

ЛЕСНАЯ РОССИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

«ЛЕСНАЯ ГЕНЕТИКА,
СЕЛЕКЦИЯ И БИОТЕХНОЛОГИИ
В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ»



№1/2008

Леса РОССИИ

Специализированная,
общественно-политическая газета,
официальное издание
Федерального агентства
лесного хозяйства



Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-31603 от 04 апреля 2008 г.

Адрес редакции для писем: 115184, г. Москва, ул.Пятницкая, 59/19

Тел.: (495) 230-85-60. E-mail: press@rosleshoz.ru

ЛЕСНАЯ ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЯ

ЛЕСНАЯ ГЕНЕТИКА, СЕЛЕКЦИЯ И БИОТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

№1/2008



В ЭТОМ НОМЕРЕ:

БИОТЕХНОЛОГИИ — В РОССИЙСКИЙ ЛЕС!	3
НАМ ПОМОЖЕТ КЛАСТЕР	6
НЕМНОГО ИСТОРИИ	8
КАК У НИХ?.....	10
ИСТОРИЯ РОССИЙСКОЙ ЛЕСНОЙ ГЕНЕТИКИ	13
ТРЕБУЕТСЯ ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОМОВ ЛЕСНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ.....	14
ДНК-МАРКЕР В ЛЕСАХ БЕЛАРУСИ.....	18
КАК СНИЗИТЬ СЕБЕСТОИМОСТЬ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ?.....	21
ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ	24
...Я СПРОСИЛ У «ТРАНСГЕННОГО» ТОПОЛЯ.....	25
БИОБЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ.....	26
КАКОЕ СЕМЯ.....	29
ЕГСК. В НАЧАЛЕ ПУТИ.....	30
ПЛАНТАЦИОННЫЙ СПОСОБ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА.....	33
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ.....	34
ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ ПОЛЕ ТРАНСГЕННЫХ КУЛЬТУР.....	37
РЕШЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ	38
ЛЕСНАЯ ГЕНЕТИКА, СЕЛЕКЦИЯ И БИОТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	38
УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ.....	39
НЕЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР	40
ДЛЯ БЛАГОДАРНЫХ ПОТОМКОВ.....	44

«ЛЕСНАЯ РОССИЯ». № 1/2008

Учредитель: Федеральное агентство лесного хозяйства

Адрес для писем: 115184, Москва, ул. Пятницкая, д. 59/19

Тел.: (495) 230-85-60

e-mail: press@rosleshoz.gov.ru

Главный редактор: Константин Труфанов

Редакционная коллегия: А.В. Акимов, Е.М. Атаманкин, А.А. Бенин, Б.М. Большаков, Д.М. Гиряев, М.Д. Гиряев, Ю.П. Дорошин, А.И. Зверев, А.С. Исаев, Н.Н. Кашпор, М.Е. Кобельков, Н.А. Ковалев, А.Ю. Кондикова, В.Я. Курамшин, Н.А. Моисеев, А.П. Петров, В.Н. Петров, А.И. Писаренко, С.А. Родин, В.П. Рощупкин, В.Г. Санаев, Л.П. Титова.

При перепечатке или использовании материалов ссылка обязательна.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС-21957 от 14 сентября 2005 г.

Отпечатано:

ООО «Дитон», Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., д. 60 лит. М.

Тираж 5000 экз. Заказ №251м



БИОТЕХНОЛОГИИ — В РОССИЙСКИЙ ЛЕС!

Перспективы развития любой отрасли народного хозяйства страны определяются состоянием науки и эффективностью использования ее научного потенциала. Лесной и лесоперерабатывающий сектор экономики России один из самых экспортноориентированных. Потенциал данного сектора оценивается в 100–150 млрд долларов валового продукта ежегодно, что сопоставимо с доходами от продажи нефти и газа — ресурсов, в отличие от леса, невозобновляемых. Однако в реальности валовой продукт данной отрасли составляет 9–10 млрд долларов в год. Для сравнения: соседняя Финляндия получает от леса валовой продукции на 30 млрд долларов в год. Сравнение продуктивности лесов тоже не в пользу России: средний годовой прирост древесины в России составляет приблизительно 1,3 кубометра на гектар, а в Финляндии — около 4. Общепринятое мнение,

что Россия является ведущей лесной державой, оправданно лишь отчасти, а именно площадью лесных фондов, но никак не эффективностью лесного и лесопромышленного комплекса. Для того чтобы она стала таковой, необходимо существенно повысить качество ведения лесного хозяйства, создать привлекательные условия для развития глубокой переработки древесины внутри страны, обеспечить грамотное, рациональное управление лесами, использовать современные методы ведения лесовосстановительных работ.

