

УДК 630*165.6: 630*232

М. В. Рогозин

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
Естественнонаучный институт ПГНИУ, Пермь, Россия

ВЫВЕДЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО СОРТА ЕЛИ ФИНСКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХИМИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ

Программа выведения промышленного сорта разработана интеграцией трех направлений исследований: селекции, моделирования хода роста, изучения химического состава хвои. Сделан обзор результатов испытаний 525 потомств ели в густых и редких тест-культурах с выявлением 107 контрастных по типу роста семей. У семей изучено содержание 12 химических элементов (ХЭ) в хвое. Обнаружено, что конкурентный или светолобивый тип развития семьи маркируют концентрации ХЭ в ней, и при отборе по некоторым параметрам их концентраций доля лучших семей повышается в 1,8–2 раза. С учетом этих данных, а также на основе связей между признаками и условиями формирования матерей и ростом их потомства, разработана программа селекции ели финской. Она включает отбор плюс-деревьев в насаждениях-аналогах плантационных культур, т.е. точно в таких же условиях, в каких будут выращивать их потомство. Эта мера повышает высоту потомства в среднем на 9,6%, а частоту лучших семей в 6 раз. Далее в возрасте 4–8 лет тестируют семьи от 1 тыс. деревьев и выделяют ≈70 деревьев-кандидатов в сорт. Предложенная программа с учетом применения химического анализа хвои в 4–5 раз сокращает затраты и в 3 раза – сроки выведения сорта. Экспертная оценка стоимости программы на 10 лет оценивается в 40–45 млн руб. на один лесосеменной район.

Ключевые слова: ель финская; потомство; типы роста; кандидаты в сорта; хвоя; химические элементы.

M. V. Rogozin

Perm State University, Perm, Russian Federation
Natural Sciences Institute of Perm State University, Perm, Russian Federation

BREEDING INDUSTRIAL CULTIVARS FINNISH SPRUCE USING CHEMICAL MARKERS

The program is designed for industrial breeding varieties integration of the three research areas: selection, modeling the course of growth, the study of the chemical composition of the needles. A review of previous work of the author, including 525 test results in dense spruce progeny and rare test cultures, identifying 107 contrasting the type of family growth. These families been studied the content of 12 chemical elements (CE) in the needles. It has been found that the competitive family or photophilic family is determined (marked) concentration of chemical elements therein. In view of these data, and on the basis of relations between the features and conditions of formation of the mothers and the growth of their progeny, developed a breeding program of the Finnish spruce. It includes the selection of plus trees in stands of-analogues of plantation crops, i.e. exactly in the same conditions in which progeny will grow. This measure increases the average height of the progeny to 9.6% and the best families frequency 6 times. Then at the age of 4-8 years are tested family from 1 thousand trees and selected candidates ≈70 grade. The proposed program, taking into account innovative approaches described in 4-5 times and reduces costs by 3 times - deadlines bred varieties. Expert assessment of the cost of the the program for 10 years, is estimated at 40-45 mln. rubles for one forest seed region.

Key words: Finnish spruce; progeny; growth types; the candidates in varieties needles; chemical elements.

Введение

Ель доминирует в хвойных лесах Пермского края и имеет важное ресурсное значение. В лесах края растет естественный гибрид ели сибирской и ели европейской, так называемая ель финская (*Picea × fennica* (Regel) Kom.) с ареалом от Урала до Финляндии. Изучалась ее морфометрия [Правдин, 1975; Попов, 2005; Корнев, 2008], генетические особенности [Ми-

лютин и др., 2009; Нечаева и др., 2012], а также возможности селекции [Рогозин, 2013]. Данная работа интегрирует результаты наших 30-летних исследований в виде краткого обзора; далее проведено более детальное освещение этапа селекции на основе химических маркеров.

Программа выведения сорта ели финской была разработана в результате объединения, казалось бы, довольно разных по тематике исследований:

а) селекции ели для плантационного выращивания;

б) моделирования развития (хода роста) деревьев и древостоев;

в) изучении химического состава хвои у семей ели финской.

Результаты работ по этим направлениям позволили нам прийти к пониманию существа эволюции ели финской, точнее о самом ее начале, о ее первом шаге, о первом поколении, которое очень поразному реагирует на конкурентные условия выращивания. Объем работ по первому направлению представлен результатами 20-летних испытаний 525 семей в двух тест-культурах потомством от плюсовых и обычных деревьев 12 ценопопуляций Пермского края. По второму направлению изучен ход роста ели на 349 пробных площадях и составлены 19 моделей развития древостоев ели в зависимости от начальной густоты ее естественных насаждений и культур. По третьему направлению изучено содержание 12 химических элементов в хвое у 107 семей с разным типом роста в густых и редких тест-культурах, а также химический состав почвы вблизи каждого из дерева, от которого брали хвою на анализ. Исследования обобщены в ряде наших работ [Рогозин, Разин, 2012, 2015; Рогозин, 2013].

Цель данной статьи – анализ данных автора по селекции ели финской в Пермском крае с определением вектора ее селекции на основе выяснения признаков и условий развития материнских деревьев, коррелирующих с ростом потомства.

Селекция ели финской для плантационного выращивания

Популяции ели финской в рассматриваемом регионе имеют отличия в морфометрии. Естественные популяции (Е) отличаются большим проявлением признаков ели сибирской, а искусственные популяции, т.е. культуры (К), тяготеют к ели европейской. Отличия приводят к различиям в тенденциях естественного отбора. Это проявляется в том, что быстрорастущие семьи в популяциях Е получают в равной степени у матерей, имеющих мелкие, средние и крупные семена (отбор стабилизирующий), тогда как в популяциях К они получают от матерей со средними и крупными семенами (отбор движущий). Близкие тренды обнаружены и по размеру шишек [Рогозин, Разин, 2012].

Однако внутри этих популяций лучшее потомство согласованно производят матери с близкими показателями морфометрии, а именно, со сбегом ствола от 1.2 до 1.3 см/м. В пределах указанных параметров число лучших семей было больше в 1.4–1.7 раза, т.е. отбор по этому признаку оказался стабилизирующим. Данная особенность оказалась очень важна для понимания общего характера наследуемости быстроты роста. Корреляция между высотой матерей и высотой их семей в потомстве К (всего 224 семьи) в возрасте 21 год была равна г

$= 0.186$. Однако теоретические расчеты селекционного сдвига по ней оказались не корректны в силу того, что тренд связи был в виде параболы. В результате у самых высоких родителей высота потомства и доля лучших семей были такими же, что и у средних по высоте родителей, и только самые низкие деревья производили слабое потомство [Рогозин, Разин, 2012, с. 137–140].

Далее удалось выяснить, что на высоту потомства решающим образом влияет густота фитоценоза, где отбирали плюс-деревья. Но влияет она в зависимости от второго фактора, а именно, густоты дочерних тест-культур: в густых культурах лучше растут потомки из густых ценозов, а в более редких – потомства из редких родительских ценозов. По данным измерения высот 4.3 тыс. растений 152 семей от пяти популяций при выращивании в разреженных тест-культурах потомство от родительских ценозов малой густоты оказалось выше на 11.0%, чем от ценозов с большей густотой, и выше на 9.6% высоты контроля. Противоположные различия были получены в густых тест-культурах. Влияла на рост потомства не только густота всего насаждения, но и густота микроценоза. Так, у 79 плюс-деревьев были учтены все деревья-соседи на площадке радиусом 3.3 м и выделены группы родителей со слабой и сильной конкуренцией, имевшие в среднем по 7.1 и 10.9 шт. соседей соответственно. Оказалось, что при слабом давлении конкуренции на матерей высота их семей в тест-культурах возрастала на 4.6%, а частота лучших семей – в 2 раза [Рогозин, Разин, 2012, с. 147–150].

Все это доказывает сильнейший характер влияния на потомство тех условий, в которых формировались их родители. Можно говорить даже о своеобразной эпигенетической «памяти» у потомства, проявляющей себя в соответствии с программой, которую прошли их родители, и густота насаждения влияет на ее проявление решающим образом. Поэтому последствия самого первого шага в селекции ели финской (т.е. ее искусственной эволюции) могут быть эффективно использованы при выращивании ее искусственных лесов.

