

УДК 582.47: 630\*232.1: 630\*165

## УСТОЙЧИВЫЙ РОСТ ПОТОМСТВА ЕЛИ ФИНСКОЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ХВОИ

Рогозин М.В., Жекина Н.В.

*Естественнонаучный институт ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

Изучалось потомство ели финской в возрасте 21–23 года, полученное из семян плюс-деревьев. Потомство выращивали в культурах с разной густотой. Были выбраны 107 из 393 семей в качестве контрастных типов по росту в высоту. Половина из этих семей снижала высоту в густых культурах (семьи-светолобы), а вторая, наоборот, повышала ее (семьи-конкурентники). В хвое изучалось содержание 12 химических элементов (ХЭ): Ni, Cr, Mn, V, Ti, P, Cu, Zn, Ba, Sr, Zr, Pb. Оказалось, что более активно накапливают ХЭ конкурентные семьи. Общее содержание всех ХЭ у них оказалось в 1,28 раза выше, чем у семей-светолобов. Влияние суммы концентраций ХЭ хвои на рост семей оказалось разнонаправленным: в редких культурах связь между суммой концентраций ХЭ и ростом семей была отрицательна ( $r = -0,47 \pm 0,10$ ), тогда как в густых культурах она оказалась положительной ( $r = 0,51 \pm 0,11$ ). Утверждается, что общее содержание ХЭ хвои обусловлено генетически и при его увеличении высота потомства в редких культурах снижается, а в густых культурах, наоборот, возрастает. Имитационный отбор среди семей по сумме концентраций ХЭ с ориентацией на значение 1,35 г/кг показал увеличение высоты семей в редких культурах до  $108,4 \pm 2,2\%$ , а в густых до  $107,2 \pm 3,1\%$  от контроля; при этом частота лучших семей повышалась в 1,8–2 раза. Ожидается, что после ответа на вопрос о том, какие элементы маркируют быстрорастущие семьи, и при отсутствии взаимодействий «генотип-возраст» их использование позволит опознавать лучшие семьи уже в возрасте 3–4 года.

**Ключевые слова:** ель финская, плюсовые деревья, потомство, хвоя, химические элементы

## SUSTAINABLE GROWTH OF PROGENY OF FINNISH SPRUCE AND CHEMICAL COMPOSITION NEEDLES

Rogozin M.V., Zhekina N.V.

*Natural Sciences Institute of VPO «Perm State National Research University», Perm, e-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

If progeny studied Finnish aged 21–23 years old, obtained from the seeds of plus trees. Progeny were grown in cultures with different density. 107 of the 393 families were selected as contrast type by growth in height. Half of these families reduce the height in dense cultures (love of light-family), and the second, on the contrary, increase it (competitive family). The needles 12 chemical elements (CE) content examined: Ni, Cr, Mn, V, Ti, P, Cu, Zn, Ba, Sr, Zr, Pb. It turned out that more actively accumulate ME competitive family. The sum of all CE have appeared in 1,28 times higher than that of families, love of light. Influence of the amount of needles on families ME growth was mixed: in rare cultures relationship between the amount of the CE and the growth of households was negative ( $r = -0,47 \pm 0,10$ ), whereas in dense cultures, it was positive ( $r = 0,51 \pm 0,11$ ). It is alleged that the amount of needles CE genetically determined and its increase in the height of the progeny rare cultures decreases, and vice versa, increases in dense cultures. Imitation selection among families on the sum of the CE with a focus on the value of 1,35 g/kg showed an increase in height of the families of rare cultures to  $108,4 \pm 2,2\%$ . and thick to  $107,2 \pm 3,1\%$  of control; The frequency of the best families in increased 1,8–2 times. It is expected that after the answer to the question of what elements mark the fast-growing family, and in the absence of interactions «genotype-age» the use of chemical markers needles allow to identify the best of the family at the age of 3–4 years.