Деревья имеют длительный жизненный цикл, что усложняет и затягивает процесс селекции, а на создание высокопродуктивных линий с ценными признаками, стабильно передающимися по наследству, может понадобиться несколько десятилетий. Для ускорения этого процесса используются гибридные формы растений, однако их главным недо-

статком является невозможность размножения семенами, поскольку в потомстве наблюдается расщепление признаков. Большинство древесных видов растений, за исключением некоторых (тополь, эвкалипт), имеют низкий коэффициент вегетативного размножения, что усложняет или делает невозможным производство посадочного материала ценных гибридов в промышленных масштабах. Альтернативным подходом для решения данной проблемы может быть внедрение биотехнологических методов, которые хорошо себя зарекомендовали в сельском хозяйстве. За рубежом это новое направление получило название лесной биотехнологии. В ее основе лежат, с одной стороны, достижения академической науки — физико-химической биологии, биохимии и физиологии растений, а с другой — наработки лесной отраслевой науки.

Все перечисленные выше направления лесной биотехнологии актуальны и для лесного сектора России. К сожалению, до последнего времени в нашей стране лесная биотехнология как научное направление не существовала, были несистемные работы, проводимые разрозненными группами исследователей в институтах различных ведомств, как, например, заложенные в различных регионах страны порядка 36 тыс. га плантационных культур различного целевого назначения. В настоящее время эти работы приобретают особую актуальность: необходимо обеспечить растущие потребности лесопромышленного комплекса в сырье. То есть назрела насущная необходимость активизации генетико-селекционных и биотехнологических

работ в лесном комплексе объединенными усилиями НИУ системы Рослесхоза, РАН, вузов и других ведомств при соответствующей государственной поддержке. И в 2006 году по инициативе Федерального агентства лесного хозяйства в перечень научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ были включены темы биотехнологической направленности.

С целью подведения некоторых промежуточных итогов проделанной за два года работы и обозначения направлений движения вперед Федеральным агентством лесного хозяйства была организована научно-практическая конференция «Лесная генетика, селекция и биотехнологии в лесном хозяйстве».

Работу конференции открыли руководитель Рослесхоза В.П. Ро-

щупкин и председатель Пущинского научного центра РАН академик А.И. Мирошников. Участвовали в конференции более 120 специалистов в области лесной генетики, селекции, семеноводства, интродукции, биотехнологии из научно-исследовательских учреждений системы МПР России, РАН, РАСХН, Минобрнауки России, а также представители исполнительной и законодательной власти Российской Федерации и субъектов Российской Федерации; стран ближнего зарубежья (Белоруссии, Украины), общественных организаций и профессиональных лесопромышленных ассоциаций и объединений. Сегодняшний номер журнала «Лесная Россия» целиком посвящен этому неординарному событию.

ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ

Выработка консолидированной обоснованной позиции по проблеме изучения, сохранения, повышения продуктивности, рационального использования и воспроизводства лесных ресурсов, направленной на эффективное решение научных и практических задач лесной отрасли Российской Федерации.

«ОБЪЕДИНИВ УСИЛИЯ И РЕСУРСЫ, МЫ СМОЖЕМ ВЫВЕСТИ РОССИЙСКИЙ ЛЕСНОЙ СЕКТОР НА МИРОВОЙ УРОВЕНЬ»

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО
ВАЛЕРИЯ РОЩУПКИНА



Добрый день, уважаемые коллеги! Позвольте мне открыть конференцию, посвященную теме «Лесная генетика, селекция и биотехнология в лесном хозяйстве».

