

УДК 630*611

А.В. Жигунов

С.-Петербургский НИИ лесного хозяйства

Жигунов Анатолий Васильевич родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Ленинградский государственный университет, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора С.-Петербургского НИИ лесного хозяйства. Имеет более 150 печатных работ в области лесных культур, селекции, семеноводства, лесной биотехнологии.
Email: a.zhigunov@bk.ru



ПРИМЕНЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ РОССИИ

Рассмотрены вопросы применения методов биотехнологии для производства посадочного материала хвойных и лиственных пород в целях создания плантационных культур, перспективы применения генетической модификации древесных пород для ускорения роста, повышения их устойчивости и улучшения свойств древесины, использования методов молекулярного маркирования в изучении популяционно-генетической структуры хвойных видов и селекционной работе.

Ключевые слова: биотехнология, микроклональное размножение, органогенез, соматический эмбриогенез, генетические маркеры, генетическая модификация.

По определению академика А.А. Баева, биотехнология – это использование живых организмов и их систем в промышленных целях. Несмотря на то, что практическому применению достижений биотехнологии предшествует проведение огромного числа фундаментальных исследований, основной их целью является получение коммерческого продукта. В настоящее время в России имеется обширная литература, в которой изложены основные принципы и методы биотехнологии древесных пород [11, 15], обсуждаются перспективы применения биотехнологий в лесном хозяйстве [1, 3, 4, 21, 29, 31, 34, 38, 39, 42].

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 геномной 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.

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* лиственных пород родов *Populus*, *Betula*, *Pinus*, *Salex* и *Fraxinus* ведутся достаточно давно и интенсивно. Принимая во внимание результаты многолетних исследований российских ученых по культуре *in vitro* осины, гибридных тополей и ив в Научно-исследовательском институте лесной генетики и селекции [17–19], различных видов березы в Институте леса КарНЦ РАН [3], триплоидной осины и различных клонов березы в С.-Петербургском НИИ лесного хозяйства (СПбНИИЛХ) [5, 25], ясеня и ив в ИБХ РАН [12], можно прогнозировать успешное внедрение этих пород в практику плантационного лесовыращивания [8, 31–33].

Хвойные растения являются наиболее сложными объектами для различных методов *in vitro*, поэтому разработка эффективной системы клонального микроразмножения для некоторых видов является актуальной задачей [13, 14]. В настоящее время соматический эмбриогенез считается одним из наиболее перспективных методов в лесной биотехнологии микроклонального размножения в культуре *in vitro*. Его использование обеспечивает в перспективе получение «искусственных семян», что позволит примерно в десять раз снизить стоимость посадочного материала. Разработка методов получения посадочного материала на основе использования соматического эмбриогенеза сибирских видов хвойных (*Larix sibirica*, *L. gmelini*, *L. sukaczewii*, *Pinus sibirica*, *P. pumela*, *Picea ajaensis*) проводится в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН [27],

Pinus sylvestris и *Picea abies* – в Институте биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова [13, 14], *Picea abies* – в СПбНИИЛХ [2]. Однако в этих экспериментах только экспланты единичных донорских растений формируют эмбриогенный каллус. Получить соматические зародыши и растения пока удается только из эксплантов зародышей семян. Посадочный материал, полученный таким способом, аналогичен посадочному материалу из семян, и уровень наследуемости ценных признаков будет всего 10...20 % [7].

Первые работы по органогенезу *Pinus sylvestris* и *Picea abies* в России выполнены на основе использования эксплантов гипокотилия или семян в Российском государственном сельскохозяйственном университете (МСХА им. К.А. Тимирязева) и Институте биоорганической химии РАН [13, 14, 24]. В настоящее время в ходе совместной работы Института биоорганической химии и СПбНИИЛХ выполнен органогенез на основе использования почек плюсовых деревьев, разработаны рекомендации по адаптации полученных микрогенерантов в торфяном субстрате в условиях пленочных теплиц [31, 34]. Выращенным таким образом посадочным материалом заложено несколько опытных участков лесных культур и проводится наблюдение за их ростом, контролем служат варианты культур с использованием двухлетних сеянцев из посевного отделения питомника, имеющих на момент посадки примерно одинаковые биометрические параметры с микрочеренкованными саженцами.