**Keywords:** Finnish spruce, plus trees, progeny, needles, chemical elements

Для лесных пород актуальна селекция на быстроту и устойчивость роста и важен поиск признаков, связанных с этими показателями. Известны работы, где показаны различия в содержании химических элементов в хвое у клонов сосны обыкновенной; при этом предполагается, что они могут быть связаны с быстротой роста и генетическими отличиями [5]. В работах по ели финской, которая является естественным гибридом ели сибирской и европейской, было обнаружено, что потомства ее популяций с преобладанием признаков ели сибирской накапливают достоверно больше Mn, Ti, P, Cu, Ba, Sr,

Pb и при повышении зольности почвы повышают и зольность хвои, в отличие от более «европейских» популяций, которые снижают их [4] и которые имеют повышенную продуктивность потомства [2, 3].

**Целью исследования** было выяснение влияния химического состава хвои на рост отдельных семей ели финской, выращенных в разных условиях.

### Материалы и методы исследования

Изучали потомство ели финской (*Picea fennica* (Regel) Kom.), полученное из семян от свободного опыления и выращенное в тест-культурах в крупном опыте [2]. Опыт заложен в 1991 г. в Пермском крае,

в кв. 41 Ильинского лесничества. Почва среднесуглинистая, обедненная гумусом в результате сдвига почвы при корчевке (биотоп  $C_2$ ). В тест-культуры (испытательные культуры, ИК) высажено 22,4 тыс. саженцев по схеме  $2,5 \times 1,0$  м. Сохранность растений составила 74,7%. Представлены потомства: из 7 естественных популяций от 301 плюсового дерева и из лесных культур (5 участков) от 224 деревьев, в том числе 152 плюсовые и 72 – обычные деревья. Контроль – семена от 30 случайных деревьев от каждой из всех популяций. Посадочный материал выращивали в теплице и в школе. Измерения проведены в 21 год у 16755 растений, в том числе 1435 шт. в контроле.

Потомство этих же деревьев изучали еще на одном участке ИК, заложенном на супеси в биотопе  $B_2$ , где посадки создавали трехлетними сеянцами на вырубке по раскорчеванным полосам тремя рядами по схеме  $0,7 \times 0,7$  м, с расстоянием между полосами 8–20 м. Такая схема мало подходила для опыта, но позволила выяснить реакцию семей на конкуренцию. Этот участок, названный «густые культуры», заложен в кв. 5 Юго-Камского лесничества Оханского лесхоза на площади 8 га. Высажено 16,1 тыс. растений

ной реакцией на густоту выращивания, от которых в тест-культурах выбирали по одному типичному дереву и брали смешанный образец 1, 2 и 3-летней хвои из средней части кроны при объеме срезанных ветвей 1,0–1,5 л. Хвою для химического анализа брали только на участке с «редкими» культурами. Далее проводили атомно-абсорбционный анализ хвои по 30 элементам [1, 6]. Анализ осуществляли на дифракционном спектрографе СТЭ-1 методом испарения из кратера угольного электрода.

### Результаты исследования и их обсуждение

В потомстве естественных популяций парные значения высот 216 семей на обоих участках колебались от 72 до 137%, и корреляция между высотой семей в редких и загущенных культурах отсутствовала ( $r = 0,04$ ). Такая же корреляция ( $r = 0,01$ ) была получена и для 176 семей из популяций культур (рис. 1).