В конференции принимают участие специалисты науки, бизнеса, представители федеральных и региональных органов власти, общественных организаций, то есть все заинтересованные в решении проблем, которые ставит перед нами сегодня жизнь. Сегодня состоится наш первый, но уверен, что не последний разговор, посвященный чрезвычайно важной теме.

Я не скрываю, в лесном хозяйстве был период, когда отсутствовали не только финансовые, но и организационные возможности решать серьезные научные задачи. Но сейчас мы выходим из этого тупика, и на сегодняшней нашей встрече хотелось бы с вашей помощью, уважаемые участники, понять будущее этого направления науки — лесной генетики. Приложить это направление к нашей российской лесной политике и начать работать.

В какой степени генетика нужна нашей лесной России? Что мы можем получить от этого? Хочу заметить, что на сегодняшний день около 30% мировой древесины для промышленных нужд выращивается на лесных плантациях, а через 20 лет, по прогнозам экспертов ФАО, до 70% древесины будет выращиваться на лесных плантациях. Сроки выращивания деловой древесины сокращаются в 3-4 раза, продуктивность насаждений, выращенных на основе генетически улучшенных форм хвойных, в полтора-два раза выше, чем естественных. К сожалению, в России в этой области существует и усиливается отстава-

ние (в Европе доля посадочного материала с улучшенными селекционно-генетическими свойствами составляет более 25%, а в России — только 3%).

Вы знаете, что сейчас органы власти в России уделяют большое внимание лесной теме. Вы видели, как постепенно первые лица государства вникали в эту проблему. Вы помните первое посещение президентом наших лесхозов в Петрозаводске. Трижды рассматривали лесные вопросы на заседании правительства, и, как результат, сегодня в России создан Лесной совет. Совет возглавляет председатель правительства, и первая задача, поставленная им, была разработка стратегии лесного развития России, лесного комплекса России. Три дня назад в Сыктывкаре концепция стратегии была рассмотрена. Она получила одобрение. Мы увидели, в каком направлении будет развиваться лесопромышленный комплекс:

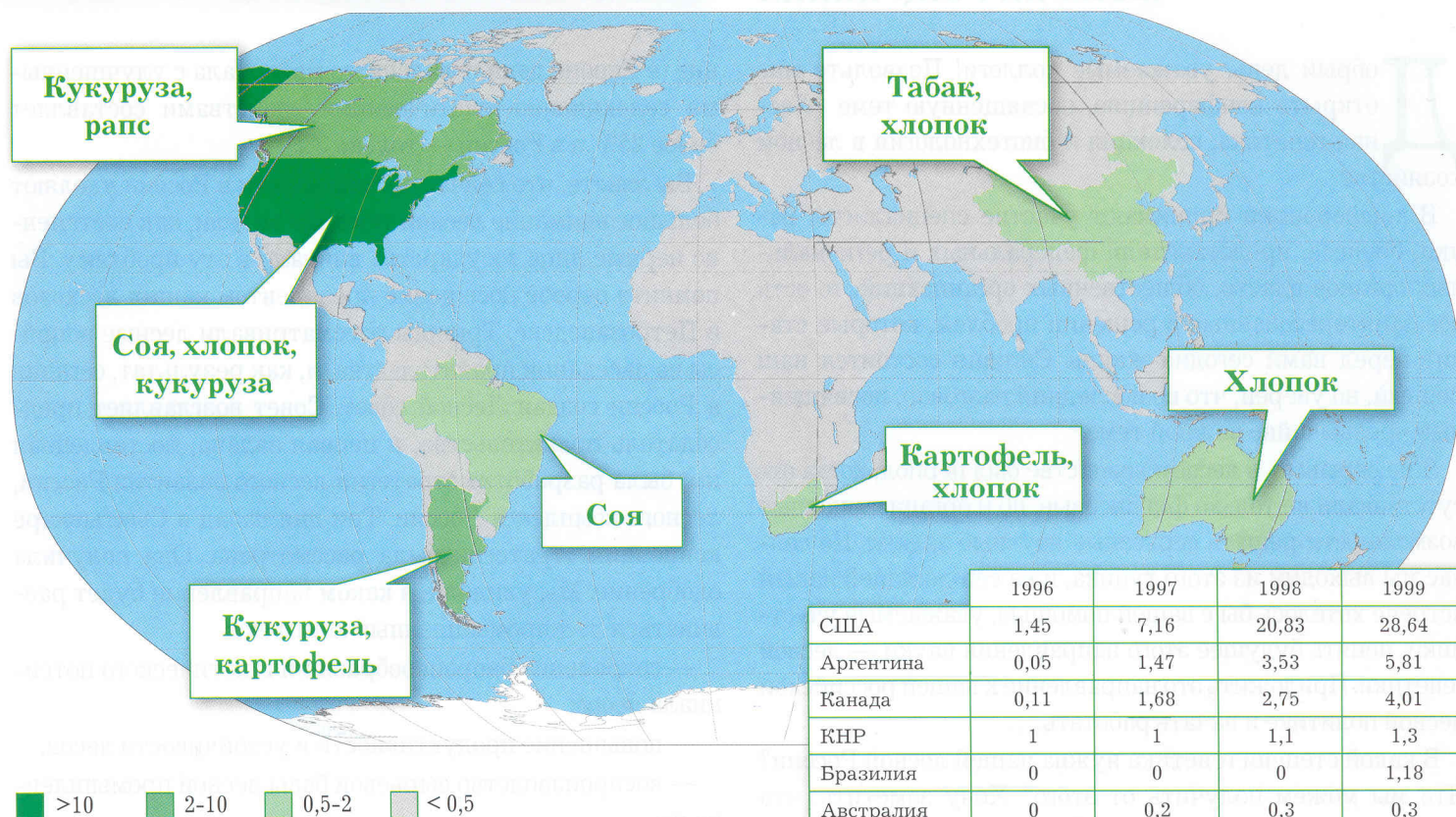
- сохранение биоразнообразия и генетического потенциала лесов;
- повышение продуктивности и устойчивости лесов;
- воспроизводство сырьевой базы лесной промышленности.