В лесной зоне России широко используемые на практике упрощенные технологии закладки и выращивания лесных культур, как правило, не дают им преимуществ в росте по сравнению с молодняками естественного происхождения и даже не останавливают процесс смены ели и сосны осинкой и березой. В отличие от таких посадок культуры ели и сосны, заложенные с использованием интенсивных агротехнических приемов, растут по II – Iб классам бонитета, т.е. в среднем в 1–3 раза превосходят по продуктивности обычные культуры. Форсировано высокая скорость роста таких культур достигается благодаря сочетанию определенных факторов и условий. К числу наиболее значимых факторов, имеющих огромный потенциал улучшения, относится применение селекционно-улучшенного посадочного материала. Однако разработка методов клонального микроразмножения хвойных пород в практике лесного хозяйства России пока делает только первые шаги.

Из признаков, используемых в популяционной лесной генетике, молекулярные (включая биохимические) маркеры генов отличаются многими полезными свойствами. Они не требуют многих лет анализа наследования в череде поколений, их проявление не зависит от модифицирующего действия среды. Молекулярные маркеры, в отличие от морфологических признаков у хвойных видов, имеют моногенный характер наследования и поэтому являются объективными генетическими маркерами степени различий между популяциями и таксонами. Хронологически первыми молекулярными маркерами были аллозимы (изоферменты) – наследственные формы ферментных белков. Несмотря на быстрое развитие методов анализа ДНК, изоферменты остаются очень полезными генетическими маркерами, поскольку с их помощью можно получить надежную и полную генетическую информацию [22]. К настоящему времени результаты генетических исследований с использованием метода изоферментного анализа позволили решить сложные вопросы систематики видов сосновых [22], еловых [6, 10, 12, 23], лиственниц [20]. Широко применяется метод молекулярного маркирования для генетической паспортизации клоновых лесосеменных плантаций и архивов клонов хвойных пород [9, 30, 35].

Другие применения данного метода относятся к изучению процессов переноса генов и анализу систем скрещивания. Маркер-вспомогательная селекция относится к непрямой селекции и заключается в статистическом связывании молекулярных маркеров, прежде всего ДНК-маркеров, с хозяйственно-важными признаками. В силу того, что на маркеры не оказывают влияние условия среды или особенности онтогенеза, данный инструмент предоставляет широкие возможности, особенно при ранней диагностике (качество древесины на стадии сеянцев), что важно для лесных пород, характеризующихся длительными периодами выращивания.

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 [36, 41]. 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 [43], тополя [40] и сосны лучистой [37].

В большей степени развитие селекционных маркеров важно для долгосрочных исследований фундаментального порядка [43]. Оно вносит существенный вклад в понимание работы основополагающих генетических механизмов и организации генома на молекулярном уровне. Особенно большое внимание в этой работе уделяется исследованиям количественных признаков лесных видов.

Генетические маркеры могут быть полезны в целях использования генетической вариации при подборе выборок для сохранения генов и создания архивов клонов для применения в дальнейшей селекционной работе. Несомненно, использование генетических маркеров в лесоводственных исследованиях со временем будет только возрастать.

Несмотря на всю привлекательность метода для практической селекции, существует ряд ограничений, которые будут препятствовать его применению, по крайней мере, в среднесрочной перспективе:

отбор на основе маркеров все еще достаточно дорог для какой-либо достаточно крупной группы особей;

связь между маркерами и хозяйственно-ценными признаками должна устанавливаться для каждой семьи отдельно, поэтому даже если стоимость этого вида анализов значительно снизится, маркер-вспомогательная селекция будет прерогативой продвинутых и «утонченных» селекционных программ, тех в которых будет возможно создание и поддержание структуры наследования и где целесообразно использование клонового лесоводства [36, 40]. Скорее всего, для большинства пород древесных видов в настоящее время предпочтительнее развитие классических селекционных программ.

Технологией будущего десятилетия является трансгенез (генмодификация) древесных растений [16]. Повышение скорости роста основных лесных пород, повышение их устойчивости и улучшение свойств древесины – приоритетные задачи современной лесной науки. Создание новых форм лесных пород традиционными методами селекции – длительный и малоэффективный процесс. Генетическая трансформация методом агробактериального переноса рекомбинантных целевых генов дает возможность в короткие сроки модифицировать свойства древесных растений.

