

УДК 632:633

**К ВОПРОСАМ ВНЕДРЕНИЯ ГМО ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РЕЗИСТЕНТНЫХ
ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ**
TO THE QUESTIONS OF USING GMO IN THE CULTIVATION OF RESISTANT AND
HIGHLY PRODUCTIVE TREE PLANTATIONS

**Авдеев Ю.М.^{1,2}, Глинушкин А.П.^{1,2*}, Машенков А.М.², Подковыров И.Ю.¹,
Сениговец М.Е.¹, Хамитова С.М.¹, Таранда Н.И.³, Машенков М.И.², Умнов А.М.¹,
Картабаева Б.Б.¹, Молнар Я.¹, Старцев В.И.¹, Соколов М.С.¹**, научные сотрудники
Avdeev Y.M., Glinushkin A.P., Mashenkov A.M., Podkovyrov I.Y., Senigovech M.E.,
Hamitova S.M., Taranda N.I., Mashenkov M.I., Umnov A.M., Kartabaeva B.B., Molnar Y.,
Startsev V.I., Sokolov M.S., Researchers

¹ФГБНУ ВНИИ фитопатологии, Московская область, Россия
All Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow Region, Russia

²ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ, Оренбург, Россия
Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

**³УО «Гродненский государственный аграрный университет», Гродно,
Республика Беларусь**
Grodno State Agrarian University, Grodno, Republic of Belarus

*E-mail: glinale@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Вопросы опасности или безопасности ГМО в современной биологической и экологической науке прямых ответов не имеют. Получение утвердительных ответов устроит всех участников процесса возможно на базе лишь экспериментальных исследований, в том числе из-за повышенных экологических рисков, связанных с недостаточным знанием о последствиях использования и поведения экспериментальных объектов. В подобных случаях используются методы математического моделирования. К таким задачам относится, например, прогноз экологических изменений в состоянии окружающей среды при внедрении в природные экосистемы биотехнологических объектов с новыми свойствами, например, при создании лесных плантаций на основе генно-модифицированных форм деревьев. В настоящее время в лесном секторе России методы биотехнологии используются для выращивания посадочного материала, производства биологических средств защиты лесов, создания новых форм древесных растений с заданными признаками, в том числе с применением методов геной инженерии, для повышения эффективности селекционной работы с помощью методов молекулярного маркирования, сохранения генетических ресурсов с использованием криобанков и банков депонирования растительного материала *in vitro*, генетической паспортизации и сертификации семян, оценки законности происхождения срубленной древесины и т.д.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Резистентность, ГМО, древесные культуры, патогенные и условно-патогенные организмы, рост производства, рентабельность, орошение, потенциальная продуктивность растений, адаптация вредных организмов.

Ежегодное сокращение площади лесов Земли при неуклонно возрастающих (до 20% в десятилетие) мировых потребностях в древесине [1-5], делают актуальной задачу компенсации потерь от сведения лесов и получения необходимого объема древесины за счет создания промышленных лесных плантаций. Как правило, в таких плантациях, заложенных на основе интенсивного лесовыращивания с коротким оборотом рубки, используются быстрорастущие древесные виды [6–9]. При этом существуют две возможности: а) использовать селекционный отбор быстро растущих

особей в популяциях традиционных лесообразующих пород, и б) использовать генетически-модифицированные особи с улучшенными ростовыми характеристиками и, по возможности, с определенными качествами древесины (соотношением в ней лигнина, целлюлозы и других ассимилятов). Так как селекционный отбор деревьев требует длительного времени (до нескольких поколений), то генетическая модификация лесообразующих пород с целью получения устойчивых генотипов с нужными свойствами может быть более предпочтительной. Такие работы успешно ведутся в ряде стран [10–15].

В настоящее время в России имеется обширная литература, в которой также изложены основные принципы и методы биотехнологии древесных пород [15, 16], обсуждаются перспективы применения биотехнологий в лесном хозяйстве [17-27].