При сравнении наших данных с результатами других авторов по селекции основных лесообразующих видов можно сослаться на обзор А.И. Видякина [Видякин, 2010], который отмечал, что в опытах разных авторов доля элитных семей изменяется от 0 до 90%. Причинами таких разных оценок были межпопуляционные различия, некорректные виды контроля, отсутствие различий с контролем и несовершенство методик полевых опытов. Так, в республике Коми в одном крупном опыте среди потомства 129 плюс-деревьев превышали контроль лишь 3% семей, а все их потомство росло на 12.7% хуже контроля; в других опытах в возрасте 5–18 лет превышения семей 190 плюс-деревьев колебались от нуля до минус 3.6% [Тур-

кин, 2007].

Анализ влияния параметров родительских и дочерних ценопопуляций как раз и позволил нам объяснить некоторые биологические причины таких колебаний.

Моделирование развития (хода роста) деревьев и древостоев

Из изложенного выше получается, что конкуренция является тем камнем преткновения, который определяет успешность реализации буквально всех программ в лесной селекции, и необходимо учитывать законы, по которым развиваются древостой. Моделирование их развития позволило сформулировать *общий закон развития одноярусных древостоев*: «в одинаковых условиях местопрорастания пределы развития древостоев определяет их начальная густота; при ее изменчивости примерно от 0,5–0,7 до 200 тыс. шт./га чем она больше, тем раньше древостой достигает своих пределов по показателям сомкнутости крон, суммам объемов крон, полноте, запасу, производительности, устойчивости и долговечности по сравнению с древостоями с меньшей начальной густотой; но чем она меньше, тем позднее древостой лидирует по указанным параметрам и дольше сохраняет лидерство по ним в сравнении с древостоями с большей начальной густотой» [Рогозин, Разин, 2015].

Закон проверен практикой [Рябоконе, 1990; Плантационное..., 2007], служит основой революционных изменений в способах выращивания леса и подобен закону предельной численности популяции и закону популяционного максимума в экологии [Одум, 1986; Реймерс, 1994]. В полном соответствии с ними в развитии древостоя имеется максимум текущего прироста, который в густых ценозах наступает уже в 15–20, а в редких – в 40–45 лет. Поэтому развитие сообщества древесных растений четко делится на период прогресса, т.е. возрастания прироста, и на период регресса, т.е. его падения. Причем изменить модель развития на более прогрессивную рубками ухода можно только в фазе прогресса [Рогозин, Разин, 2015].

В соответствии с этим ключевым моментом меняется в целом вся парадигма лесоводства, а в лесной селекции – принципы испытаний, которые сокращаются путем опознания тренда линии развития. Причем достаточно будет только часть этой линии, например, до 10–15 лет. И здесь возникает проблема типов роста, но решается она не увеличением сроков испытаний, о чем постоянно сокрушаются селекционеры. Ее решение лежит в иной плоскости, а именно, в моделях развития древостоев. Пока можно использовать наши 15 моделей развития ели в естественных насаждениях и 4 модели – в ее культурах для условий, типичных для этой породы [Рогозин, Разин, 2015]. Суть моделей можно представить как всер из линий, где каждая

линия имеет точку перегиба, и положение этой точки определяет начальная густота. В таком понимании пик развития древостоев ели с модальной начальной густотой в 3–5 тыс. шт./га приходится на 30–35 лет, и это известно, в общем, давно; однако пик этот подвижен. При высокой густоте он наступает в 15–20, а при малой – только в 45 лет. Поэтому редкие по начальной густоте модели наиболее продуктивны в 55–60 лет, и именно они должны быть образцом плантационных культур. Особенно важно здесь то, что даже небольшие различия в густоте «на старте» сразу запускают механизм развития ценоза на много лет вперед. И густоту следует регулировать постоянно.

Если этого не делать, то буквально все показатели древостоя будут следовать в русле модели, имеющей определенную текущую густоту, и после пика развития лучшие потомства отстанут в росте, а на их место выйдут ранее отстававшие. Поэтому тип роста потомства следует *задавать изначально*, т.е. *не изучать* у потомства типы роста, затягивая испытания до возраста рубки, а *управлять* ими [Рогозин, Разин, 2015].

Выше мы рассмотрели наши итоги так называемой «коррелятивной» селекции, когда селекционеры ищут обходные пути и выводят сорта не напрямую. Этот подход в свете новых данных нам удалось улучшить и предложить новые правила для отбора плюс-деревьев, в частности, отбирать их в насаждениях–аналогах плантационных культур в возрасте 40–60 лет, со сбегом ствола 1,3–1,4 см/м. В результате при отборе популяций–аналогов высота их потомства в дочерних ценозах повышалась в среднем на 9,6%, а число лучших семей увеличивалось в 6 раз. Далее, в этих более редких родительских ценозах можно задействовать уровень микроценоза с отбором матерей при ослабленной конкуренции со стороны соседей. В результате в их потомстве доля лучших семей возрастает еще в 1,5 раза [Рогозин, Разин, 2012].

Следует отметить, что при столь разном характере развития деревьев в густых и редких фитоценозах *должны быть* различия в их физиологии. Следуя в рассуждениях далее, разная физиология должна приводить к различиям в химическом составе хвои, и здесь появились первые обнадеживающие результаты. Удалось доказать, что потомства естественных популяций ели с преобладанием признаков ели сибирской накапливают в хвое достоверно больше элементов Mn, Ti, P, Cu, Ba, Sr, Pb, а при снижении содержания органики в почве повышают зольность хвои, в отличие от изученных нами более «европейских» искусственных ценопопуляций, которые в своем потомстве снижают их концентрацию в хвое; при этом семьи последних обладают повышенной скоростью роста [Рогозин и др., 2014]. В целом же оказалось, что химические элементы хвои у потомства связаны с быстротой роста семей намного сильнее, чем влияние высоты и сбега ствола, массы семени и размера шишек

материнского дерева, при использовании которых удалось повысить частоту лучших семей в 1.4–1.7 раза, а высоту потомства – на 3.0% [Рогозин, Разин, 2015].

Все описанные выше влияния вполне могут быть объяснены эпигенетикой или, иными словами, материнским эффектом и взаимодействием генотип-среда, влияющими на экспрессию генов и, таким образом, на фенотипы потомства. Это было известно генетикам давно, но только в последнее время появились методы, позволяющие изучать их на полногеномном уровне [Крутовский, 2015].

Ниже мы приводим часть результатов исследований по химическому составу хвои ели.

Материал и методы исследования

Изучалось потомство ели финской из семян от свободного опыления, выращенное на двух участках тест-культур, заложенных в 1991 г. в Пермском крае. Первый участок создан в кв. 41 Ильинского лесничества. Почва среднесуглинистая, обедненная гумусом в результате сдвига почвы при корчевке (биотоп С₂). Посадка проведена по схеме 2.5×1.0 м. Представлены потомства: из естественных популяций от 301 плюсовое дерева и из культур от 224 деревьев, в том числе 152 плюсовые и 72 – обычные деревья. Контроль – семена от 30 случайных деревьев из всех популяций. Посадочный материал выращивали в теплице и далее в школе. Измерения проведены в 21 год у 16 755 растений, в том числе 1 435 шт. в контроле.

Потомство этих же деревьев изучали также на втором участке тест-культур, заложенном на супеси в биотопе Б₂, где посадки создавали 3-летними сеянцами на вырубке по раскорчеванным полосам тремя рядами по схеме 0.7×0.7 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», был заложен в кв. 5 Юго-Камского лесничества Оханского лесхоза на площади 8 га. Высажено 16.1 тыс. растений на 1 711 делянок, потомством 462 деревьев с тем же контролем. В 2010 г. в 23-летнем возрасте деревья были измерены и проведены осветления культур с вырубкой 15 м³/га древесины лиственных пород. Культуры сильно затенялись березой и осиной, которые превышали высоту ели на 1–5 м, т. е. на этом участке ель испытывала не только конкуренцию от растений своего вида в рядах, но и угнетение со стороны лиственных пород. Сохранилось только 34% растений, поэтому оставили семьи, где было 6 растений и более. Выборка на семью составила в среднем 13 шт. с ошибкой ее высоты ±8.4%. На Ильинском участке измеряли 29 растений на семью с ошибкой высоты ±5.4%. В итоге по два измерения высот оказались для 393 семьи и 21 вариант контроля.