Комплекс методов генетической трансформации позволяет точно модифицировать отдельные признаки растений: придавать устойчивость к гербицидам, понижать содержание лигнинов, повышать продуктивность, т.е. создавать формы целевого назначения. Данное направление лесной биотехнологии ориентировано исключительно на плантационный способ лесовыращивания. В мире зарегистрировано более 150 полевых полигонов для изучения роста трансгенных лесных пород. Большая их часть проводится на территории США (103), Китая (9), Канады (7) и Финляндии (5).

В России работы по генетической модификации древесных пород были начаты в 1999 г. в Сибирском институте физиологии и биохимии растений СО РАН [27]. Генетическую трансформацию в целях увеличения скорости роста осины (*Populus tremula* L.) тополя (*Populus balsamifera* L.) и сосны кедровой (*Pinus sibirica* de Tour) проводили на основе использования гена *ugt*, выделенного из кукурузы. Ген кодирует синтез УДФГ-трансферазы – фермента, осуществляющего связывание индолилуксусной кислоты с глюкозой, благодаря чему в растениях создается значительный пул ИУК, меняющий ауксиновый статус. Растения, получившие этот ген, развиваются значительно быстрее, и их с успехом можно было бы использовать на плантациях с коротким оборотом рубки. В зависимости от использованной конструкции трансформации растения обнаруживали усиление роста побега, увеличение количества и длины корней, числа листьев и площади листовой пластинки.

Ограниченность запасов азота в лесных почвах часто является лимитирующим фактором роста лесных насаждений. Повысить эффективность ассимиляции азота также можно методами генной инженерии. Известна стратегия суперэкспрессии гена *gs1* (сосны), который гомологичен родному гену глутаминсинтетазы осины и тополя, но не является его точной копией, что позволяет повышать суммарную активность *gs* (глутаминсинтетазы) и, как следствие, накопление глутамина в тканях. В институте биоорганической химии РАН получены трансгенные линии осины и березы с

геном *gs* глутаминсинтетазы сосны под контролем 35S промотора. Ген повышает содержание глутамина в растениях, тем самым улучшая ассимиляцию аммонийного азота и повышая общую продуктивность растений [26, 32]. Все линии с геном *gs1* использовали для проведения испытаний по оценке фенотипических проявлений рекомбинантного гена. После двух лет роста в условиях защищенного грунта по таким показателям, как высота растения, диаметр корневой шейки и прирост текущего года, перспективные линии опережали контрольный вариант на 15...60 %.

В этом же институте получены линии осины и березы, содержащие ген *bar* фосфинотрицинацетилтрансферазы, кодирующий устойчивость к гербицидам на основе фосфинотрицина [28]. Обработка полученных трансгенных растений показала устойчивость к фосфинотрицину в дозах, рекомендуемых к применению в лесных питомниках и культурах.

В работах по генной инженерии древесных растений важной проблемой представляется оценка риска, связанная с интродуцированием в природную среду трансгенных растений. Поэтому коммерческому использованию трансгенных растений должны предшествовать всесторонние исследования.

Проблема снижения биологического разнообразия растительного мира особенно остро проявляется в случае лесных древесных растений. Решение данной задачи на основе культуры *in vitro* дает возможность надежного хранения ценных или исчезающих генотипов путем криоконсервации или депонирования *in vitro*. Криоконсервация применима к породам, размножаемым путем соматического эмбриогенеза, а депонирование *in vitro* – к видам, размножаемым методом стеблевой культуры.

Сочетание методов молекулярного маркирования и клонального микроразмножения элитных генотипов позволяет повысить продуктивность лесных плантаций на 50...100 %. Такой комплекс биотехнологических методов дает возможность ускорения селекционного процесса по созданию новых улучшенных форм и сортов в 2–3 раза.