Особый интерес вызывает метод генетической трансформации растений с целью модификации различных сегментов метаболизма (обмен азота, биосинтез лигнинов, целлюлозы и гемицеллюлозы, а также скорость создания продукции древесины). Данный метод позволяет не только направленно интенсифицировать или ингибировать определенные метаболические пути растений, но и вызывать синтез новых метаболитов, не характерных для данного биологического объекта [29].

Отмеченные выше возможные дифференциации ставят вопрос об экологических последствиях внедрения в природную среду модифицированных особей с новыми параметрами устойчивости и созданных на их базе лесных плантаций.

Рассмотрим, как изменения в ростовых процессах модифицированных растений и особенности их химического состава могут повлиять на биогенный цикл круговорота углерода и азота в лесных экосистемах. Важность этого вопроса связана с тем, что в ходе роста лесов и их промышленных рубок происходит вынос с древесиной биофильных элементов. При этом, если суммарный экосистемный пул углерода впоследствии пополняется за счет связывания углерода в результате фотосинтеза, то общие запасы и пул доступного растениям почвенного азота (который, как правило, лимитирован в бореальных и умеренных лесах) при неправильном лесопользовании могут дополнительно сократиться. Это требует научно-обоснованных рекомендаций по применению удобрений при создании лесных плантаций [30].

Создание лесных плантаций на основе быстрорастущих форм деревьев, ориентированных на изъятие большей части образуемой древесной биомассы при коротких оборотах рубки, существенно трансформирует цикл углерода в лесных экосистемах. Это связано с дисбалансом потоков углерода в деструкционном звене углеродного цикла, когда ежегодное поступление растительных остатков с опадом в молодых древостоях не компенсирует интенсивность процессов минерализации. Результаты проведенного модельного эксперимента подтверждают это положение, несмотря на то, что исследуемые модельные лесные плантации – это осиновые древостои на месте ельников, т.е. в почву ежегодно помимо тонких корней поступает и весь образующийся в период вегетации лиственный опад [30].

При анализе продуктивности плантаций быстро растущих деревьев часто применяется математическое моделирование. Например, модель продуктивности древостоев 3PG для предсказания потенциальной продуктивности в посадках эвкалиптов в Австралии при различных возможных изменениях окружающей среды и разных лесохозяйственных приемах ухода за лесом. С помощью модели 3PG была показана возможность прогноза реакции древостоев на упомянутые изменения, в особенности при очень коротких оборотах рубки (5-7 лет). Аналогичные исследования с использованием той же модели, но с более детальным учетом водного режима и гидрологических свойств почвы, были проведены в работе [31, 32, 33].

В работе [34] впервые рассматривается круговорот углерода в быстрорастущих плантациях разных видов эвкалипта и сосны в Южной Европе в целях оценки эффектов различных методов ухода за лесом, и с учетом возможных изменений климата, характерных для этой природно-климатической зоны. В работе рассматривается динамика углерода в биомассе растительности, древесине и почве, в первую очередь, с акцентом на задачи создания сырья для биотоплива и поддержания

почвенного плодородия. Для описания продуктивности древостоев в данной работе использовалась хорошо известная модель CO2Fix, динамика углерода в почве описывалась с помощью модели YASSO [35]. Выполненные модельные оценки показали, что частые сплошные рубки плантаций ведут к уменьшению запасов углерода в почве. Одновременно делается вывод, что, так как продукция лесных плантаций используется для создания биотоплива, то общий сток углерода повышается. Нужно отметить, что авторами не анализируется динамика азота, который является главным индикатором почвенного богатства. Это связано с тем, что обе использованные модели описывают только динамику углерода.