В результате анализа этих пар семей были выделены 107 семей с разной реакцией на густоту выращивания. От этих деревьев на первом участке тест-культур выбирали по одному типичному дереву и брали образец хвои 1–3 лет из средней части кроны при объеме срезанных ветвей 1.0–1.5 л [Рогозин и др., 2014]. Далее проводили атомно-абсорбционный анализ хвои по 30 элементам на дифракционном спектрографе СТЭ-1 методом испарения из кратера угольного электрода [Методы..., 1989].

Предполагалось, что особенности почвы вблизи деревьев как-то могут повлиять на химический состав их хвои. Поэтому вблизи выбранных деревьев, в радиусе 1.0 м от ствола в трех местах делали прикопки до глубины 15–18 см и брали объединенный образец почвы на обычный почвенно-химический [Ариушкнина, 1962] и на атомно-абсорбционный анализ [Методы..., 1989], всего 111 образцов.

Результаты и их обсуждение

1. Внешние суммы элементов в хвое на рост семей

Из 216 семей от деревьев из естественных популяций и из 177 семей от деревьев из культур по данным об их высотах в 21 год в редких и в 23 года в густых тест-культурах были выделены разные типы роста семей. Если при увеличении густоты культур семья снижала высоту, то ее назвали «семья-светлолюб». Если же она ее увеличивала – это была «семья-конкурентнико», т. е. плохо растущая в редких культурах, но хорошо – в густых. Всего из 393 семей, представленных в редких и густых тест-культурах, для анализа хвои выбрали 55 семей из естественных популяций и 52 семьи – из ценопопуляций культур, отличающихся контрастным типом роста. В результате атомно-абсорбционного анализа хвои были получены данные по 12 химическим элементам (ХЭ): Ni, Cr, Mn, V, Ti, P, Cu, Zn, Ba, Sr, Zr, Pb. Сравнение их показало, что в потомстве естественных популяций (потомство Е) более активно накапливают ХЭ семьи-конкурентники. Сумма всех 12 элементов у них оказалась в 1.3 раза выше, чем у семей-светлолюбов, и по 8 элементам из 12 повышение было достоверно. Однако в потомстве культур (потомство К) такого согласованного повышения ХЭ не наблюдалось. Всего лишь три элемента достоверно увеличили концентрации в семьях-конкурентниках: Ni, Mn и Zr – в 1.19–1.4 раза. Полученные данные о химическом составе хвои позволяют предполагать существование неких физиологических различий между их потомствами. Семьи-конкурентники из естественных популяций, видимо, формируют более морозоустойчивую хвою, накапливая в ней в 1.3 раза больше микроэлементов и повышая ее зольность в 1.08 раза. В потомствах культур, которые являются потомками более «европейской» ели финской, семьи делают это менее ак-

тивно и по большинству микроэлементов их повышения недостоверны. Подробную интерпретацию этих данных мы приводили в предыдущей статье [Рогозин и др., 2014].

Далее мы проанализировали влияние суммы

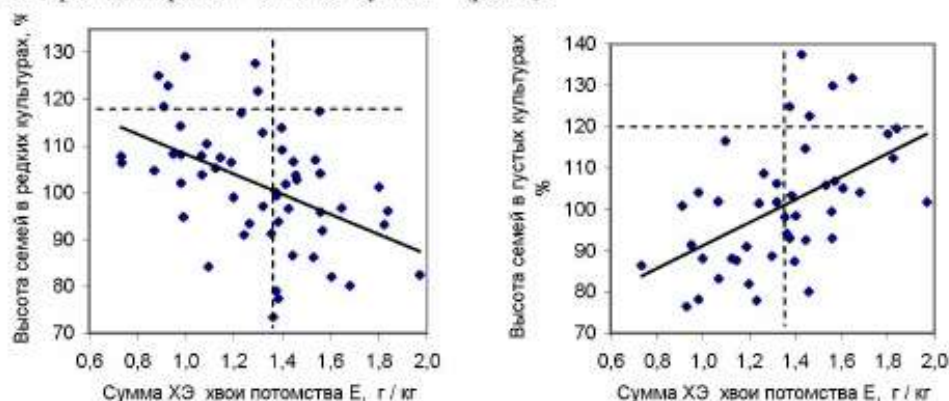


Рис. 1. Влияние суммы концентраций химических элементов в хвое ели на рост семей в редких (слева) и в густых тест-культурах (справа) в потомстве естественных популяций

На участке редких культур, где брали образцы хвои, т.е. на левом графике, связь между суммой концентраций XЭ и ростом семей отрицательна ($r = -0.47 \pm 0.10$), тогда как в густых культурах на правом графике (где хвою не изучали) она стала положительной ($r = 0.51 \pm 0.11$). Различия между ними достоверны на самом высоком уровне ($t = 6.6 > t_{0.01} = 2.6$).

Так как из густых культур хвою на химический анализ мы не отбирали, то объяснить влияние XЭ в ней на высоту семей в том насаждении, где эта хвоя «не работала», можно, по-видимому, тем, что уровень их содержания в хвое отражает, во-первых, особенности ее физиологии и, во-вторых, особенности генотипа. Поэтому можно полагать, что химические элементы в хвое ели в их суммарной концентрации и каждый по отдельности проявляют себя как некие химические признаки (хемопризнаки) дерева, увеличение концентраций которых приводит к снижению роста семей в редких культурах и, наоборот, увеличивает интенсивность их роста в густых, т.е. идет проявление эпигенетических взаимодействий генотипа и среды. Отметим, что, в противовес всяким ожиданиям, в редких тест-культурах рост семей усиливался при снижении их концентраций. Почему это происходит – пока неясно и нужны дальнейшие исследования. Мы уже привыкли считать, что рост растений чаще всего улучшается при подкормке удобрениями, т.е. растения испытывают некий «голод» по ряду элементов. У деревьев ели получилось это не так, и они почему-то росли иногда лучше при их малом содержании в хвое.

Для оценки возможного практического эффекта можно имитировать отбор семей по сумме концентраций XЭ, ориентируясь на значение 1.35 г/кг, и отбирать в редких тест-культурах семьи с малым, а

концентраций указанных выше 12 XЭ на рост семей в разных по густоте тест-культурах. Рассмотрим два поля корреляции, поместив их рядом: для случая редких культур слева, а для густых – справа (рис. 1).

в густых культурах – с большим содержанием суммы XЭ в хвое (отделены вертикальной линией на графиках). После этого частота лучших семей (точки выше горизонтальной линии) составит на левом графике $5/27 = 0.185$, что по отношению к исходной их частоте, равной $5/55 = 0.091$, 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 $108.4 \pm 2.2\%$, а в густых $107.2 \pm 3.1\%$, и это неплохой результат. Если же учесть, что для получения образцов хвои потомства можно выращивать всего 3–4 года, а не 20–30 лет, то при отсутствии взаимодействий «генотип-возраст» по изучаемым хемопризнакам вполне возможна ранняя диагностика; разумеется, данное взаимодействие следует выяснить далее путем повторных наблюдений в разном возрасте семей.

2. Влияние содержания химических элементов в почве на их содержание в хвое

Образец почвы для анализа формировали из трех прикопок, взятых с глубины 5–15 см на расстоянии 1.0 м от дерева. Содержание XЭ в почве рассчитывали после ее сжигания, при котором выгорали все органические примеси. Всего на объекте проанализировано 111 образцов, для которых получены данные о содержании 17 химических элементов и их основные статистики (табл. 1 и 2).

В подавляющем числе образцов (85%) содержание органики находилось в пределах 3–8% при изменчивости показателя от 2.1 до 12.3% и его вариации 30.6% (табл. 3).

Данный показатель характеризует в какой-то мере количество гумуса в почве. Нас же интересовали элементы в минеральном остатке, и мы использовали обратный ему показатель, т.е. зольность, который получали после сжигания в муфельной печи образца почвы в виде ее минерального остатка. На этот оста-

ток далее переводились полученные концентрации ХЭ. Например, при содержании органических включений 10% зольность почвы будет 100–10=90% или 0.90 от 1.0; соответственно, содержание ХЭ в почве делили на 0.90 и получали их концентрацию в минеральной части почвы.

