

УДК 630*165.3

ФЕНОТИПИЧЕСКИЙ ОТБОР В ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ¹

© 2019 г. А. Л. Федорков*

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 Россия

*E-mail: fedorkov@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 21.08.2017 г.

После доработки 18.06.2018 г.

Принята к публикации 05.06.2019 г.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с оценкой эффективности фенотипического отбора плюсовых деревьев в лесной селекции. Проанализированы отечественные и зарубежные работы, посвященные отбору по фенотипу, показаны причины различий в оценках его эффективности. На фактическом материале рассчитаны параметры, характеризующие генетическое улучшение по высоте и диаметру в результате фенотипического отбора плюсовых деревьев сосны в лесных культурах. На основе литературных и собственных данных сделан вывод о перспективности традиционной лесной селекции для повышения продуктивности и качества лесов.

Ключевые слова: испытательные культуры, отбор по фенотипу, плюсовые деревья.

DOI: 10.1134/S0024114819060032

В последнее десятилетие опубликованы работы, ставящие под сомнение эффективность фенотипического отбора в лесной селекции. В статье А.И. Видякина (2010) дан обзор отечественной литературы по испытанию плюсовых деревьев сосны и ели, отобранных по фенотипическим признакам и росту потомства в высоту. Обобщив собственные результаты и литературные данные, автор констатировал в целом крайне низкую эффективность фенотипического отбора. Литературные источники, свидетельствующие о низкой или даже отрицательной эффективности отбора плюсовых деревьев сосны и ели по фенотипу, приведены также в статье М.В. Рогозина (2013).

Поскольку отбор плюсовых деревьев по фенотипу является основным методом лесной селекции, это вызывает обоснованное беспокойство среди лесных селекционеров (Царёв, Лаур, 2006; Федорков, 2011). Важность этого вопроса побудила нас обратиться к современным исследованиям, выполненным в странах северной Европы с бореальным климатом.

Так, при исследовании серии испытательных культур (36 участков) в северной Швеции преимущество потомства плюсовых деревьев по росту в высоту над контролем в возрасте 9–13 лет составило 10% (Andersson et al., 2003). При по-

вторном изучении этой серии в возрасте 19–33 лет превышение по высоте составило 9.2%, диаметру – 5.4%, наиболее важному показателю продуктивности – объему ствола – 18.9% (Andersson et al., 2007). В южной Швеции превышение по запасу на 1 га в испытательных культурах 30-летнего возраста (5 участков) составило 12% по сравнению с контролем (Jansson, 2007). В южной и центральной Финляндии в серии испытательных культур (6 участков) превосходство потомств плюсовых деревьев над контрольным вариантом составило по высоте 7.7%, диаметру – 6.3% и объему ствола – 14.5% в возрасте 14–15 лет (Naaranen et al., 2016). Следует также упомянуть обзорную статью J. Cornelius (1994b) в которой по 24 литературным источникам для различных древесных пород рассчитано среднее превышение высоты потомств плюсовых деревьев над контролем, составившее 15%. Возникает вопрос о причинах различий в оценках эффективности фенотипического отбора.

А.И. Видякин (2010) основной причиной неэффективности фенотипического отбора считает крайне низкие значения аддитивной генетической вариации ростовых признаков древесных пород, указывая, что работы по ее определению единичны. Заметим, что определение аддитивной генетической вариации позволяет рассчитать коэффициент наследуемости в узком смысле h^2 , а затем и величину генетического улучшения (эффект селекции) (Царев и др., 2010). В этой связи следует упомянуть, что еще более 20 лет назад вышла другая обзорная статья J. Cornelius (1994a), в

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми научного центра УрО РАН “Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском северо-востоке России” (AAAA-A17-117122090014-8).

которой обобщены оценки наследуемости и аддитивной вариации ряда признаков хвойных пород, в основном сосен, опубликованные в 67 статьях. Также к причинам низкой эффективности фенотипического отбора А.И. Видякин (2010) относит взаимодействие “генотип × среда” и методические погрешности, включая подбор контрольного варианта. По мнению М.В. Рогозина (2013) основной причиной является значительная межпопуляционная изменчивость, вследствие чего в одних популяциях фенотипический отбор давал положительный результат, а в других — отрицательный.