Подходы достаточно интересны, и обычными методами нам, видимо, уже не обойтись. В связи с этим хочу обратиться ко всем участникам конференции: помните, пожалуйста, даже когда вы решаете локальные задачи своего узкого профиля, о нашей общей задаче, сверяйте с этой задачей свои шаги! Только объединив все усилия и ресурсы, мы сможем российский лесной сектор вывести на мировой уровень.

НАМ ПОМОЖЕТ КЛАСТЕР

В 2004 году мировой рынок биотехнологической продукции оценивался в 160 млрд долларов, из которых на препараты для пищевой промышленности и сельского хозяйства приходилось 45 млрд, семенной материал трансгенных растений — 30 млрд, фармацевтические препараты — 26 млрд, ферменты для производства моющих средств — 21 млрд, косметические средства — 40 млрд долларов. Наблюдается крайне быстрая тенденция роста объемов производства. Предполагается, что к 2010 году объем этого рынка превысит 2 трлн долларов.

ПЛОЩАДИ, ЗАНЯТЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ КУЛЬТУРАМИ В 1999–2000 гг. (в млн га).



	1996	1997	1998	1999
США	1,45	7,16	20,83	28,64
Аргентина	0,05	1,47	3,53	5,81
Канада	0,11	1,68	2,75	4,01
КНР	1	1	1,1	1,3
Бразилия	0	0	0	1,18
Австралия	0	0,2	0,3	0,3
ЮАР	0	0	0,06	0,18
Мексика	0	0	0,05	0,05
Вся Европа	0	0	0,002	0,01
Испания	0	0	0	0,01
Франция	0	0	0,002	0
Португалия	0	0	0	0,001
Румыния	0	0	0	0,002
Украина	0	0	0	0,001
ВСЕГО	2,601	11,51	28,623	41,48

В 1999 году в США доля генетически модифицированных с/х и технических растений составляла почти четверть всей с/х продукции. Это 57% продукции всей сои, 38% всей кукурузы, 65% всего хлопчатника, 4% всего картофеля.

В США 60-75% пищевых товаров супермаркетов и ресторанной пищи включают генно-инженерные продукты.