Важно отметить, что модельный прогнозный анализ изменения круговоротов азота и углерода в лесных экосистемах Северной Евразии при внедрении трансгенных растений, обладающих измененными ростовыми свойствами и составом тканей, не проводился. Рассмотрим особенности биологического круговорота и динамики органического вещества почвы и азота при создании лесных плантаций на основе трансгенных форм деревьев с помощью разработанной в России модели EFIMOD и ее последующей модификации. Эта модель, ориентирована на структуру входных данных, которые могут быть получены из материалов российской лесной таксации и почвенных исследований в лесных экосистемах. Сравнительный анализ запасов органического вещества и общего азота в органических и минеральных горизонтах почвы под модельными плантациями, созданными на основе биотехнологических форм деревьев, планомерно выполняются на примере клонов осины [36].

Главные изменения в рассматриваемых трансгенных формах осины связаны с увеличением скорости прироста фитомассы (нетто биологической продуктивности); ее перераспределением между органами растений; повышенной ассимиляцией соединений азота из почвы. Эти характеристики трансгенных форм деревьев влияют на качественный и количественный состав растительного опада, поступающего в лесные почвы [37].

Полученные результаты согласуются с имеющимися представлениями о характере влияния плантационного лесовыращивания на почвенное плодородие.

В настоящее время в лесном хозяйстве России методы биотехнологии используются для выращивания посадочного материала, производства биологических средств защиты лесов, создания новых форм древесных растений с заданными признаками. Наиболее широкое применение нашли методы клонального микроразмножения растений (включая соматический эмбриогенез) для ускоренного использования селекционных достижений на основе производства высококачественного посадочного материала для создания лесосырьевых плантаций. Работы по культуре *in vitro* листовых пород родов *Populus*, *Betula*, *Pinus*, *Salix* и *Fraxinus* ведутся достаточно давно и интенсивно. Принимая во внимание результаты многолетних исследований российских ученых по культуре *in vitro* осины, гибридных тополей, различных видов березы, триплоидной осины и различных клонов березы, ясеня и ив, можно прогнозировать успешное внедрение этих пород в практику плантационного лесовыращивания [38-44].

В лесоводстве значительный интерес направлен на гены, контролирующие развитие древесных волокон, поскольку их микроструктура во многом определяет коммерческую стоимость древесины. Известно, что параметром, определяющим механическую прочность древесины и предел прочности бумаги на разрыв, является угол ориентации целлюлозных микрофибрилл в клеточной стенке древесных волокон. Знание биосинтеза клеточных стенок также полезно для понимания процессов сжатия-растяжения древесины [45,46]. Данные факторы имеют непосредственное отношение к устойчивости древостоев, а также к качеству древесины, используемой для лесопиления и в целлюлозно-бумажной промышленности. В настоящее время идентифицированы гены, контролирующие синтез составных частей клеточных стенок целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Например, гены синтеза целлюлозы клонированы для осины [47], тополя [48] и сосны лучистой [49].

Итак, в большинстве случаев биотехнология в лесном хозяйстве используется в целях расширения сельскохозяйственных инноваций: например, устойчивость древесных видов к гербицидам. Безусловна польза биотехнологии и для окружающей среды: Древесина ГМО заменяет древесину из естественных лесов, она значительно дешевле. Генной трансформации подвергаются деревья, в частности, для того, чтобы заселять непригодные для роста места (засоленные почвы, засушливые условия и т.д.). Разрабатываются холодоустойчивые виды деревьев. При помощи деревьев ГМО можно значительно снизить рубки в естественных лесах [50-53].

Несмотря на то, что получены достаточно хорошие показатели в различных направлениях лесной биотехнологии, их широкое применение в лесной комплекс не отмечается, за исключением использования ДНК-маркеров для создания паспортов ЛСП и процесса сертификации семенного материала хвойных древесных пород. Научные разработки в данном направлении имели место в цепочке до поиска рыночных механизмов сбыта научно-технического продукта. На выходе научно-технический продукт не был ориентирован на решение конкретных проблем потребителя, поэтому необходимо формирование чётких и сбалансированных маркетинговых решений для продвижения полученных результатов на рынок. Однако следует учесть и возможности изменения патогенной и условно-патогенной флоры, эти модели еще предстоит строить. Имитационные исследования можно подтверждать реперными показателями с территорий, где коммерчески стали применять ГМО лесоматериальные или биотопливные плантации. Как модели возможны для применения результаты внедрения технических ГМО культур (хлопка - Индия) и ряда других культур. Развитие модельного прогнозирования, исследований популяционного характера, рисков возникновения эпифитотий, эпизоотий организмов, адаптировавшихся к ГМО, позволит фундаментально избежать просчетов допущенных в следствии решения конкретных проблем потребителя (как возможной поспешной коммерциализацией).