На наш взгляд, одной, но не единственной причиной низкой эффективности фенотипического отбора плюсовых деревьев, показанной в упомянутых отечественных работах, являются отличия в категориях потомства плюсовых деревьев, участвующих в испытании. Так, шведские селекционеры используют потомства от контролируемых скрещиваний клонов плюсовых деревьев на лесосеменных плантациях (ЛСП) за счет опыления смесью пыльцы плюсовых деревьев (поликросс) (Andersson et al., 2003), а финские — семена клонов плюсовых деревьев от свободного опыления на ЛСП (Нааранен et al., 2016). Это означает, что и материнская, и отцовская формы представлены преимущественно фенотипически лучшими деревьями. В отечественных испытательных культурах представлены, как правило, семьи от свободного опыления непосредственно самих плюсовых деревьев (Видякин, 2010; Рогозин, 2013), т.е. “отцами” полусибсов являются случайные деревья.

Безусловно, следует упомянуть и то обстоятельство, что испытательные культуры в Швеции и Финляндии закладываются сериями и предусматривают, как правило, 10-кратную повторность вариантов. Это позволяет оценить взаимодействие “генотип × среда”. При этом в качестве контроля используются образцы семян как минимум из нескольких естественных “неулучшенных” насаждений, что позволяет учитывать межпопуляционную изменчивость (Andersson et al., 2003; Нааранен et al., 2016).

Не менее важен и порядок отбора плюсовых деревьев. По мнению А.П. Царёва и Н.В. Лаур (2006) в категорию плюсовых могут быть выделены деревья, фенотипическое превосходство которых обусловлено лучшими экологическими условиями. Действительно, при отборе плюсовых деревьев в естественных насаждениях, которые зачастую являются разновозрастными, к категории плюсовых могут быть отнесены деревья более старшего возраста по сравнению с окружающими или получившие какое-то преимущество на ранних этапах онтогенеза (микрповышение, отсутствие угнетения, большая площадь питания и др.).

Неслучайно с 1982 г. шведские селекционеры решили на отбор плюсовых деревьев в лесных культурах 20–40-летнего возраста, когда деревья имеют абсолютно одинаковый возраст и равномерно размещены по площади (одинаковая площадь питания), при этом качественные признаки ствола уже можно оценить (Lindgren et al., 2007).

Цель данной работы — провести пробный отбор кандидатов в плюсовые деревья в производственных культурах сосны и рассчитать параметры, характеризующие эффективность фенотипического отбора.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

В качестве объекта исследования выбраны 35-летние производственные культуры сосны обыкновенной площадью 1 га, созданные посадкой 2-летних сеянцев в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми. Для оценки основных таксационных показателей культур весной 2017 г. заложены 5 временных учетных площадок 10 × 10 м, размещенных по диагонали участка (Огиевский, Хиров, 1964). На площадках у всех деревьев сосны высотой более 1.3 м измеряли диаметры на высоте груди, а у 5 деревьев с наиболее представленными диаметрами — высоту. Незначительную примесь березы не учитывали. Затем провели сплошную подеревную селекционную инвентаризацию, отобрав дерево-лидер (кандидат в плюсовое дерево). К плюсовым относят прямоствольные, полноревесные, с хорошим очищением ствола от сучьев деревья, превышающие средние показатели насаждения по высоте не менее чем на 10% и по диаметру не менее чем на 30% (Правила ..., 2015). Генетическое улучшение (эффект селекции) рассчитывали по формуле (Царев и др., 2010):

$$\Delta G = Sh^2,$$

где S — селекционный дифференциал, т.е. разница между значением признака отобранного дерева и средним значением признака насаждения; h^2 коэффициент наследуемости в узком смысле.