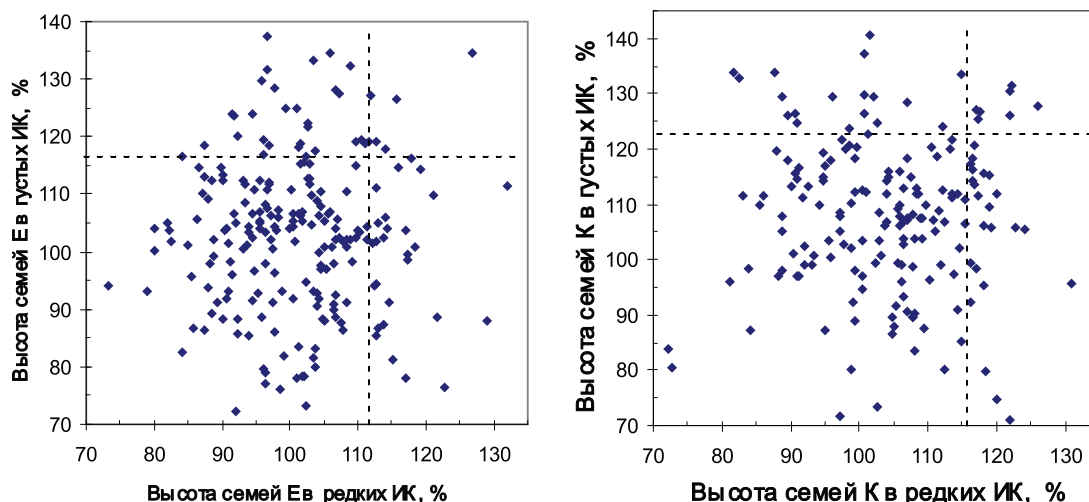


Рис. 1. Поля корреляций между высотами семей в редких и в густых испытательных культурах в потомстве естественных популяций (семьи Е, слева) и в потомстве популяций из культур (семьи К, справа); пунктирные линии отделяют 15% быстрорастущих семей

на 1711 делянок, потомством 462 деревьев с тем же контролем. В 2010 г. в 23-летнем возрасте деревья были измерены и проведено осветление культур с вырубкой  $15 \text{ м}^3/\text{га}$  древесины лиственных пород. Культуры сильно затенялись березой и осинкой, которые местами превышали высоту ели на 1–5 м. То есть на этом участке ель испытывала не только конкуренцию от растений своего вида, но и сильное угнетение со стороны лиственных пород. Сохранилось всего 34% растений, поэтому оставили семьи, где было по 6 растений и более. Выборка на семью составила в среднем 13 шт. и средняя ошибка высоты оказалась 8,4%. На Ильинском участке измеряли в среднем 29 растений на семью и средняя ошибка высоты была 5,4%. Парные измерения высот оказались для 392 семей и 21 варианта контроля.

В результате анализа этих пар семей, который будет показан ниже, были выделены 106 семей с раз-

Изучение химического состава хвои требовало очень больших затрат, поэтому мы выбрали только контрастные семьи. Чтобы как-то их называть, взяли за основу реакцию семьи на густоту выращивания. Именно густота наиболее радикально влияет на развитие древостоев [3]. Поэтому если при увеличении густоты семья снижала высоту, то мы называли ее «семья-светолюб». Если же она ее увеличивала – это была «семья-конкурентник». Был выделен и третий тип – «семьи-универсалы», но провести их анализ мы не могли по финансовым ограничениям. Для оценки стабильности роста был введен показатель «индекс стабильности роста»

(ИСР): отношение высоты семьи в густых ИК к ее высоте в редких. Если ИСР > 1,0 – семья повышает высоту в густых ИК, если меньше 1,0 – снижает ее. Корреляция высот семей с ИСР оказалась слабой ( $r = 0,14$ ), а значимых ее связей с морфометрией матерей мы не нашли. При такой ситуации и при отнесении к быстрорастущим около 15% семей в каждом отдельном испытании семей, которые одинаково хорошо растут и в густых, и в редких культурах, становится почти в 5 раз меньше (рис. 1): всего 5 семей из естественных популяций (2,3%) и 7 семей из культур (4,0%) могут быть зачислены в таковые (в среднем 3,2%). При более интенсивном отборе лучших семей, например 10%-ном, который на рисунках не показан, их может быть всего лишь 1–2%.

Далее мы выбрали контрастные по росту семьи. В редких ИК было выбрано 55 семей из естественных популяций и 51 семья из популяций культур, из которых парные высоты в густых ИК оказались для 44 и 47 семей соответственно (рис. 2).