Необходимость применения биотехнологий в лесном секторе очевидна и отражается в получении более дешёвой и лёгкой в переработке древесины с коротким оборотом рубки при плантационном лесовыращивании.

Однако, применение биотехнологических приёмов актуализирует вопросы биологической безопасности и воздействия трансгенных форм растительных организмов на естественную биогеоэкологическую ситуацию, особенно в вопросе генетического метаболизма между генетически модифицированными и дикорастущими особями. На начало 2016 года в данном вопросе нет чёткой убедительности и понимания прогнозирования возможных рисков.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Robock A., Oman L., Stenchikov G.L., Toon O.B., Bardeen C., Turco R.P. Climatic consequences of regional nuclear conflicts. *Atmospheric Chemistry & Physics*. 2007. V. 7. P. 2003–2012. doi: 10.5194/acp-7-2003-2007.
2. Математические модели экосистем. Экологические и демографические последствия ядерной войны. Под ред. Дородницына А.А. М.: Наука, 1986. 176 с.
3. Жигунов А.В. Применение биотехнологий в лесном хозяйстве России «Лесной журнал». 2013. № 2 <http://lesnoizhurnal.agtu.ru/upload/iblock/6c3/lh2.pdf>
4. Boerjan W. Biotechnology and the domestication of forest trees. *Current Opinion in Biotechnology*. 2005. V. 16. P. 159–166. doi: 10.1016/j.copbio.2005.03.003.
5. Wimp G.M., Young W.P., Woolbright S.A., Keim P., Whitham T.G. Conserving plant genetic diversity for dependent animal communities. *Ecology Letters*. 2004. V. 7. P. 776–780. doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00635.x.
6. Fang S., Xu X., Lu S., Tang L. Growth dynamics and biomass production in short-rotation poplar plantations: 6-year results for three clones at four spacings. *Biomass & Bioenergy*. 1999. V. 17. P. 415–425. doi: 10.1016/S0961-9534(99)00060-4.