Селекционный дифференциал может быть выражен в относительных единицах (процентах). В лесной генетике для расчета h^2 используются данные, полученные в специальных культурах, заложенных полусибсовыми или сибсовыми семьями. Коэффициент наследуемости является изменчивой величиной и применим, как правило, к тем селекционным популяциям, в которых он был получен (Царев и др., 2010). В данной работе мы использовали значения h^2 из обзорной статьи J. Cornelius (1994a) для высоты и диаметра стволов (0.28 и 0.23), соответственно, которые получены этим автором путем усреднения 90 значений (высота) и 60 значений (диаметр) для древесных пород из рода *Pinus*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным таксации средний диаметр культур — 12 см, средняя высота (по графику высот) — 13.7 м, густота — 4050 шт га⁻¹. Показатели дерева-лидера: высота — 18.5 м (135% от средней), диаметр — 19 см (154% от среднего). Генетическое улучшение составило по высоте 9.8%, по диаметру — 12.4% и в целом находится в пределах величин 10–25%, приведенных в литературе (Ahtikoski et al., 2012; Ruosalainen et al., 2014, и др.).

Лесная селекция — это долговременный циклический процесс, и фенотипический отбор плюсовых деревьев для закладки ЛСП 1-го порядка является лишь начальным его этапом. Срок эксплуатации рассматриваемых ЛСП составляет примерно 40 лет, многие из них уже подходят к предельному возрасту (Раевский, 2013). Если интенсивный фенотипический отбор плюсовых деревьев для новых ЛСП проводить в улучшенных культурах, созданных из семян, собранных на ЛСП 1-го порядка, то генетическое улучшение будет накапливаться, и в этом случае будет реализована классическая схема селекции: отбор—скрещивание—отбор. Это будут ЛСП 2-го цикла (их отличие от ЛСП 2-го порядка в том, что не требуется испытание плюсовых деревьев по потомству). При ограниченных финансовых ресурсах можно вести низкозатратную селекцию, т.е. закладку постоянных лесосеменных участков семенными потомствами плюсовых деревьев (Fedorkov et al., 2005; Федорков, 2013).

С точки зрения экономической эффективности лесной селекции основным положительным моментом является сокращение возраста рубки (Naaranen et al., 2015). В зависимости от условий произрастания, типа ЛСП и уровня фонового опыления оно может составить для сосны 4–17 лет (Naaranen et al., 2016) или 15–25 лет (Ahtikoski et al., 2013). Экономические исследования также показали, что селекционные программы характеризуются доходностью инвестиций при учетной ставке 2–4% (Jansson et al., 2017). В литературе также имеются данные о том, что фенотипический отбор плюсовых деревьев приводит к повышению качества ствола (Jansson et al., 2017). Не случайно лесная селекция, включая интродукцию экзотов, наряду с интенсивным ведением лесного хозяйства, лесоразведением и применением удобрений признана действенным способом повышения продуктивности лесов в Скандинавии и странах Балтии (Rytter et al., 2016).

Опыт создания быстрорастущих биотехнологических форм касается в основном лиственных пород, причём в очень молодом возрасте (Лебедев, Шестибратов, 2015). Полевые испытания быстрорастущих трансгенных деревьев тоже пока еще крайне редки (Лебедев и др., 2015). Детальный анализ возможностей применения достигнутых молекулярной генетики, геномики и биотех-

нологий в лесной селекции, проведенный шведскими лесными селекционерами показал, что в обозримом будущем традиционная селекция будет основным путем повышения продуктивности лесов, но новые генетические технологии, в частности, соматический эмбриогенез, могут быть перспективными (Andersson, Lindgren, 2011). К такому же выводу пришли и И.Н. Третьякова с соавт. (2015), показавшие перспективность соматического эмбриогенеза для получения высококачественных семян лиственницы в Сибири.

