Russ.)

Zhigunov A.V., Bondarenko A.S. Ocenka skorosti rosta semenного i avtovegetativного potomstva eli evropejskoj razlicnyh selekcionnyh kategorij [Assessment of the growth rate of seed and avtovegetative picea abies progenies of various forest tree breeding categories]. *Nauchno-tehnicheskij progress v otrasljah lesnogo kompleksa: sb. statej sotrudnikov lesohozhajstvennogo fakul'teta SPbGLTA po itogam zakonchennyh nauchno-issledovatel'skih rabot* [Scientific and technical progress in the forest complex branches. Proc. SPbGLTA forestry faculty of based on the completed research works results]. Saint-Petersburg: SPbGLTA, 2004, pp. 12–31. (In Russ.)

Zhigunov A.V., Shabunin D.A., Salmova M.A., Shestibratov K.A. Adaptacija regenerantov eli evropejskoj k uslovijam ex vitro [Adaptation of picea abies regenerants to ex vitro conditions]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo hozhajstva* [Saint-Petersburg forestry research institute proceedings], 2010, vol. 1(21), pp. 120–135. (In Russ.)

Zhigunov A.V., Shestibratov K.A., Churochkina O.A., Shabunin D.A. Ukorenenie mikropobegov eli evropejskoj v uslovijah in vitro i ex vitro [Rooting of picea abies in vitro and ex vitro micro-shoots]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo hozhajstva* [Saint-Petersburg forestry research institute proceedings], 2009, vol. 3(20), pp. 152–170. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 11.05.2022

**Бондаренко А.С., Жигунов А.В., Мозжерин Я.Е.** Сравнение скорости роста семенного и автовегетативного потомства ели европейской // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 37–54. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.37-54

Целью исследования является сокращение сроков выращивания древесины на лесных плантациях на основе использования многоступенчатого отбора при семенном и вегетативном размножении. В испытательных культурах ели европейской оценивается возрастная динамика роста деревьев (до возраста насаждения 28 лет) по следующим вариантам посадки: межвидовые гибридные (*Picea abies* x *Picea sibirica*) саженцы ели, автовегетативное смешанное потомство быстрорастущих 4-летних сеянцев, поликлоновая смесь (автовегетативное смешанное потомство наиболее быстрорастущих маточников возраста 5–10 лет с интенсивностью отбора 18–20%), сибсовые и полусибсовые семьи. По результатам исследований наибольшей скоростью роста в опыте характеризуются сибсовые потомства плюсовых деревьев. Сибсы рекомендуется использовать в работах по селекционному улучшению лесов для получения саженцев исключительно быстрого роста и жёстко контролируемого происхождения. Меньшая по сравнению с сибсовыми потомствами плюсовых деревьев скорость роста свойственна для полусибсовых потомств, поликлоновой смеси и межвидовых гибридных потомств (*Picea abies* x *Picea sibirica*). Для целей лесовыращивания в первую очередь рекомендуется использовать полусибсовые потомства плюсовых деревьев. Составление клоновых смесей и межвидовая гибридизация характеризуются сопоставимой с полусибсами скоростью роста, но значительно большим уровнем затрат. Наименьшая скорость роста характерна для черенкованных саженцев, поэтому для целей получения высокой скорости роста использование данного метода размножения ценных генотипов нецелесообразно. В период возрастов с 4 до 28 лет полусибсовые и сибсовые семьи плюсовых деревьев демонстрируют выраженную стабильность рангового положения. Применение многоступенчатого отбора при выращивании насаждений (отбор лучших насаждений и плюсовых деревьев, отбор лучших полусибсовых семей либо лучших вариантов скрещиваний плюсовых деревьев для сибсовых семей, отбор лучших смесей сибсовых и полусибсовых семей) позволяет достичь максимального эффекта при повышении скорости роста искусственных насаждений ели европейской.

**Ключевые слова:** ель европейская, сибсы, полусибсы, гибриды, поликлоновая смесь, скорость роста, многоступенчатый отбор.

**Bondarenko A.S., Zhigunov A.V., Mozjerin J.E.** Comparison of the growth rate of norway spruce seed and autogenerative progenies. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2022, iss. 239, pp. 37–54 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.37-54



The aim of the study is to reduce the timing of timber growth in forest plantations based on the use of multistage selection for seed and vegetative propagation. In test cultures of Norway spruce, the age dynamics of tree growth (up to plantation age of 28 years) is estimated according to the following planting variants: interspecific hybrid (*Picea abies* x *Picea sibirica*) spruce seedlings, autogenerative mixed progeny of fast-growing 4-year-old seedlings, polyclonal mixture (autogenerative mixed progeny of the fastest growing nurslings of 5–10 years old with selection intensity 18–20%), sibling and semi-sibling families. According to the research results, sibs progenies of plus trees are characterized by the highest growth rate in the experiment. Sibs are recommended for use in works on selective forest improvement to obtain seedlings of exceptionally fast growth and strictly controlled origin. A lower growth rate as compared to sibs progenies of plus trees is characteristic of semi-sibs progenies, polyclonal mixture and interspecific hybrid progenies (*Picea abies* x *Picea sibirica*). For silvicultural purposes, it is primarily recommended to use semi-sib progenies of plus trees. Making clonal mixtures and interspecific hybridization are characterized by comparable growth rate with semi-sibs, but a significantly higher level of costs. The lowest growth rate is characteristic of cuttings, so for the purpose of obtaining high growth rate, the use of this method of reproduction of valuable genotypes is inexpedient. During the age period from 4 to 28 years, semi-sib and sib families of plus trees show a pronounced stability of rank position. Application of multistage selection in growing stands (selection of the best stands and plus trees, selection of the best semi-sib families or the best crosses of plus trees for sib families, selection of the best mixtures of sib and semi-sib families) allows to achieve the maximum effect in increasing the growth rate of artificial stands of Norway spruce.

**Key words:** Norway spruce, sibs, semi-sibs, hybrids, polyclonal mixture, growth rate, multistage selection.

---

**БОНДАРЕНКО Александр Сергеевич** – ведущий научный сотрудник лаборатории научно-исследовательского отдела селекции, воспроизводства и химического ухода за лесом Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 3074-7219. ORCID: 0000-0002-2773-8254.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: asbond@mail.ru

**BONDARENKO Aleksandr S.** – PhD (Agroculture), Saint Petersburg State Forestry Research Institute. SPIN-code: 3074-7219. ORCID: 0000-0002-2773-8254.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: asbond@mail.ru

**ЖИГУНОВ Анатолий Васильевич** – профессор кафедры лесных культур Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 5789-5540. ORCID: 0000-0002-8939-942X. 194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.zhigunov@bk.ru

**ZHIGUNOV Anatolii V.** – DSc (Agroculture), Professor, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 5789-5540. ORCID: 0000-0002-8939-942X. 194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a.zhigunov@bk.ru

**МОЗЖЕРИН Ярослав Евгеньевич** – бакалавр кафедры лесных культур Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. 194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: yarmoz2000@mail.ru

**MOZJERIN Jaroslav E.** – bachelor, St.Petersburg State Forest Technical University. 194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: yarmoz2000@mail.ru