7. Шутов И.В., Маслаков Е.Л., Маркова И.А. Лесные плантации: ускоренное выращивание ели и сосны. М.: Лесная промышленность, 1984. 246 с.
8. Larocque G.R. Performance and morphological response of the hybrid poplar DN-74 (*Populus deltoides* x *nigra*) under different spacings on a 4-year rotation. *Annals of Forest Science*. 1999. V. 56. P. 275–287. doi: 10.1051/forest:19990402.
9. Mamashita T., Larocque G.R., DesRochers A., Beaulieu J., Thomas B.R. Mosseler A., Major J., Sidders D. Short-term growth and morphological responses to nitrogen availability and plant density in hybrid poplars and willows. *Biomass & Bioenergy*. 2015. V. 81 P. 88–97. doi: 10.1016/j.biombioe.2015.06.003.
10. Pilate G., Guiney E., Holt K., Petit-Conil M., Lapierre C., Leple J.C., Pollet B., Mila I., Webster E.A., Marstorp H., Hopkins D.W., Louanin L., Boerjan W., Schuch W., Cornu D., Halpin C. Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignification. *Nature Biotechnology*. 2002. V. 20. P. 607–612. doi: 10.1038/nbt0602-607.
11. Park Y.W., Baba K., Furutab Y., Iidab I., Sameshimac K., Araid M., Hayashi T. Enhancement of growth and cellulose accumulation by overexpression of xyloglucanase in poplar. *FEBS Letters*. 2004. V. 564. P. 183–187.
12. Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Опыт создания биотехнологических форм древесных растений. *Лесоведение*. 2015. № 3. С. 222–232.
13. Комаров А.С., Чертов О.Г., Быховец С.С., Припутина И.В., Шанин В.Н., Видягина Е.О., Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Воздействие осинового плантации с коротким оборотом рубки на биологический круговорот углерода и азота в лесах бореальной зоны: модельный эксперимент *Математическая биология и биоинформатика* 2015. Т. 10. № 2. С. 398–415
14. Лебедев В.Г., Шестибратов К.А., Шадрин Т.Е., Булатова И.В., Абрамочкин Д.Г., Мирошников А.И. Котрансформация осины и березы тремя областями T-ДНК, находящимися на двух различных репликациях в одном штамме *Agrobacterium tumefaciens*. *Генетика*. 2010. Т. 46. № 11. С. 1458–1466.
15. Шестибратов К.А., Подрезов А.С., Салмова М.А., Ковалицкая Ю.А., Видягина Е.О., Логинов Д.С., Королева О.В., Мирошников А.И. Фенотипическое проявление экспрессии гена ксиланглюканазы из *Penicillium canescens* в трансгенных растениях осины. *Физиология растений*. 2012. Т. 59. № 5. С. 668–676.
16. Калашникова Е.А., Родин А.Р. Получение посадочного материала древесных, цветочных и травянистых растений с использованием методов клеточной и генной инженерии: учеб. пособие. Изд. 2, испр. и доп. М.:МГУЛ, 2001. 73 с.
17. Лутова Л.А. Биотехнология высших растений: учеб. СПб.: СПбГУ, 2010. 240 с.
18. Адаптация регенерантов ели европейской к условиям *ex vitro*/ Шабунин Д.А. [и др.] // *Тр. СПбНИИЛХ*. 2010. № 1(21). С. 120–135.
19. Бондаренко А.С., Жигунов А.В., Шабунин Д.А. Перспективы применения биотехнологий в лесном хозяйстве // *Биотехнологии и вызовы времени: сб. материалов выставки-конференции*. СПб.: Ленэкспо, 2011. С. 77.
20. Ветчинникова Л.В. Карельская береза в Карелии: ресурсы и воспроизводство// *Материалы VI Московского междунар. конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития»*. Ч. 1 (Москва, 21–25 марта, 2011 г.). М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. С. 28–287.
21. Перспективы микроклонального размножения хвойных в культуре *in vitro* через соматический эмбриогенез / Третьякова И.Н. [и др.] // *Хвойные бореальной зоны*. 2012. № 1-2. С. 180–186.
22. Ускорение микропобегов ели европейской в условиях *in vitro* и *ex vitro* / Шестибратов К.А. [и др.] // *Тр. СПбНИИЛХ*. 2009. № 3(20). С. 152 –170.
23. Шабунин Д.А. Перспективы микроклонального размножения лиственных пород для плантационного лесовыращивания // *Тр. СПбНИИЛХ*. 2011. Ч. 1, № 1(24). С. 49–55.
24. Шестибратов К.А., Лебедев В.Г., Мирошников А.И. Лесная биотехнология: методы, технологии, перспективы // *Биотехнология*. 2008. № 5. С. 3–22.
25. Russell H. *Biotechnology in Forest Tree Improvement* // *FAO, Rome, forthcoming*.