Заключение. Таким образом, анализ современной научной литературы и проведенное исследование свидетельствуют, что при правильной организации работ традиционная лесная селекция, основанная на фенотипическом отборе плюсовых деревьев, является эффективным способом повышения продуктивности и качества лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Видякин А.И., Эффективность плюсовой селекции древесных растений // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27. № 1–2. С. 18–24.
- Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Опыт создания биотехнологических форм древесных растений // Лесоведение. 2015. № 3. С. 222–232.
- Лебедев В.Г., Муратова С.А., Шестибратов К.А. Полевые испытания и коммерциализация биотехнологических форм лесных древесных растений // Лесоведение. 2015. № 5. С. 388–400.
- Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 50 с.
- Правила создания и выделения объектов лесного семеноводства (лесосеменных плантаций, постоянных лесосеменных участков и подобных объектов), утвержденные приказом Минприроды России от 20.10.2015 № 438 // Опубликован 17.02.2016 г. на официальном интернет-портале правовой информации. Документ предоставлен Консультант Плюс. Дата сохранения 09.01.2017. www.consultant.ru
- Раевский Б.В. Современное состояние и перспективы развития единого генетико-селекционного комплекса Карелии // Лесной журнал. 2013. № 8. С. 88–95. (Изв. высш. учебн. заведений).
- Рогозин М.В. Уроки истории лесной селекции // Лесное хозяйство. 2013. № 6. С. 20–23.
- Третьякова И.Н., Иваницкая А.С., Пак М.Э. Продуктивность эмбрионных клеточных линий и их соматическая изменчивость у лиственницы сибирской *in vitro* // Лесоведение. 2015. № 1. С. 27–35.
- Федорков А.Л. Пути повышения эффективности селекционных работ в таежной зоне европейской России // Лесное хозяйство. 2011. № 1. С. 24–25.
- Федорков А.Л. Низкозатратная селекция лесных древесных пород (на примере сосны обыкновенной) // Лесное хозяйство. 2013. № 2. С. 22–24.

- Царев А.П., Лаур Н.В.* Вопросы и проблемы плюсовой селекции // Лесной вестник. 2006. № 5. С. 118–123.
- Царев А.П., Погиба С.П., Лаур Н.В.* Генетика лесных древесных растений: учебник. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. 381 с.
- Ahtikoski A., Ojansuu R., Haapanen M., Hynynen J., Kärkkäinen K.* Financial performance of using genetically improved regeneration material of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland // New Forests. 2012. V. 43. № 3. P. 335–348.
- Ahtikoski A., Salminen H., Ojansuu R., Hynynen J., Kärkkäinen K., Haapanen M.* Optimizing stand management involving the effect of genetic gain: preliminary results for Scots pine in Finland // Canadian J. Forest Research. 2013. V. 43. № 3. P. 299–305.
- Andersson B., Lindgren D.* Molecular and other biotech methods – options for Swedish tree breeding (Review of the Swedish tree breeding programme). Uppsala: SkogForsk, 2011. P. 20–27.
- Andersson B., Elfving B., Persson T., Ericsson T., Kroon J.* Characteristics and development of improved *Pinus sylvestris* in northern Sweden // Canadian Journal of Forest Research. 2007. V. 37. № 1. P. 84–92.
- Andersson B., Elfving B., Ericsson T., Persson T., Gregorsson B.* Performance of improved *Pinus sylvestris* in northern Sweden // Scandinavian Journal of Forest Research. 2003. V. 18. № 3. P. 199–206.
- Cornelius J.* Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees // Canadian Journal of Forest Research. 1994a. V. 24. № 2. P. 372–379.
- Cornelius J.* The effectiveness of plus-tree selection for yield // Forest Ecology & Management. 1994b. V. 67. № 1–3. P. 23–34.
- Fedorkov A., Lindgren D., Davis A.* Genetic gain and gene diversity following thinning in a half-sib plantation // Silvae Genetica. 2005. V. 54. № 4–5. P. 185–189.
- Haapanen M., Hynynen J., Ruotsalainen S., Siipilehto J., Kilpeläinen M.-L.* Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in southern Finland // European J. Forest Research. 2016. V. 135. № 6. P. 997–1009.
- Haapanen M., Jansson G., Nielsen U.B., Steffenrem A., Stener L.-G.* The status of tree breeding and its potential for improving biomass production – a review of breeding activities and genetic gain in Scandinavia and Finland. Uppsala: SkogForsk, 2015. 55 p.
- Jansson G.* Gains from selecting *Pinus sylvestris* in northern Sweden for volume per hectare // Scandinavian Journal of Forest Research. 2007. V. 22. № 3. P. 185–192.
- Jansson G., Hansen J.K., Haapanen M., Kvaalen H., Steffenrem A.* The genetic and economic gains from forest tree breeding programmes in Scandinavia and Finland // Scandinavian J. Forest Research. 2017. V. 32. № 4. P. 273–286.
- Lindgren D., Karlsson B., Andersson B., Prescher F.* Swedish seed orchards for Scots pine and Norway spruce // Seed Orchard Conference, Umeå, Sweden, 26–28 September 2007. Umeå, 2007. P. 142–154.
- Ruotsalainen S.* Increased forest production through forest tree breeding // Scandinavian Journal of Forest Research. 2014. V. 29. № 4. P. 333–344.
- Rytter L., Ingerslev M., Kilpeläinen A., Torssonen P., Lazdina D., Löf M., Madsen P., Muiste P., Stener L.-G.* Increased forest biomass production in the Nordic and Baltic countries – a review on current and future opportunities // Silva Fennica. 2016. V. 50. № 5. Article id 1660. P. 1–33. <https://doi.org/10.14214/sf.1660>