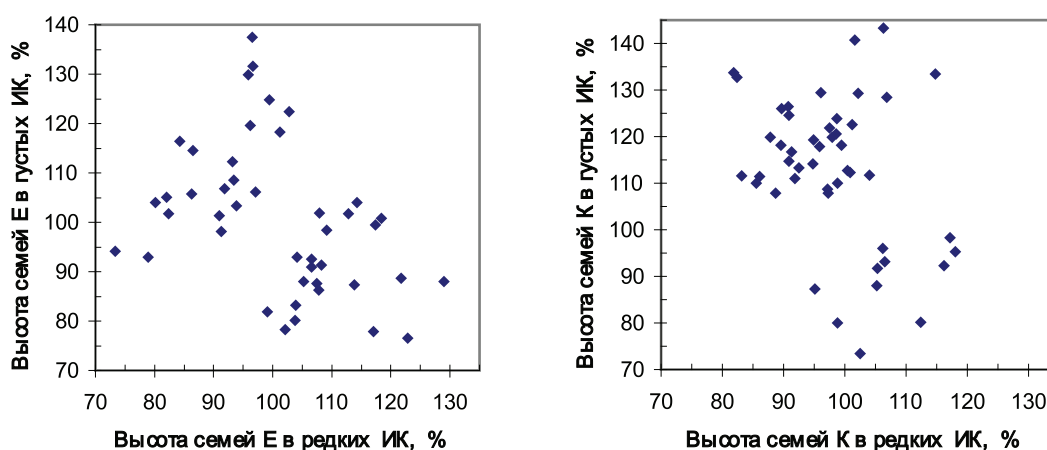


Рис. 2. «Семьи-конкурентники» (кластер точек слева вверху) и «семьи-светлолюбы» (точки справа внизу) в потомстве естественных популяций (семьи E) и в потомстве культур (семьи K)

Далее в редких тест-культурах выбирали по одному типичному дереву от семьи для химического анализа хвои. В результате атомно-абсорбционного анализа хвои полные ряды без нулевых значений были получены по 12 химическим элементам (ХЭ): Ni, Cr, Mn, V, Ti, P, Cu, Zn, Ba, Sr, Zr, Pb. Их сравнение показало, что в потомстве естественных популяций (E) более активно накапливают ХЭ семьи-конкурентники. Сумма концентраций всех 12 элементов у них оказалась в 1,28 раза выше, чем у семей-светлолюбов, и по 8 микроэлементам из 12 повышение было достоверно; особенно

значимое повышение (в 1,39–1,76 раза) отмечено по Ti, Mn и Zn (таблица). Следует отметить, что в сумму концентраций ХЭ наибольший вклад вносят марганец и фосфор и доля их составляет 37–42% [4]. Поэтому именно марганец повлиял на эту сумму наиболее радикально.

Однако в потомстве культур такого согласованного повышения не наблюдалось. Всего лишь три элемента из 12 увеличили концентрации в семьях-конкурентниках: никель в 1,57, марганец в 1,19 и цирконий – в 1,4 раза. По остальным девяти элементам повышение было недостоверно. По зольности хвои различия между КС и КК были недостоверны, тогда как в потомстве E повышение зольности хвои у конкурентников в 1,08 раза оказалось достоверным (таблица).

Полученные данные о химическом составе хвои позволяют предполагать существование неких физиологических различий между потомствами этих групп популяций. Семьи-конкурентники из естественных популяций, видимо, формируют

более морозоустойчивую хвою, накапливая в ней в 1,28 раза больше химических элементов и повышая ее зольность в 1,08 раза. В потомствах культур, которые по своей морфологии тяготеют к ели европейской [2], семьи делают это менее активно и по большинству химических элементов их повышения недостоверны.

Далее мы проанализировали влияние суммы концентраций химических элементов хвои на рост семей в разных тест-культурах. Рассмотрим два поля корреляции, поместив их рядом: для случая редких культур слева, а для густых – справа (рис. 3).