Доля Российской Федерации на мировом биотехнологическом рынке крайне низка и не соответствует интеллектуальным, кадровым, научно-организационным и экономическим возможностям государства. Это обусловлено несколькими причинами:

- нет тесной интеграции науки и производства;
- разобщенность академической, вузовской и отраслевой науки;
- дефицит молодых специалистов со специальным образованием по современным направлениям биотехнологии;
- морально устаревшее материально-техническое оснащение;
- недостаточное государственное финансирование научно-практических разработок.

Отечественная биотехнология представлена шестью направлениями: медицинское, сельскохозяйственное, пищевое, промышленное, экологическое и, наконец, самое молодое направление — лесная биотехнология. Особенно остро перечисленные проблемы ощущаются именно в этом направлении.

В решении перечисленных проблем может быть полезен западный опыт «кластерного» подхода и отечественный опыт академических наукоградов, который хорош своим главным преимуществом — интеграция за счет концентрации. Есть ряд примеров эффективности такого подхода, начиная от «силико-



новой долины» и заканчивая Зеленоградом, Дубной и др.

В качестве конкретного примера реализованного биотехнологического проекта РАН можно привести запуск производства отечественного рекомбинантного инсулина на базе ИБХ РАН. Проект от классических НИР был доведен до стадии опытного производства. Не последнюю роль здесь сыграл именно «кластерный» подход.

Что касается вопросов плантационного лесовыращивания, то очевидными точками соприкосновения здесь являются четыре ключевые технологии — клональное микроразмножение, депонирование *in vitro* и криоконсервация, генетическая трансформация и молекулярное маркирование. Ожидаемые и реальные

результаты — ускорение селекционного процесса, повышение качества посадочного материала, повышение продуктивности, надежное хранение селекционных достижений.

В силу того, что продукция лесной отрасли, а проще говоря, древесина, находит применение практически в каждой производственной сфере, лесной сектор крайне привлекателен для внедрения биотехнологий. К числу дополнительных результатов можно отнести биоэтанол из древесного сырья, биопластик, биоконверсию отходов деревообработки и ЦБК, наконец, секвестирование углерода из атмосферы.

Известный факт, что доля лесных плантаций от общей площади лесов не превышает 5%, в то время как от общего объема производства древесины на их долю приходится около 25%. Такой подход выгоден как по экономическим, так и экологическим критериям оценки. Однако реализовать его в полной мере можно только при условии концентрации усилий, формирования целевых государственных программ, планомерного их выполнения и активного участия частного капитала на этапе внедрения наукоемких разработок и опытного производства.

Алексей МИРОШНИКОВ, академик, председатель Пушчинского научного центра РАН, заместитель директора ИБХ РАН