Phenotypic Selection in Forest Breeding – Pro et Contra

A. L. Fedorkov*

Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kommunisticheskaya st. 28, Syktyvkar, 167982 Russia

*E-mail: fedorkov@ib.komisc.ru

Received 21 August 2017

Revised 18 June 2018

Accepted 5 June 2019

Here we review the issues of efficiency of phenotypic selection of plus trees in forest breeding. We analyzed Russian and foreign studies of phenotypic selection and found the reasons of different estimates of the efficiency of this approach. Parameters of genetic improvement of height and diameter resulting from phenotypic selection of plus trees of pine in forest plantations were calculated using evidence. Conclusions are made on the prospects of conventional forest selection in improvement of productivity of forests were made based on personal data and literature review.

Keywords: trial plantations, phenotypic selection, plus trees.

Acknowledgements: Study was accomplished in the framework of the State Assignment to the Institute of Biology of the Komi research center, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences “Spatiotemporal dynamics of the structure and productivity of phytocoenoses in forest and wetland ecosystems in Northeastern Europe” (AAAA-A17-117122090014-8).

REFERENCES

- Ahtikoski A., Ojansuu R., Haapanen M., Hynynen J., Kärkkäinen K., Financial performance of using genetically improved regeneration material of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland, *New Forests*, 2012, Vol. 43, No. 3, pp. 335–348.
- Ahtikoski A., Salminen H., Ojansuu R., Hynynen J., Kärkkäinen K., Haapanen M., Optimizing stand management involving the effect of genetic gain: preliminary results for Scots pine in Finland, *Canadian Journal of Forest Research*, 2013, Vol. 43, No. 3, pp. 299–305.
- Andersson B., Elfving B., Ericsson T., Persson T., Gregorsson B., Performance of improved *Pinus sylvestris* in northern Sweden, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2003, Vol. 18, No. 3, pp. 199–206.
- Andersson B., Elfving B., Persson T., Ericsson T., Kroon J., Characteristics and development of improved *Pinus sylvestris* in northern Sweden, *Canadian Journal of Forest Research*, 2007, Vol. 37, No. 1, pp. 84–92.
- Andersson B., Lindgren D., Molecular and other biotech methods – options for Swedish tree breeding, In: *Review of the Swedish tree breeding programme* Uppsala: SkogForsk, 2011, pp. 20–27 (84 p.).
- Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noi vlasti*, 2016, 28 March.
- Cornelius J., The effectiveness of plus-tree selection for yield, *Forest Ecology and Management*, 1994, Vol. 67, No. 1, pp. 23–34.
- Cornelius J., Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees, *Canadian Journal of Forest Research*, 1994, Vol. 24, No. 2, pp. 372–379.
- Fedorov A., Lindgren D., David A., Genetic gain and gene diversity following thinning in a half-sib plantation, *Silvae Genetica*, 2005, Vol. 54, No. 4–5, pp. 185–189.
- Fedorov A.L., Nizkozatratnaya selektsiya lesnykh drevesnykh porod (na primere sosny obyknovennoi) (Low-cost selection of forest tree species: case study of Scots pine), *Lesnoe khozyaistvo*, 2013, No. 2, pp. 22–24.
- Fedorov A.L., Puti povysheniya effektivnosti selektsionnykh rabot v taezhnoi zone Evropeiskoi Rossii (Ways of improvement of breeding in taiga zone of the European part of Russia), *Lesnoe khozyaistvo*, 2011, No. 1, pp. 24–25.