Таблица 1

Химические элементы в почве вблизи растений потомства естественных популяций ели финской*

№ сем-ев	Микроэлементы в почве, мг/кг 17 элементов																	Органи-ка в почве, %	Образцы хвой		Высота сем-ев, %
	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Cu	Zn	Pb	Ba	Sn	Zr	Ga	Y	Yb	Nb		Золь-ность, %	Сумма МЭ, мг/кг	
1	49	20	176	683	146	6826	9,8	49	98	18	390	2,9	488	15	59	5,9	18	2,48	6,43	980	102,12
2	48	15	174	872	97	5810	9,7	48	87	15	291	3,9	387	15	48	4,8	15	3,16	6,28	1400	109,13
3	57	17	189	663	142	4734	9,5	47	95	14	284	3,8	284	17	38	3,8	9	5,32	5,11	888	124,99
4	82	18	182	908	164	4542	9,1	64	136	18	454	3,6	273	16	36	3,6	14	9,16	5,32	870	114,71
5	88	18	175	877	158	3510	8,8	53	132	18	351	3,5	263	16	35	3,5	13	12,26	5,77	1064	107,88
6	80	18	159	1329	177	4430	13,3	53	133	18	354	3,5	354	16	35	3,5	13	11,41	5,9	999	128,99
7	54	16	181	817	163	4537	8,2	64	91	16	272	3,6	181	14	36	3,6	9	9,26	6,2	1189	106,54
8	63	18	135	901	162	4506	8,1	63	162	16	270	2,7	270	18	36	3,6	9	9,88	5,43	980	114,25
9	38	14	143	856	143	4755	9,5	48	95	14	380	2,9	285	14	38	3,8	14	4,91	5,97	1144	107,51
10	38	14	142	663	142	4738	9,5	47	95	14	379	2,8	284	14	38	3,8	14	5,24	5,06	910	118,35
11	65	19	186	931	186	5583	14,0	47	186	19	279	3,7	372	17	37	3,7	9	6,95	5,65	1446	106,62
12	47	14	171	664	142	4740	9,5	38	95	14	379	2,8	190	17	38	3,8	14	5,20	5,4	1087	110,46
13	48	14	171	665	143	4751	9,5	48	86	14	380	2,9	285	17	38	3,8	14	4,99	5,24	1123	105,19
14	46	14	138	644	138	4598	8,3	55	83	9	368	2,8	276	14	28	2,8	8	8,04	6,83	1457	103,76
15	48	14	143	572	143	5724	9,5	48	86	10	382	2,9	382	14	38	3,8	14	4,60	5,54	1318	112,79
16	48	14	143	668	143	4768	9,5	38	86	14	381	2,9	286	14	29	2,9	14	4,64	6,38	1555	117,33
17	47	17	170	851	142	3780	8,5	47	85	14	378	2,8	378	14	38	3,8	14	5,49	6,65	1557	104,12
18	48	17	143	667	143	5714	8,6	48	86	14	381	3,8	286	14	38	3,8	19	4,77	5,71	1289	127,64
19	48	19	145	675	145	5788	8,7	58	96	10	386	3,9	386	17	39	3,9	17	3,53	6,05	1298	121,70
20	48	17	143	855	143	3801	8,6	57	95	17	285	2,9	380	17	29	2,9	14	4,97	4,26	981	108,18
21	47	14	142	665	95	3799	9,5	47	95	14	380	2,8	380	14	28	2,8	14	5,02	6,1	928	122,84
22	55	16	137	640	137	3657	6,4	46	91	14	366	2,7	274	18	27	2,7	14	8,58	5,97	735	106,35
23	63	18	134	626	134	4471	8,9	54	161	16	447	3,6	268	18	36	3,6	13	10,59	5,05	734	107,81
24	48	14	145	578	96	3855	8,7	48	87	14	289	2,9	289	17	39	3,9	14	3,62	-	-	-
25	47	14	169	845	141	5633	14,1	56	94	14	376	2,8	282	17	28	2,8	17	6,11	6,69	1560	95,91
26	48	14	173	577	96	5773	9,6	38	96	29	385	2,9	481	14	29	2,9	14	3,79	-	-	-
27	48	14	173	673	144	5765	14,4	48	144	19	480	2,9	384	17	38	3,8	17	3,92	6,84	1645	96,68
28	29	7	129	501	107	3575	7,2	36	72	14	358	2,1	358	13	29	2,9	13	4,96	6,54	1679	80,19
29	38	10	144	481	96	5773	14,4	58	144	17	481	2,9	385	17	29	2,9	19	3,79	6,89	1568	91,88
30	47	14	142	851	142	4727	14,2	47	95	17	378	2,8	378	17	28	2,8	14	5,47	5,62	1095	84,25
31	56	17	169	565	141	4707	14,1	66	141	28	377	2,8	377	19	28	2,8	14	5,87	7,29	1838	96,16
32	56	19	169	659	141	5650	14,1	47	141	19	377	2,8	377	19	28	2,8	19	5,84	5,8	1385	77,34
33	47	17	170	663	95	5680	14,2	57	85	19	473	1,9	284	17	38	3,8	17	5,33	-	-	-
34	57	19	172	668	143	3817	14,3	57	95	17	382	3,8	382	17	29	2,9	17	4,58	7,88	1824	93,17
35	48	14	171	570	95	3802	14,3	67	143	17	285	2,9	380	17	29	2,9	17	4,95	6,13	1384	93,81
36	47	14	168	652	140	4657	14,0	56	140	19	466	3,7	373	17	37	3,7	14	6,87	6,04	1413	101,83
37	47	9	189	663	142	5680	14,2	57	95	17	473	2,8	379	17	28	2,8	17	5,34	5,7	1356	91,26
38	48	10	192	576	96	4799	9,6	48	86	17	384	2,9	480	17	38	3,8	19	4,04	-	-	-
39	57	14	171	664	142	4744	14,2	57	142	17	474	3,8	380	17	38	3,8	19	5,12	7,24	1801	101,23
40	56	19	186	930	139	4648	13,9	37	84	14	465	3,7	372	17	37	3,7	14	7,05	5,57	1375	78,95
41	47	14	187	844	141	5624	8,4	47	94	19	375	1,9	375	17	28	2,8	14	6,26	5,36	1320	97,12
42	47	17	171	664	142	5689	14,2	47	95	19	379	3,8	379	14	38	3,8	17	5,19	5,22	1362	73,36
43	57	17	189	850	142	5669	9,4	66	94	19	472	2,8	378	17	28	2,8	17	5,51	5,28	1377	99,38
44	48	14	172	669	143	5731	9,6	48	96	29	478	2,9	382	17	29	2,9	19	4,48	6,12	1443	86,54
45	48	17	194	873	145	5817	9,7	58	97	29	485	3,9	388	19	29	2,9	17	3,05	-	-	-
46	48	14	174	483	145	5798	8,7	48	97	17	387	2,9	387	17	29	2,9	17	3,37	-	-	-
47	48	14	171	570	143	5701	14,3	48	95	38	380	2,9	380	17	48	4,8	17	4,98	7,58	1970	82,39
48	56	17	188	563	141	4693	9,4	56	141	28	563	2,8	375	19	47	4,7	14	6,15	6,8	1605	82,06
49	48	19	173	865	86	3843	9,6	38	67	8	173	1,9	288	14	29	2,9	14	3,92	6,19	1263	93,44
50	38	17	95	856	95	4754	14,3	48	67	14	171	1,9	171	14	29	2,9	14	4,93	6,09	1242	90,99
51	39	15	97	678	87	3874	8,7	48	68	15	174	1,9	174	15	29	2,9	17	3,14	-	-	-
52	48	17	96	675	96	5789	9,6	48	87	14	289	2,9	289	14	29	2,9	17	3,51	6,41	1531	86,28
53	48	14	145	579	96	4821	9,6	48	67	10	193	2,9	289	14	29	2,9	17	3,58	-	-	-