26. Strauss S.H., Lande R., Namkoong G. Limitations of molecular-marker-aided selection in forest tree breeding // *Can. For. Res.* 1992. N 22. P. 1050–1061.
27. Trotter P. *Biotechnology in the Pulp and Paper Industry: a Review*. P. 1: Tree Improvement, Pulping and Bleaching, and Dissolving Pulp Applications // *Tappi Journal*. 1990. N 73(4), April.
28. Создание древесных растений для Байкальского региона, обладающих усиленным ростом и повышенной устойчивостью к повреждающим факторам / Саляев Р.К. [и др.] // *Сибирский экологический журнал*. 1999. № 6. С. 605–611.
29. Schestibratov K., Lebedev V., Podrezov A., Salmova M. Transgenic aspen and birch trees for Russian plantation forests. *BMC Proceedings*. 2011. V. 5. Suppl. 7. P. 124. doi: 10.1186/1753-6561-5-S7-P124.
30. Almeida A.C., Landsberg J.J., Sands P.J., Ambrogi M.S., Fonseca S., Barddal S.M., Bertolucci F.L. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in Eucalyptus plantations. *Forest Ecology & Management*. 2004. V. 193. № 1–2. P. 167–177. doi: 10.1016/j.foreco.2004.01.044.
31. Landsberg J.J., Waring R.H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology & Management*. 1997. V. 95. P. 209–228. doi: 10.1016/S0378-1127(97)00026-1.
32. Stape J.L., Ryan M.G., Binkley D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of Eucalyptus grandis x urophylla with natural and manipulated supplies of water and nutrients. *Forest Ecology & Management*. 2004. V. 193. № 1–2. P. 219–234. doi: 10.1016/j.foreco.2004.01.031.
33. Perez-Cruzado C., Mohren G.M.J., Merino A., Rodriguez-Soalleiro R. Carbon balance for different management practices for fast growing tree species planted on former pastureland in southern Europe: A case study using the CO2Fix model. *European J. of Forest Research*. 2012. V. 131. № 6. P. 1695–1716. doi: 10.1007/s10342-012-0609-6.
34. Mohren G.M.J., Garza Caligaris J.F., Masera O., Kanninen M., Karjalainen T., Pussinen A., Nabuurs G.J. CO2FIX for Windows: a dynamic model of the CO₂-fixation in forests; Version 1.2: IBN Research Report 99/3. 1999. URL: http://dataservices.efi.int/casfor/downloads/co2fix1_2_manual.pdf (дата обращения: 23.07.2015).
35. Liski J., Palosuo T., Peltoniemi M., Sievanen R. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling*. 2005. V. 189. P. 168–182. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.005.
36. Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L., Nadporozhskaya M.A., Mikhailov A.V., Bykhovets S.S., Zudina E.V., Zoubkova E.V. EFIMOD 2 – a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems. *Ecological Modelling*. 2003. V. 70. P. 373–392. doi: 10.1016/S0304-3800(03)00240-0
37. Rytter L., Stener L.G. Productivity and thinning effects in hybrid aspen (*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx.) stands in southern Sweden. *Forestry*. 2003. V. 78. P. 285–294. doi: 10.1093/forestry/cpi026.
38. Жигунов А.В., Шабунин Д.А., Антонов О.И. Однородность клонированных растений в лесных культурах // *Материалы VI Московского междунар. конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития»*. Ч. 1 (Москва, 21–25 марта, 2011 г.). М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. С. 285–286.
39. Шабунин Д.А. Перспективы микроклонального размножения лиственных пород для плантационного лесовыращивания // *Тр. СПбНИИЛХ*. 2011. Ч. 1, № 1(24). С. 49–55.
40. ЗБондаренко А.С., Жигунов А.В., Шабунин Д.А. Перспективы применения биотехнологий в лесном хозяйстве // *Биотехнологии и вызовы времени: сб. материалов выставки-конференции*. СПб.: Ленэкспо, 2011. С. 77.
41. Методы клонального микроразмножения различных видов и гибридов ивы / Машкина О.С. [и др.] // *Биотехнология*. 2010. № 1. С. 51–59.