- Haapanen M., Hynynen J., Ruotsalainen S., Siipilehto J., Kilpeläinen M.-L., Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in southern Finland, *European J. Forest Research*, 2016, Vol. 135, No. 6, pp. 997–1009.
- Haapanen M., Jansson G., Nielsen U.B., Steffenrem A., Stener L.-G., *The status of tree breeding and its potential for improving biomass production – a review of breeding activities and genetic gains in Scandinavia and Finland*, Uppsala: SkogForsk, 2015, 55 p.
- Jansson G., Gains from selecting *Pinus sylvestris* in southern Sweden for volume per hectare, *Scandinavian J. Forest Research*, 2007, Vol. 22, No. 3, pp. 185–192.
- Jansson G., Hansen J.K., Haapanen M., Kvaalen H., Steffenrem A., The genetic and economic gains from forest tree breeding programmes in Scandinavia and Finland, *Scandinavian J. Forest Research*, 2017, Vol. 32, No. 4, pp. 273–286.
- Lebedev V.G., Muratova S.A., Shestibratov K.A., Polevye ispytaniya i kommersializatsiya biotekhnologicheskikh form lesnykh drevesnykh rastenii (The field trials and the commercialization of biotech forms of the forest woody plants), *Lesovedenie*, 2015, No. 5, pp. 388–400.
- Lebedev V.G., Shestibratov K.A., Opyt sozdaniya biotekhnologicheskikh form drevesnykh rastenii (Creation of biotechnological forms of woody plants), *Lesovedenie*, 2015, No. 3, pp. 222–232.
- Lindgren D., Karlsson B., Andersson B., Prescher F., The Swedish seed orchard program for Scots pine and Norway spruce, *Seed orchards*, Proc. Conf., Umeå, 26–28 September 2007, Umeå: SLU, 2008, pp. 142–154.
- Ogievskii V.V., Khirov V.V., *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* (Survey and study of forest plantations), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1964, 50 p.
- Raevskii B.V., Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya edinogo genetiko-selektsionnogo kompleksa Karelii (Current state and prospects of the single genetic and selection complex of Karelia), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 2013, No. 5, pp. 88–95.
- Rogozin M.V., Uroki istorii lesnoi selektsii (Lessons from the history of forest breeding), *Lesnoe khozyaistvo*, 2013, No. 6, pp. 20–23.
- Ruotsalainen S., Increased forest production through forest tree breeding, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2014, Vol. 29, No. 4, pp. 333–344.
- Rytter L., Ingerslev M., Kilpeläinen A., Torssonen P., Lazdina D., Löf M., Madsen P., Muiste P., Stener L.-G., Increased forest biomass production in the Nordic and Baltic countries – a review on current and future opportunities, *Silva Fennica*, 2016, Vol. 50, No. 5, Article 1660, <https://doi.org/10.14214/sf.1660>.
- Tretiakova I.N., Ivanitskaya A.S., Park M.E., Produktivnost' embriogennykh kletochnykh linii i ikh somaklonal'naya izmenchivost' u listvennitsy sibirskoi *in vitro* (*In vitro* productivity and somaclonal variability of embryogenic cell lines of Siberian larch), *Lesovedenie*, 2015, No. 1, pp. 27–35.
- Tsarev A.P., Laur N.V., Voprosy i problemy plyusovoi selektsii (Issues and challenges of plus selection), *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoi vestnik*, 2006, No. 5, pp. 118–123.
- Tsarev A.P., Pogiba S.P., Laur N.V., *Genetika lesnykh drevesnykh rastenii* (Genetics of forest wooden plants), Moscow: Izd-vo MGUL, 2010, 385 p.
- Vydyakin A.I., Effektivnost' plyusovoi selektsii drevesnykh rastenii (Efficiency of plus selection of trees), *Khvoynye boreal'noi zony*, 2010, V. 27, No. 1–2, pp. 18–24.