Начиная с 1991 г. в СПбНИИЛХ реализуется программа исследований по микроклональному размножению ценных форм ели и березы, преследующая цель создания технологии массового получения растений-регенерантов в культуре *in vitro*. Несколько позже были начаты работы по микроклональному размножению быстрорастущих триплоидных форм осины, устойчивых к стволовым гнилям. Совместно с Институтом биоорганической химии РАН выполнены первые работы по микроклональному размножению сосны обыкновенной. Разработаны регламенты получения растений-регенерантов и регламент их адаптации к условиям теплиц и торфяных субстратов для получения посадочного материала требуемых биометрических параметров. Для листовенных пород технологии прошли опытно-производственную проверку и готовы к массовому внедрению.

Для более рационального использования площадей, вышедших из-под сельскохозяйственного использования, нами совместно с ИБОХ РАН начаты исследования по изучению роста трансгенных линий березы и осины. Поскольку плодородие наших почв лимитируется уровнем содержания в них азота, генмодификация растений была осуществлена геном *gs* глутаминсинтетазы, что в конечном итоге улучшает ассимиляцию аммонийного азота и повышает общую продуктивность растений. Однако использование таких растений для создания обычных культур в лесном фонде должно быть полностью исключено.

Несмотря на то, что достигнуты достаточно хорошие результаты по различным направлениям лесной биотехнологии, их широкое внедрение в лесохозяйственную практику не наблюдается, за исключением применения ДНК-маркеров для паспортизации лесосеменных плантаций и сертификации семян хвойных пород. Научные исследования проводились до поиска рынков сбыта научно-технической продукции. Выходная научно-техническая продукция не была ориентирована на решение проблем конкретного потребителя, поэтому требуется грамотный маркетинг для продвижения результатов на рынок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаптация регенерантов ели европейской к условиям *ex vitro*/ Шабунин Д.А. [и др.] // Тр. СПбНИИЛХ. 2010. № 1(21). С. 120–135.
2. Божков П.В. Соматический эмбриогенез и полиэмбриогенез хвойных *in vitro* на примере ели обыкновенной (*Picea abies* L. Karst): автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1994. 20 с.
3. 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.

4. 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.
5. Выращивание саженцев триплоидной осины из регенерантов, полученных по технологии *in vitro* / Бовичева Н.А. [и др.] // Тр. СПбНИИЛХ. 2006. № 3(16). С. 68–76.
6. Гончаренко Г.Г. Геносистематика и эволюционная филогения лесобразующих хвойных Палеоарктики. Минск: Тэхнолѳія, 1999. 188 с.
7. Долголиков В.И., Попивший И.И. Положительные стороны и недостатки клоновой селекции ели // Лесоведение. 1992. № 2. С. 11–18.
8. 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.
9. Зацепина К.Г., Экарт А.К., Тараканов В.В. Генотипирование деревьев на клоновых плантациях хвойных лесобразующих видов в Западной Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2012. №1–2. С. 67–71.
10. Ильинов А.А., Топчиева Л.В., Раевский Б.В. Использование микросателлитовых маркеров в изучении генофонда ели финской *Picea x fennica* (Regel) Kom. в Карелии // Хвойные бореальной зоны. 2012. № 1–2. С. 80–86.
11. Калашикова Е.А., Родин А.Р. Получение посадочного материала древесных, цветочных и травянистых растений с использованием методов клеточной и геномной инженерии: учеб. пособие. Изд. 2, испр. и доп. М.: МГУЛ, 2001. 73 с.
12. 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.
13. Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Органогенез сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в культуре *in vitro* // Хвойные бореальной зоны. 2012. № 1–2. С. 114–119.
14. Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Эффективный способ получения посадочного материала ясеня обыкновенного *in vitro* // Вест. МГУЛ (Лесн. вестн.). 2010. № 3(72). С. 112–118.
15. Лутова Л.А. Биотехнология высших растений: учеб. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. 240 с.
16. Машкина О.С., Буторина А.К. Генетическая инженерия древесных растений // Генетика. 2003. Т. 39, №3. С. 309–317.
17. Машкина О.С., Табацкая Т.М., Исаков Ю.Н. Клональное размножение березы карельской // Лесн. хоз-во. 2000. № 4. С. 33–34.
18. Машкина О.С., Табацкая Т.М., Стародубцева Л.М. Длительное микрочеренкование для массового клонального размножения карельской березы и тополя // Физиология растений. 1999. Т. 46, № 6. С. 950–952.
19. Методы клонального микроразмножения различных видов и гибридов ивы / Машкина О.С. [и др.] // Биотехнология. 2010. № 1. С. 51–59.
20. Орешкова Н.В., Белоконь М.М., Жамъянсурен С. Изменчивость ядерных микросателлитных локусов у лиственницы Гмелина (*Larix Gmelini* (Rupr.) Rupr.) и камчатской (*Larix kamtchatica* (Rupr.) Rupr.) // Хвойные бореальной зоны. 2012. № 1–2. С. 145–151.
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. Политов Д.В. Генетика популяций и эволюционные взаимоотношения видов сосновых (сем. *Pinaceae*) Северной Евразии: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007. 47 с.
23. Потенко В.В. Полиморфизм и филогенетические взаимоотношения хвойных видов Дальнего Востока России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Хабаровск, 2004. 48 с.
24. Родина Е.А. Экспериментальный морфогенез в культуре тканей хвойных пород (*Pinus sylvestris* и *Picea abies*): автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1989. 22 с.
25. 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.
26. Салмова М.А., Шадрина Т.А., Шестибратов К.А. Создание и анализ трангенных линий березы с геном глутаминсинтетазы сосны *gs1* // 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. 294–295.
27. Создание древесных растений для Байкальского региона, обладающих усиленным ростом и повышенной устойчивостью к повреждающим факторам / Салеев Р.К. [и др.] // Сибирский экологический журнал. 1999. № 6. С. 605–611.
28. Трансгенные формы березы с геном *bar*, обладающие устойчивостью к гербицидам / Салмова М.А. [и др.] // Материалы XI Междунар. конф. молодых ученых «Леса Евразии». БГИТА, 2011. С. 17.