Окончание табл. 1

№ семьи	Микроэлементы в почве, мг/кг 17 элементов																Органика в почве, %	Образцы хвоя		Высота семьи, %	
	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Cu	Zn	Pb	Ba	Sn	Zr	Ga	Y	Yb		Nb	Зольность, %		Сумма МЭ, мг/кг
54	49	15	88	681	88	4863	9,7	39	58	10	292	1,9	389	15	29	2,9	15	2,74	-	-	-
55	49	15	146	582	146	5825	8,7	49	68	15	291	3,9	388	10	39	3,9	15	2,92	5,91	1537	106,99
56	57	19	144	862	144	5747	9,6	57	96	17	383	3,8	383	17	29	2,9	17	4,22	6,99	1397	113,83
<i>Статистики для почвы, хвои и семей потомства естественных популяций</i>																					
n	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	47	47	47
x	51,0	15,6	158,6	716,0	132,3	4947,9	10,7	50,7	102,3	17,0	368	3,02	338,7	16,1	34,1	3,6	15,1	5,45	6,05	1317,1	101,58
s	10,1	2,6	25,6	150,3	24,6	792,8	2,5	7,6	28,1	5,5	84,6	0,58	71,0	1,8	6,5	0,7	2,7	2,17	0,73	295,50	13,76
V%	19,8	16,7	16,1	21,0	18,6	16,0	23,3	14,9	27,5	32,3	23,0	19,3	21,0	11,4	18,9	18	17,9	39,8	12,1	22,4	13,6

* Данные по химическому составу почвы получены к.б.н. Л.В. Кувшинской в 2013 г.

Таблица 2

Химические элементы в почве вблизи растений из потомства культур ели финской*

№ семьи	Микроэлементы в почве, мг/кг 17 элементов																Органика в почве, %	Образцы хвои		Высота семьи, %	
	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Cu	Zn	Pb	Ba	Sn	Zr	Ga	Y	Yb		Nb	Зольность, %		Сумма МЭ, мг/кг
57	48	17	143	668	95	3818	8,6	48	67	14	286	2,9	286	17	29	2,9	14	4,56	-	-	-
58	38	14	141	660	85	3769	8,5	38	85	9	283	1,9	188	14	28	2,8	14	5,78	6,65	1335	110,04
59	38	17	96	671	86	3836	9,6	48	86	14	144	1,9	192	14	29	2,9	14	4,10	6	1448	116,71
60	29	15	97	581	87	5809	9,7	48	68	15	174	1,9	194	17	29	2,9	10	3,19	5,17	1123	124,62
61	47	14	141	565	141	4708	9,4	66	141	14	282	2,8	377	17	28	2,8	9	5,84	5,04	1122	128,37
62	48	17	143	669	96	4782	9,6	67	96	14	287	2,9	287	17	29	2,9	14	4,36	4,79	1112	126,46
63	29	17	97	679	87	4850	9,7	48	58	9	145	1,9	194	15	39	2,9	10	3,01	4,7	1085	146,16
64	39	14	145	578	87	5783	14,5	39	58	14	145	2,9	289	14	39	2,9	14	3,61	5,08	1186	120,56
65	46	18	165	826	138	5509	9,2	55	92	17	367	2,8	275	14	28	2,8	9	8,19	6,48	880	107,81
66	48	19	173	578	96	5776	9,6	58	67	14	385	2,9	289	17	39	2,9	10	3,74	4,64	908	143,27
67	47	14	142	664	95	3796	8,5	47	57	9	190	1,9	171	17	38	2,8	9	5,09	4,76	1079	133,78
68	38	9	142	851	95	5671	14,2	66	95	17	378	2,8	473	17	38	4,7	17	5,48	-	-	-
69	38	9	144	576	96	5758	14,4	58	96	17	384	3,8	384	17	38	3,8	19	4,04	5,92	1283	99,49
70	47	14	142	662	95	5673	14,2	57	142	19	378	2,8	284	17	38	4,7	19	5,45	-	-	-
71	47	14	142	661	94	4723	9,4	57	142	19	378	1,9	283	17	28	3,8	19	5,54	6,26	1377	102,23
72	47	14	142	570	95	5698	14,2	66	95	19	475	3,8	380	17	28	4,7	19	5,04	5,57	1107	82,40
73	48	10	143	573	95	4771	14,3	57	95	19	286	3,8	382	17	38	3,8	17	4,58	5,37	1203	97,93
74	48	14	143	668	95	4772	9,5	48	95	14	382	2,9	382	19	38	3,8	17	4,57	6,57	1555	89,56
75	48	14	143	667	95	4765	9,5	57	95	19	381	3,8	381	17	29	3,8	14	4,70	6,05	1449	86,10
76	48	14	143	669	96	4777	9,6	67	96	17	382	1,9	287	14	29	3,8	17	4,46	5,07	1194	103,97
77	48	14	172	859	143	5729	9,5	67	143	19	382	2,9	382	19	38	3,8	17	4,51	5,77	1292	94,30
78	48	14	171	667	143	5716	9,5	57	143	14	476	3,8	381	17	29	3,8	19	4,73	5,4	1224	101,61
79	49	20	176	683	146	6826	9,8	49	98	18	390	2,9	488	15	59	5,9	18	2,48	5,33	1076	116,21
80	47	17	94	659	85	4705	9,4	47	56	9	282	1,9	376	14	28	2,8	9	5,90	-	-	-
81	47	19	93	653	93	4666	14,0	47	93	14	280	2,8	373	14	28	2,8	9	6,68	-	-	-
82	56	19	139	836	139	4645	9,3	56	139	17	372	2,8	279	17	37	3,7	9	7,11	-	-	-
83	48	17	96	579	96	4823	9,6	48	68	14	289	2,9	289	14	39	3,9	10	3,55	3,76	904	106,20
84	56	19	141	658	141	4703	9,4	47	141	19	376	3,8	376	14	38	3,8	17	5,95	-	-	113,85
85	48	19	143	669	143	5735	9,6	48	96	17	478	3,8	478	14	38	2,9	17	4,41	4,19	930	117,15
86	56	19	140	562	140	4682	9,4	47	94	14	281	2,8	375	14	28	2,8	8	6,36	-	-	-
87	48	19	145	677	97	5807	14,5	58	97	17	387	3,9	484	15	39	3,9	17	3,22	4,31	996	112,34
88	39	17	97	483	87	4831	9,7	39	58	17	174	2,9	290	14	29	2,9	9	3,38	5,63	1159	98,79
89	57	19	171	854	171	4747	8,5	57	95	19	380	3,8	380	17	38	3,8	19	5,06	4,97	1233	106,56
90	48	17	144	671	144	4793	9,6	58	67	17	383	3,8	479	10	38	3,8	19	4,15	4,47	1030	102,52
91	58	17	192	673	144	4808	9,6	67	96	19	385	4,8	385	14	29	1,9	17	3,84	5,7	1302	95,07
92	68	17	194	680	146	4858	14,6	68	97	29	486	4,9	389	15	39	3,9	19	2,84	-	-	-
93	90	27	179	806	179	4479	16,1	81	179	27	448	6,3	269	18	36	3,6	18	10,42	5,72	1050	129,37
94	48	17	144	864	144	5758	5,8	58	96	19	480	3,8	288	14	29	2,9	10	4,03	6,42	1563	111,07
95	57	19	172	668	143	3817	14,3	57	95	17	382	3,8	382	17	29	3,8	17	4,58	-	-	-
96	49	18	176	683	98	5858	9,8	39	88	18	488	2,9	488	10	39	3,9	15	2,36	4,68	1219	87,85
97	48	14	171	570	95	3802	14,3	67	143	17	285	2,9	380	17	29	3,8	17	4,95	5,48	1291	85,57
98	48	17	144	862	144	5749	8,6	57	96	14	479	3,8	287	14	29	2,9	17	4,18	7,03	1649	90,82
99	58	19	173	962	144	4808	9,6	58	144	19	481	4,8	288	17	29	2,9	17	3,85	4,08	936	97,15