Содержание химических элементов в хвое ели финской  
с разной реакцией семей на конкуренцию

Статистический показатель	Индекс стабильности роста	Содержание химических элементов в хвое, мг/кг													Зольность, %
		Ni	Cr	Mn	V	Ti	P	Cu	Zn	Pb	Ba	Sr	Zr	Сумма	
<i>Естественные популяции, светолюбы (ЕС), n = 30</i>															
Среднее	0,796	1,53	0,58	376,0	0,58	4,00	526,5	1,32	15,03	0,26	169,1	60,03	1,32	1156	5,82
Стандартное отклонение	0,097	0,682	0,059	189,72	0,059	1,94	67,03	0,446	8,07	0,344	58,04	20,53	0,65	241,0	0,616
Коэффициент вариации, %	12,2	45	10	50	10	48	13	34	54	132	34	34	49	21	11
<i>Естественные популяции, конкурентники (ЕК), n = 25</i>															
Среднее	1,248	1,39	0,63	622,16	0,63	7,05	563,6	1,34	20,84	0,17	181,0	76,26	1,63	1477	6,27
Стандартное отклонение	0,124	0,447	0,083	84,83	0,083	2,34	83,54	0,545	8,35	0,209	72,55	27,31	0,61	231,1	0,827
Коэффициент вариации, %	9,9	32	13	14	13	33	15	41	40	123	40	36	37	16	13
Отношение ЕК/ЕС		0,91	1,08	1,65	1,08	1,76	1,07	1,02	1,39	0,65	1,07	1,27	1,24	1,28	1,08
$t_{\text{эксп}}$		-0,90	2,48*	6,27*	2,48*	5,09*	1,76	0,14	2,56*	-1,19	0,65	2,40*	1,79	4,93*	2,20*
<i>Культуры, светолюбы (КС), n = 11</i>															
Среднее	0,826	1,01	0,51	413,3	0,51	5,27	483,3	1,58	15,37	0,36	125,8	54,1	1,17	1102,2	5,1
Стандартное отклонение	0,068	0,23	0,09	134,1	0,09	0,99	80,37	0,47	8,48	0,33	56,03	26,42	0,39	187,6	0,90
Коэффициент вариации, %	8,2	23,2	17,8	32,5	17,8	18,7	16,6	29,7	55,2	92,3	44,5	48,8	33,5	17,0	17,8
<i>Культуры, конкурентники (КК), n = 40</i>															
Среднее	1,267	1,59	0,54	493,3	0,54	5,65	507,0	0,87	15,62	0,21	128,5	52,7	1,64	1208,1	5,4
Стандартное отклонение	0,124	0,61	0,07	127,5	0,07	2,00	73,28	0,59	11,71	0,17	46,55	20,01	0,58	207,5	0,73
Коэффициент вариации, %	9,8	38,3	13,5	25,8	13,5	35,5	14,5	68,1	75,0	78,3	36,2	38,0	35,1	17,2	13,5
Отношение КК/КС		1,57	1,07	1,19	1,07	1,07	1,05	0,55	1,02	0,59	1,02	0,97	1,40	1,10	1,06
$t_{\text{эксп}}$		4,80*	1,17	1,77	1,17	0,87	0,88	4,19*	0,08	-1,41	0,15	-0,17	3,12*	1,62	1,01

Примечание. *Е* – естественные популяции, *К* – культуры; \* – различие между средними достоверно при  $P < 0,05$ ; *n* – число семей.