29. Ускорение микрополюгов ели европейской в условиях *in vitro* и *ex vitro* / Шестибратов К.А. [и др.] // Тр. СПбНИИЛХ. 2009. № 3(20). С. 152–170.
30. Уточнение схем посадки архивов клонов хвойных видов Красноярского края и Республики Хакасия RAPD-методом анализа ДНК / Чубугина И.В. [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2012. № 1-2. С. 18–191.
31. Шабунин Д.А. Перспективы микроклонального размножения лиственных пород для плантационного лесовыращивания // Тр. СПбНИИЛХ. 2011. Ч. 1, № 1(24). С. 49–55.
32. Шестибратов К.А., Булатова И.В., Новиков П.С. Реакция трансгенных растений осины с геном глутаминсинтетазы *gs1* на сублетальную дозу фосфинотрицина в условиях *in vitro* // Биотехнология. 2009. № 6. С. 49–56.
33. Шестибратов К.А., Жигунов А.В. Биотехнология в плантационном лесовыращивании: технологии и сферы применения // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления: материалы Всерос. науч. конф. с международным участием. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 158–159.
34. Шестибратов К.А., Лебедев В.Г., Мирошников А.И. Лесная биотехнология: методы, технологии, перспективы // Биотехнология. 2008. № 5. С. 3–22.
35. Шишкина О.К., Завистьяева М.А. Практическое использование молекулярно-генетических методов в лесном семеноводстве // 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. 284–285.
36. Large-scale statistical analysis of secondary xylem ESTs in pine / Pavy N. [et al.] // Plant Mol. Biol. 2005. N 57. P. 203–224.
37. 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.
38. Russell H. Biotechnology in Forest Tree Improvement // FAO, Rome, forthcoming.
39. 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.
40. 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.
41. Transcript profiling of Eucalyptus xylem genes during tension wood formation / Paux E. [et al.] // New Phytol. 2005. N 167. P. 89–100.
42. 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.
43. 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.

Поступила 19.11.12

A.V. Zhigunov

Saint Petersburg Forestry Research Institute

Use of Biotechnology in the Russian Forest Sector

The article covers the use of biotechnology in the production of coniferous and deciduous planting material for creating plantation crops. It also considers the prospects for applying genetic modification methods to deciduous tree species in order to accelerate their growth, increase viability and improve their wood quality. The author dwells on the use of molecular marking methods for studying the population genetic structure of coniferous trees, as well as on their application in conifer breeding.

Key words: biotechnology, microclonal propagation, organogenesis, somatic embryogenesis, molecular markers, genetic modification.