Окончание табл. 2

№ семьи	Микроэлементы в почве, мг/кг 17 элементов																	Органики в почве, %	Образцы хвои		Высота семьи, %
	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Se	Cu	Zn	Pb	Ba	Sn	Zr	Ga	Y	Yb	Nb		Зольность, %	Сумма МЭ, мг/кг	
100	56	19	169	938	141	5628	4,7	47	94	19	375	3,8	375	17	28	1,9	17	6,20	-	-	-
101	48	14	173	673	144	4810	8,7	48	87	14	385	2,9	385	14	29	2,9	14	3,81	5,17	1166	92,53
102	47	19	171	854	142	5690	9,5	57	95	14	474	3,8	379	14	38	3,8	17	5,16	5,25	1284	95,84
103	57	19	171	854	142	4746	9,5	57	95	19	475	3,8	285	14	28	2,8	9	5,08	4,04	909	88,72
104	57	19	171	855	143	5701	14,3	57	95	19	475	3,8	380	14	29	2,9	10	4,98	-	-	-
105	58	19	174	675	145	6751	9,6	58	96	19	579	4,8	482	17	39	3,9	14	3,56	4,51	993	89,63
106	48	10	192	576	96	4799	9,6	48	86	17	384	2,9	480	17	38	3,8	19	4,04	5,13	1208	98,68
107	48	19	145	675	145	5783	9,6	48	96	14	386	3,9	386	14	29	1,9	17	3,61	5,43	1219	94,97
108	48	14	96	575	96	3835	8,6	48	86	9	288	2,9	288	10	19	1,9	17	4,13	5,53	1342	94,75
109	47	17	142	664	142	4744	6,6	47	85	14	285	3,8	285	14	38	3,8	14	5,13	5,55	1270	83,17
110	47	17	171	664	142	5689	14,2	47	95	19	379	3,8	379	14	38	4,7	17	5,19	5,9	1286	79,16
111	47	9	189	663	142	5680	14,2	57	95	17	473	2,8	379	17	28	3,8	17	5,34	5,3	1284	94,84
<i>Статистика для почвы, хвои и семей потомства культур</i>																					
<i>n</i>	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	43	43	44
<i>x</i>	49,1	17,1	147,4	679,2	118,4	4987,4	11,3	54,4	96,6	17,2	356,6	4,20	341,1	16,2	33,7	4,32	15,6	5,6	6,2	1166,0	103,2
<i>s</i>	8,88	3,24	27,52	108,2	27,1	730,2	2,57	8,77	26,6	3,72	99,98	0,89	82,64	2,08	6,19	0,78	3,69	1,38	0,75	184,25	16,32
<i>V%</i>	18,1	18,9	18,7	15,9	22,9	14,6	22,7	16,1	27,5	21,6	28,0	21,3	24,2	12,9	18,4	18,0	23,7	24,5	12,2	15,8	15,8

* Данные по химическому составу почвы получены к.б.н. Л.В. Кувшиной в 2013 г.

Таблица 3

Органики в образцах почвы в испытательных культурах ели

Органические включения, %	2,1-3,0	3,1-4,0	4,1-5,0	5,1-6,0	6,1-8,0	8,1-10,0	10,1-12,3	Итого
Количество проб, шт.	8	26	31	26	11	5	4	111
Количество проб, %	7,2	23,4	27,9	23,4	9,9	4,5	3,6	100,0

Органики в почве – наиболее просто определяемый показатель, и было интересно выяснить, как она влияет на содержание ХЭ в хвое, а также на ее зольность в популяциях.

Для этого общая выборка семей была разделена на две части: одна для потомства из естественных популяций (56 образцов) и другая – для потомства из культур (55 образцов). Общая ведомость содержания микроэлементов приведена в табл. 1 и 2.

По этим данным мы выяснили, отличается ли почва вблизи деревьев из потомства культур (потомство К) от почвы вблизи потомства из естественных популяций (потомство Е). В конце упомянутых таблиц помещены статистики и их отношения, сравнение которых показало, что в целом отличия малы. Среднее содержание ХЭ в почве вблизи деревьев из потомства К, по отношению к их содержанию у потомства Е колебалось от 0,94 до 1,08 и в целом оказалось несколько ниже (0,987), а отношения вариаций ХЭ колебались от 0,75 до 1,41 и в целом оказались несколько выше (1,088). Различия оказались несущественны и мы приводим их, чтобы показать практически одинаковый микроэлементный состав почвы под обоими потомствами.

Далее, из 111 образцов почвы было проведено сравнение химического состава 90 образцов почвы и 90 образцов хвои, в т.ч. 47 из потомства естественных популяций и 43 – из культур. Оставшиеся образцы почвы (21 шт.) не имели соответствующей пары по хвое, так как на ее анализ не хватило

финансовых средств (эти образцы хвои пока не проанализированы и представляют группу семей-универсалов с быстрым ростом как в редких, так и в густых испытательных культурах).

Оказалось, что влияние по существу одинаковой по составу ХЭ почвы на химический состав хвои в сравниваемых потомствах были различны. Повышение органики в почве приводило к тому, что в потомстве естественных популяций зольность хвои снижалась, а в потомстве культур, наоборот, происходило ее повышение (рис. 2).

Разные тенденции «утяжеления» хвои зольным остатком выражаются в достоверных различиях ($t_{\phi} = 3,0 > t_{0,05} = 2,0$) между корреляциями для левого ($r = -0,250 \pm 0,137$) и для правого полей ($r = 0,334 \pm 0,135$).

Влияние органики в почве на сумму ХЭ в хвое оказалось несколько иным: в потомстве естественных популяций при увеличении органики в почве сумма ХЭ в хвое снижалась ($r = -0,42 \pm 0,12$), тогда как в потомстве культур этот показатель имел недостоверную связь с органикой ($r = -0,05 \pm 0,15$) и оставался практически на одном уровне, при достоверном различии между этими коэффициентами при $t_{\phi} = 1,91 > t_{0,10} = 1,66$ (рис. 3).

Несмотря на достоверные различия между рассмотренными четырьмя корреляциями, можно критически отнестись к трендам влияния органики на зольность и на содержание ХЭ в хвое, так как для органики кластер значений 8–12% представлен малым количеством образцов: 7 шт. для популя-

ций Е и 2 шт. для популяций К (рис. 2). Кроме того, различия между последней парой корреляций

были достоверны лишь при пониженном уровне статистических (при $t_{0.10} = 1.66$).

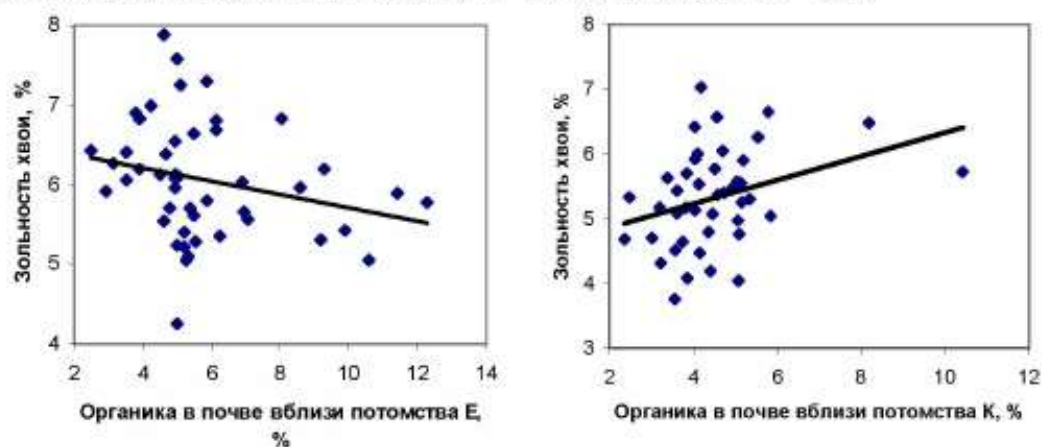


Рис. 2. Влияние содержания органики в почве вблизи деревьев на зольность хвои ели в потомстве естественных популяций (слева) и в потомстве культур (справа)