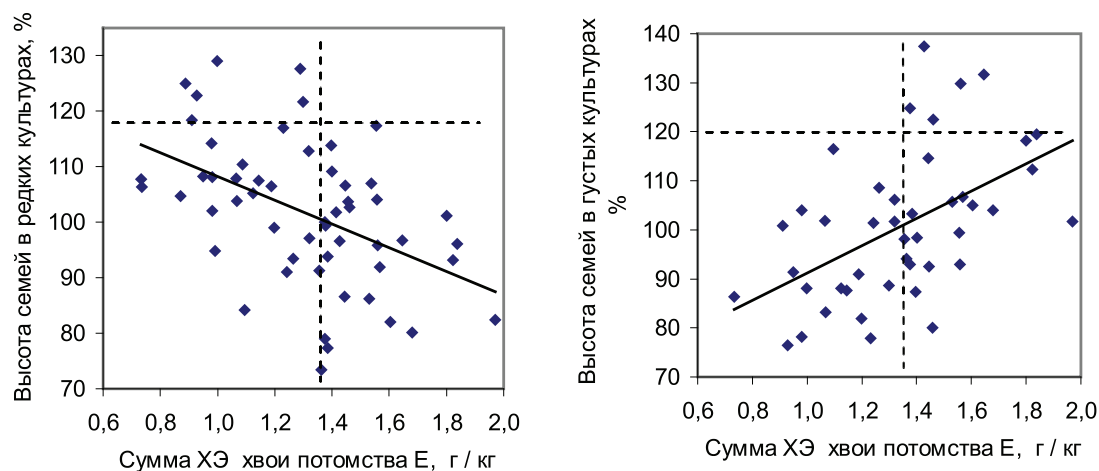


Рис. 3. Влияние суммы концентраций химических элементов в хвое на рост семей в редких и в густых тест-культурах в потомстве естественных популяций

На участке редких культур, где брали образцы хвои, т.е. на левом графике, связь между суммой концентраций ХЭ и ростом семей была отрицательна ( $r = -0,47 \pm 0,10$ ), тогда как в густых культурах на правом графике (где хвою не изучали) она стала положительной ( $r = 0,51 \pm 0,11$ ). Так как хвою на анализ из густых культур мы не брали, то объяснить влияние суммы концентраций ХЭ в ней на высоту семей там, где эта хвоя не росла и «не работала», можно только тем, что этот химический показатель как-то связан с генетическими особенностями семьи и конкретного дерева. Поэтому можно полагать, что сумма концентраций химических элементов хвои **проявляет себя как некий химический признак** (хемопризнак) дерева, увеличение которого снижает высоту деревьев в редких культурах и, наоборот, увеличивает ее в густых культурах.

Для оценки возможного практического эффекта использования данного хемопризнака можно имитировать отбор семей по сумме концентраций ХЭ, ориентируясь на значение 1,35 г/кг, и отбирать в редких культурах семьи с малым, а в густых культурах – с большим содержанием суммы концентраций изученных ХЭ в хвое (вертикальная линия на графиках). После этого частота быстрорастущих семей (горизонтальная линия на графиках) составит на левом графике  $5/27 = 0,185$  и по отношению к исходной их частоте, равной  $5/55 = 0,091$ , новая частота окажется выше в 2,03 раза. На правом графике исходная их частота была  $5/44 = 0,114$ , а новая оказалась  $5/24 = 0,208$ , что выше исходной в 1,82 раза. Отобранные по указанным критериям семьи имеют среднюю высоту в редких культурах  $108,4 \pm 2,2\%$  и в густых  $107,2 \pm 3,1\%$ . Это неплохой результат с учетом повышения частоты лучших семей в 1,8–2 раза. Если учесть, что для получения образцов хвои потомство можно выращивать всего 3–4 года, то при отсутствии взаимодействий «генотип-возраст» по изучаемым признакам возможна ранняя диагностика нужных семей, что необходимо проверить.

Сумма концентраций ХЭ хвои коррелирует также с индексом стабильности роста ( $r = 0,60 \pm 0,10$ ). Поэтому если мы отбираем семьи-конкурентники, то их нужно искать среди семей с суммой концентраций ХЭ выше среднего. Но если мы селекционируем семьи-светолюбы, то

их следует искать среди семей, накапливающих химические элементы на низком уровне. Химические показатели хвои влияют на рост потомства более сильно, чем морфометрические показатели – высота и сбеги ствола, масса семени и шишек; ранее в результате использования последних нам удалось повысить число лучших семей в 1,4–1,7 раза и высоту потомства лишь на 3,0% [3].