42. Выращивание саженцев триплоидной осины из регенерантов, полученных по технологии *in vitro* / Бовичева Н.А. [и др.] // Тр. СПбНИИЛХ. 2006. № 3(16). С. 68–76.
43. Рост триплоидной осины в лесных культурах, созданных посадочным материалом, полученным по технологии *in vitro* / Жигунов А.В. [и др.] // Тр. СПбНИИЛХ. 2009. № 1(18). С. 143–152.
44. Кравченко А.Н., Экарт А.К., Ларионова А.Я. Аллозимное разнообразие и дифференциация популяций ели сибирской в западном Забайкалье и Монголии // Хвойные бореальной зоны. 2012. № 1-2. С. 97 – 101.
45. Large-scale statistical analysis of secondary xylem ESTs in pine / Pavy N. [et al.] // Plant Mol. Biol. 2005. N 57. P. 203–224.
46. Nairn C.J., Haselkorn T. Three loblolly pine *CesA* genes expressed in developing xylem are orthologous to secondary cell wall *CesA* genes of angiosperms // New Phytologist. 2005. N 166. P. 907–915.
47. Wu L., Joshi, C.P., Chiang V.L. // A xylem specific cellulose synthase gene from aspen (*Populus tremuloides*) is responsive to mechanical stress // Plant. J. 2000. N 22. P. 495–502.
48. The genome sequence of black cottonwood (*Populus trichocarpa*) reveals 18 conserved cellulose synthase (*CesA*) genes / S. Djerbi [et al.] // Planta. 2005. N 221. P. 739–746.
49. Nairn C.J., Haselkorn T. Three loblolly pine *CesA* genes expressed in developing xylem are orthologous to secondary cell wall *CesA* genes of angiosperms // New Phytologist. 2005. N 166. P. 907–915.
50. Чепец А.А. Биотехнология в лесном хозяйстве / Материалы VII Международной научной интернет-конференции «Лесное хозяйство и зеленое строительство в западной Сибири». январь 2015 г., г. Томск. С. 183-187
51. Carson, Michael, Walter Christian, and Sue Walter. The future of forest biotechnology. In Robert Kellison, Susan McCord, and Kevan M.A. Gartland (eds.), *Forest biotechnology in Latin America*. Raleigh, Institute for Forest Biotechnology, 2004. P. 13–40.
52. Walter, Christian, and Sean Killerby. A global study on the state of forest tree genetic modification. In *Preliminary review of biotechnology in forestry: Including genetic modification*. Forest Genetic Resources Working Papers. Rome: Forestry Department, FAO, 2004. Chapter 3.
53. Chaix, Gilles, and Olivier Monteuis. Biotechnology in the Forestry Sector. In *Preliminary review of biotechnology in forestry: Including genetic modification*. Forest Genetic Resources Working Papers. Rome: Forestry Department, FAO, 2004. Chapter 2.
54. Effectiveness of winter wheat varieties of world selection in South Ural / Glinushkin A., Beloshapkina O., Nikolaev N. et al // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2013. T. 16. № 4. С. 11-18.
55. Анализ приоритетных направлений развития земледелия на современном этапе научно-технического прогресса / Лобков В.Т., Плыгун С.А. // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012. T. 2. № 2. С. 3-9.
56. Evaluating the drought stress tolerance efficiency of wheat (*Triticum Aestivum* L.) cultivars / Sammar Raza M.A., Saleem M.F., Khan I.H., Jamil M., Ijaz M., Khan M.A. // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012. T. 12. № 12. С. 41-46.
57. The selection assessment of hibrides of the family Ulmaceae Mirb. for decorative gardening of the Lower Volga Region / Podkovyrov I., Konotopskay T. // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012. T. 11. № 11. С. 28-32.
58. Assessment of diversified vegetation community in Islamabad Vicinity, Pakistan / Ashraf I., Hussain T., Jamil M., Ahmad I., Ahmad M., Abbasi G.H., Akram M., Sammar Raza M.A. // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012. T. 12. № 12. С. 37-40.
59. The feasibility of small grains as an adoptive strategy to climate change / Authorsvodziwa M. // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2015. T. 41. № 5. С. 40-55.