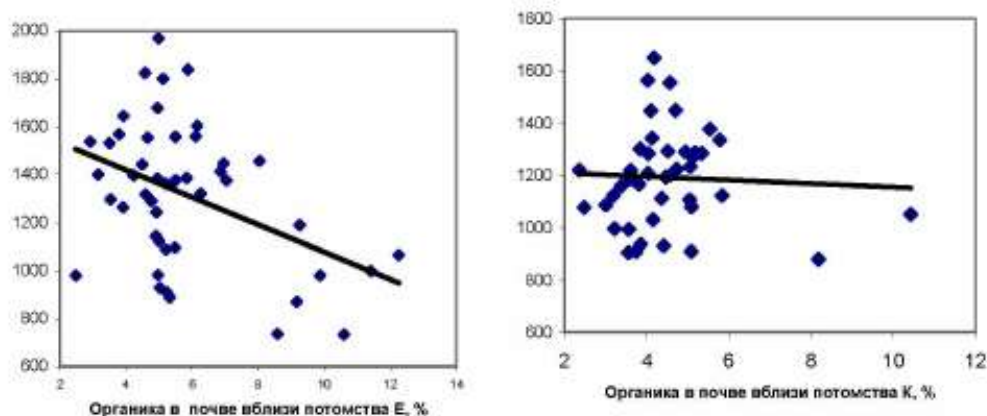


Рис. 3. Влияние содержания органики в почве вблизи деревьев на суммарное содержание микроэлементов в хвое в потомстве естественных популяций (слева) и в потомстве культур (справа)

Поэтому, не удовлетворившись этими четырьмя графиками, мы проанализировали еще и влияние суммы ХЭ в почве на сумму ХЭ в хвое, *предполагая* при этом, что с увеличением суммарного содержания ХЭ в почве их содержание в хвое также *должно увеличиваться*.

И вновь тренды связей оказались различны. В потомстве Е корреляция суммы ХЭ в почве с суммой ХЭ в хвое оказалась положительной и недостоверной ($r = 0.215 \pm 0.139$), а в потомстве К наоборот, она оказалась отрицательна ($r = -0.145 \pm 0.149$). Несмотря на недостоверность обеих корреляций, их разная направленность приводит к достоверным различиям между ними при $t_p = 1.76 > t_{0.10} = 1.66$. Если же выборки потомств Е и К объединить, то связь окажется в целом близка к нулю.

Таким образом, зольность и химический состав хвои дерева варьируют во многом самостоятельно, и они почти не связаны с вариацией химического

состава почвы вблизи растения, имеющей в целом по участку выравненный агрофон.

Коль скоро разнообразие почвы по органике и по сумме ХЭ вблизи деревьев слабо и не всегда, но все-таки влияет на сумму, и, вероятно, на состав ХЭ в хвое, то влияние это нужно как-то убрать, чтобы прояснить главные для нас моменты в селекции, а именно: как отдельные химические элементы в хвое, их сумма, а также зольность хвои влияют на рост отдельных семей и потомства в целом.

Для этого мы поступили самым простым образом – показатели каждого ХЭ в хвое дерева разделили на его значение в почве вблизи этого дерева. Для этого значение ХЭ в почве, полученное вблизи конкретного дерева, перевели в относительные величины и выразили их в долях единицы от среднего содержания элемента в выборке. Далее эти относительные величины ХЭ в хвое и их связь с рос-

том семей из потомства Е и К анализировали повторно.

Однако полученные по этим относительным значениям корреляции отличались от рассчитанных ранее несущественно. Не было обнаружено и достоверных корреляций между содержанием отдельных ХЭ в почве и в хвое, коррелируемых по отдельности. Убедившись окончательно, что химический состав субстрата вблизи деревьев не влияет на состав ХЭ в хвое, мы пришли к заключению, что изменчивость содержания химических элементов в хвое у отдельных семей практически не зависит от их содержания в почве.

3. Влияние содержания химических элементов в почве на рост потомства ели

Выше отмечалось, что почва вблизи деревьев не имела достоверных отличий по массе органики и по изучаемым элементам, т. е. почву под деревьями по этим характеристикам можно считать одинаковой. Эти две характеристики почвы (масса органики и сумма 17 элементов) изменчивы, и это может как-то повлиять на развитие деревьев, хотя на содержание ХЭ в их хвое почва практически не повлияла.

Органика в почве варьирует от 24,9% вблизи потомства культур и до 39,8% – в образцах, взятых вблизи потомства естественных популяций. Сумма ХЭ имеет одинаковую вариацию на уровне 12,5–12,6% (см. табл. 1 и 2). Мы проанализировали влияние этих показателей почвы на рост 90 семей, из которых 47 были из потомства естественных популяций и 43 – из потомства культур, которое оказалось следующим.

Корреляция органики в почве с высотой семей была недостоверна при $r = 0,19 \pm 0,14$ в потомстве Е и при $r = 0,07 \pm 0,15$ в потомстве К. Связь суммы 17 химических элементов почвы с высотой семей также оказалась недостоверна при $r = 0,08 \pm 0,15$ в потомстве Е и при $r = -0,19 \pm 0,15$ в потомстве К. По-видимому, для доказательства их влияния на рост ели нужны значительно большие колебания этих двух характеристик почвы, чем наблюдалось в нашем опыте. Вероятно, это влияние проявится, если почва вообще будет разной. Для нас же важно было доказать наличие или отсутствие влияния некоторых ее различий под деревьями на содержание химических элементов в хвое.

Можно также полагать следующее. Во-первых, почва на этой бывшей вырубке после развития на ней высаженных культур ели спустя 20 лет стала более или менее однородной; во-вторых, почва относится к одному типу (эдапот С₃), и колебания упомянутых ее характеристик (органики и суммы ХЭ) являются их естественной изменчивостью в пределах однородного биотопа, поэтому некоторые различия в составе почвы, имевшие место под от-

дельными деревьями, не повлияли на рост деревьев ели.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что различия в концентрациях химических элементов и в содержании органики в достаточно однородной почве вблизи деревьев в опытных культурах, относящихся к одному биотопу, имели естественную изменчивость и значимо на рост деревьев и на химический состав хвои у ели финской не повлияли.

Ранее [Рогозин, Разин, 2012] нами были обнаружены морфометрические отличия между родительскими естественными популяциями ели финской и ее культурами, которые характеризовали первые как более «сибирские», а вторые – как более «европейские» популяции этого естественного гибрида между елью сибирской и елью европейской. В данной работе выяснилось, что эти отличия имеют свое «химическое» продолжение в их потомствах, которые различаются по концентрациям химических элементов в хвое, а главное, имеют разную направленность трендов их накопления в хвое при разной устойчивости роста потомства. Они показывают, что в селекции ели имеется возможность эффективно использовать также и «химические» признаки (хемопризнаки), в частности, сочетание некоторых отдельных химических элементов и зольности хвои, изучение влияния которых уже выходит за пределы объемов данной статьи и будет рассмотрено нами в последующем.

Заключение

Программа выведения промышленного сорта ели финской основана на признании эпигенетического влияния материнских популяций, предусматривает обязательное научное сопровождение и массовые испытания потомства сотен семей. Только при таких условиях возможно обнаружение слабых связей, типичных для лесной селекции и необходимых для ее текущей корректировки. Отбор плюс-деревьев проводят в насаждениях-аналогах плантационных культур, т.е. точно в таких же условиях, в каких будут выращивать их потомство. Применяют ранние оценки в 4–8 лет и ступенчатые испытания потомства. Из потомства от 500–1000 деревьев выделяют ≈ 70 деревьев-кандидатов в сорт. Изучение содержания химических элементов в хвое показало, что конкурентный или светолубивый тип развития семьи определяют концентрации химических элементов в ней, и при отборе семей по некоторым параметрам их концентраций доля лучших семей повышается в 1,8–2 раза. Предложенная программа с учетом применения химического анализа хвои в 4–5 раз сокращает затраты и в 3 раза – сроки выведения сорта. Экспертная оценка стоимости программы на 10 лет

оценивается в 40–45 млн руб. на один лесосеменной район.