Дальнейшие исследования должны дать ответы на три вопроса:

а) насколько устойчивы во времени различия между семьями по составу химических элементов;

б) в каком возрасте семей хвоя приобретает отмеченные выше отличия;

в) какие химические элементы маркируют быстрорастущие семьи.

### Выводы

1. Частота быстрорастущих семей (15% семей в каждом испытании), устойчиво растущих и в густых, и в редких культурах, оказывается 3,2%. Поэтому для отбора 50 матерей для сорта-популяции нужно испытать не менее 1,6 тыс. потомств в разных условиях. В связи с этим на первом этапе селекции усилия следует направить на сорта для выращивания, например, только на плантациях с редким размещением деревьев.

2. Данные о химическом составе хвои показали, что семьи-конкурентники из естественных популяций ели финской с большей долей форм, близких к ели сибирской, накапливают в хвое в 1,28 раза больше химических элементов с повышением ее зольности в 1,08 раза. По-видимому, это связано с их большей морозоустойчивостью. В потомствах культур, которые по морфологическим признакам уклоняются в сторону ели европейской, семьи делают это менее активно и повышение их концентраций недостоверно. Это позволяет рассматривать химический состав хвои как отражение физиологических и генетических отличий между изученными группами популяций.

3. Влияние суммы концентраций химических элементов хвои на рост семей в редких и густых тест-культурах оказалось разнонаправленным. В редких культурах, где брали образцы хвои, связь между суммой концентраций химических элементов и ростом семей была отрицательна ( $r = -0,47 \pm 0,10$ ), тогда

как в густых культурах, где хвою не изучали, она оказалась положительной ( $r = 0,51 \pm 0,11$ ). В связи с этим можно полагать, что сумма концентраций химических элементов хвои обусловлена генетически и при ее увеличении высота потомства в редких культурах снижается, а в густых культурах, наоборот, возрастает.

4. Имитация отбора семей по сумме концентраций химических элементов с ориентацией на значение 1,35 г/кг показала увеличение высоты семей в редких культурах до  $108,4 \pm 2,2\%$  и в густых до  $107,2 \pm 3,1\%$  от контроля, с повышением частоты лучших семей в 1,8–2 раза.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке задания 2014/153 государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части госзадания Минобрнауки России, проект 144 № ГР 01201461915.*

### Список литературы

1. Методы анализа минерального вещества, применяющиеся в центральной лаборатории ПО «Уралгеология». – Свердловск: ПО «Уралгеология», 1989. – 81 с.
2. Рогозин М.В. Изменение параметров ценопопуляций *Pinus sylvestris* L. и *Picea fennica* (Regel) Kom. в онтогенезе при искусственном и естественном отборе: Автореф. дисс. д-ра биол. наук. – Пермь: ПГНИУ, 2013. – 47 с.
3. Рогозин М.В., Разин Г.С. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы [Электронный ресурс]: монография / под ред. М.В. Рогозина. – Пермь: ПГНИУ, 2015. – 277 с. (11 Мб). URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24420793> (дата обращения: 25.11.15).
4. Рогозин М.В., Жекина Н.В., Комаров С.С., Кувшинская Л.В. Химические элементы хвои в потомстве культур и естественных популяций ели финской // Вестник Пермского университета. Серия «Биология». – 2014. – № 3. – С. 44–50.
5. Тараканов В.В., Милютин Л.И., Куценогий К.П., Ковальская Г.А., Игнатъев Л.А., Самсонова А.Е. Элементный состав хвои в разных клонах сосны обыкновенной // Лесоведение. – 2007. – № 1. – С. 28–35.
6. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. – Л.: Химия, 1983. – 144 с.