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

Библиографический список

- Ариунчикина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1962. 491 с.
- Видякин А.И. Эффективность плюсовой селекции древесных растений // Хвойные бореальной зоны. 2010. № 1-2. С. 18–24.
- Коренева И.А. Продуктивность ели в связи с морфологической изменчивостью вида в подзоне южной тайги: дис. ... к.с/х.н. Кострома, 2008. 125 с.
- Крутовский К.В. Геномные и эпигеномные механизмы адаптации лесных древесных видов // Сохранение лесных генетических ресурсов Сибири: материалы 4-го междунар. совещания. Барнаул, 2015. С. 93–94.
- Методы анализа минерального вещества, применяющиеся в центральной лаборатории ПО «Уралгеология». Свердловск, 1989. 81 с.
- Милютин Л.И. и др. Сравнительный анализ структуры популяций ели европейской (Беларусь) и ели сибирской (Средняя Сибирь) // Современное состояние, проблемы и перспективы лесовосстановления и лесоразведения на генетико-селекционной основе: материалы междунар. науч. конф. Гомель, 2009. С. 108–112.
- Нечаева Ю.С. и др. Анализ полиморфизма ДНК *Picea obovata* Ledeb. в Пермском крае // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. Н. Тагил, 2012. С. 93–96.
- Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с.; Т. 2. 376 с.
- Плантационное лесоводство / под ред. И.В. Шутова. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2007. 366 с.
- Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 199 с.
- Попов П.П. Ель европейская и ель сибирская. Новосибирск: Наука, 2005. 230 с.
- Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Журнал «Россия молодая», 1994. 367 с.
- Рогозин М.В. Селекция сосны обыкновенной для плантационного выращивания [Электронный ресурс]: монография. Пермь, ПГНИУ, 2013. 200 с. (2,02 Мб). URL: <http://elibrary.ru> (дата обращения: 20.11.13).
- Рогозин М.В., Жекина Н.В., Комаров С.С., Кувшинская Л.В. Микроэлементы хвой в потомстве культур и естественных популяций ели финской // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2014. Вып. 3. С. 44–50.
- Рогозин М.В., Разин Г.С. Лесные культуры Теплоуховых в имении Строгановых на Урале: история, законы развития, селекция ели. [Электронный ресурс]: Изд. второе. Пермь: ПГНИУ, 2012 – 210 с. (6,75 Мб). URL: <http://elibrary.ru> (дата обращения: 20.11.13).
- Рогозин М.В., Разин Г.С. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы [Электронный ресурс]: монография / под ред. М.В. Рогозина. Пермь, 2015. 277 с. (11 Мб). URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24420793> (дата обращения: 10.11.15).
- Рябокопъ А. П. Динамика сортиментной структуры сосновой древесины при различных режимах выращивания // Лесное хозяйство. 1990. № 2. С. 48–50.
- Туркин А.А. Испытание потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной на примере Республики Коми: дис. ... к.с/х.н. Сыктывкар, 2007. 144 с.

References

- Arinuschkina E.V. *Rukovodstvo gj chimičeskomu analizu počv* [Manual on chemical analysis of soils]. Moscow, MGU Publ., 1962. 491 p. (In Russ.).
- Vidyakin A.I. [The efficiency of plus selection of woody plants]. *Chvojnye boreal'noj zony*, 2010, N 1-2, pp. 18-24. (In Russ.).
- Korenev I.A. *Produktivnost' eli v svjazi s morfoloģičeskoj izmenčivost'ju vida v podzone južnoj tajgi* [The productivity of spruce in connection with the morphological variability of the species in the southern taiga subzone]. *Dis... kand. biol. nauk*. Kostroma, 2008. 125 p. (In Russ.).
- Krutovskij K.V. [Genomic and epigenetic mechanisms of adaptation of forest tree species]. *Sočranenie lesnyh genetičeskih resursov Sibiri: materialy 4-go meždunarodnogo soveščanija* [The conservation of forest genetic resources of Siberia: proceedings of the 4th international meeting]. Barnaul, 2015, pp. 93-94. (In Russ.).
- Metody analiza mineral'nogo veshhestva, primenajushiesja v central'noj laboratorii PO «Uralgeologija»* [Methods of analysis of minerals, used in the Central laboratory "Uralgeologija"]. Sverdlovsk, 1989. 81 p. (In Russ.).
- Miljutin L.I., Kravchenko A.N., Muratova E.N., Terent'ev V.I., Padutov V.E., Ivanovskaja S.I. [Comparative analysis of the structure of Norway spruce (Belarus) and Siberian spruce (Middle Siberia)] *Sovremennoe sostojanie, problemy i perspektivy lesovosstanovlenija i lesorazvedenija*

- na genetiko-selekcijnoj osnovе: Materialy meždunarodnoj naučnoj konferencii [Modern state, problems and prospects of reforestation and afforestation on genetic-selective basis]. Gornij, 2009, pp. 108-112. (In Russ.).
- Nechaeva Ju.S., Bel'tjukova N.N., Prishnivskaja Ja.V., Boronnikova S.V., Rogozin M.V. [Analysis of polymorphism of DNA of *Picea obovata* Ledeb. in the Perm region] *Biologičeskie sistemy: ustojčivost', principy i mehanizmy funkcionirovaniya. Materialy IV Vserossijskoj nauchno-praktičeskoj konferencii* [Biological systems: stability, principles and mechanisms of functioning]. N. Tagil, 2012, pp. 93-96. (In Russ.).
- Odum Ju. *Ėkologija* [Ecology]. Moscow, Mir Publ., 1986. V. 1, 328 p. V. 2, 376 p. (In Russ.).
- Shutov I.V., ed. *Plantacionnoe lesovodstvo* [Plantation forestry]. St. Petersburg, 2007. 366 p. (In Russ.).
- Pravdin L.F. *El' evropejskaja i el' sibirskaja v SSSR* [Norway spruce and Siberian spruce in the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 199 p. (In Russ.).
- Popov P.P. *El' evropejskaja i el' sibirskaja* [Norway spruce and Siberian spruce]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005. 230 s. (In Russ.).
- Rejmers N.F. *Ėkologija (teorii, zakony, pravila, principy i gipotezy)* [Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses)]. Moscow, Žurnal «Rossija molodaja» Publ., 1994. 367 p. (In Russ.).
- Rogozin M.V. *Selekcija sosny obyknovennoj dlja plantacionnogo viraščivaniya: monografija* [Breeding of Scots pine for plantation cultivation]. Perm', PGNIU Publ., 2013. 200 p. URL: <http://elibrary.ru> (In Russ.).
- Rogozin M.V., Zhekina N.V., Komarov S.S., Kuvshinskaja L.V. [Microelements needles in progeny of the culture and natural populations finnish spruce] *Vestnik Permskogo universiteta. Serija Biologija*, 2014, N 3, pp. 44-50. (In Russ.).
- Rogozin M.V., Razin G.S. *Lesnye kul'tury Teplouchovyh v imenii Stroganovyh na Urale: istorija, zakony razvitija, selekcija eli* [Teploukhov forest culture of the Stroganov estate in the Urals: history, laws of development, selection of spruce]: Perm': PGNIU Publ., 2012. 210 p. URL: <http://elibrary.ru> (In Russ.).
- Rogozin M.V., Razin G. S. *Razvitie drevostoev. Modeli, zakony, gipotezy* [The development of forest stands. Models, laws, hypothesis] Perm', PGNIU Publ., 2015. 277 p. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24420793> (In Russ.).
- Rjabokon' A.P. [The dynamics of the assortment structure of pine wood at different modes of cultivation]. *Lesnoe chozjajstvo*, 1990, N 2, pp. 48-50. (In Russ.).
- Turkin A.A. *Ispytanie potomstva pljusovyh derev'ev sosny obyknovennoj na primere Respubliki Komi* [Testing progeny of plus trees of Scots pine on the example of Republic of Komi]. *Dis., kand. agricultural nauk.*, Syktyvkar, 2007. 144 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 11.07.2016

Об авторе

Рогозин Михаил Владимирович, доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и генетики растений ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» 614990, Пермь, ул. Букирева, 15; rog-mikhail@yandex.ru; (342)2396233
ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией экологии леса
Естественнаучный институт ФГБОУВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» 614990, Пермь, ул. Генделя, 4; (342)2396722

About the author

Rogozin Mihail Vladimirovich, doctor of biology, professor of the Department of botany and genetic of plants
Perm State University. 15, Bukirev str., Perm, Russia. 614990; rog-mikhail@yandex.ru; (342)2396233
leading researcher, head of the laboratory of forest ecology
Natural Sciences Institute of Perm State University, 4 Genkel Str., Perm, Russia, 614990; (342)2396722