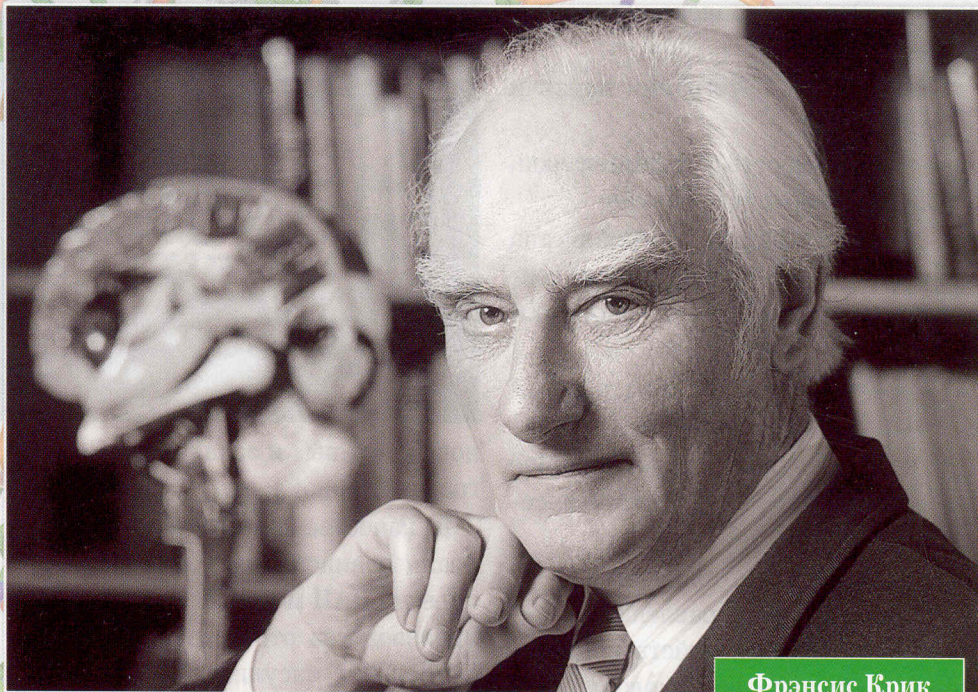


НЕМНОГО ИСТОРИИ



Джеймс Уотсон

Традиционный подход в лесной генетике и селекции связан с изучением географических культур и использованием плюс-селекции. Однако полигенное наследование таких признаков, как скорость роста, низкая наследуемость большинства хозяйственно ценных признаков у древесных (в среднем не выше 5-15%) и высокая продолжительность генерации, когда результатов скрещиваний приходится ждать



Фрэнсис Крик

десятилетиями, создает трудности в применении традиционных подходов, основанных на анализе потомств от скрещиваний.

После открытия роли ДНК как носителя генетической информации, расшифровки в 1953 г. Д. Уотсоном и Ф. Криком ее структуры и механизмов воспроизведения (репликации) и изменения (мутирования) стало возможным перейти от анализа в опытах отдельных легко наблюдаемых признаков к количественной оценке генетических параметров популяций животных и растений, в том числе древесных, причем не только в искусственной, выровненной среде, но и в природных популяциях. Хотелось бы обратить внимание, что шаг витков молекулы ДНК измеряется в нанометрах, то есть молекулярная генетика, в том числе и лесная, — это нанотехнологии в действии!

Таковыми методами, начиная с 1970-х гг., стали молекулярные маркеры генов. Сначала биохимические (изоферменты, или аллозимы), а с 1980-х гг.

и ДНК-маркеры (рестрикционный и микросателлитный анализ). Существует много схем их классификации. Маркеры бывают белковые и собственно ДНК-маркеры, нужно также различать ядерные и неядерные (цитоплазматические) маркеры. Изоферменты стали первыми широко применяемыми генетическими маркерами.

Последней новацией в лесной биотехнологии является технология генетической трансформации, позволяющая получить новую генетически улучшенную форму в течение 3-5 лет вместо 3-5 десятилетий. Первой трансгенной лесной породой стал тополь. С тех пор прошло 15 лет, за это время получены формы тополя, устойчивые к насекомым-вредителям, невосприимчивые к гербицидам широкого спектра действия, с модифицированным содержанием лигнина, ускоренным ростом. Некоторые из них уже используются при создании плантаций, лидируют в этом направлении Китай, Бразилия, США.

ЗАДАЧИ

ИНТРОДУКЦИЯ

Разработка рекомендаций по использованию перспективных пород — интродуцентов.

СЕЛЕКЦИЯ

Разработка и реализация общероссийских программ создания сети популяционно-экологических культур основных лесообразующих пород, а также создания и изучения испытательных культур плюсовых деревьев.

СЕМЕНОВОДСТВО

Развитие работ по созданию лесосеменных плантаций первого и второго порядка.



**«МЫ УВЕЛИЧИЛИ
БЮДЖЕТ НАУЧНЫХ
РАЗРАБОТОК В ЭТОМ
НАПРАВЛЕНИИ»**

«На сегодняшний день чрезвычайно остро стоит задача консолидации научных сил страны на приоритетных направлениях инновационного развития. За прошлые сложные годы перемен мы многое потеряли, немало специалистов ушло из науки или уехало из страны, были закрыты интересные темы... — рассказывает начальник Управления науки и образования Федерального агентства лесного хозяйства Станислав СТАРОСТИН. — Поэтому мы попробовали объединить усилия и академической, и отраслевой, и вузовской наук для решения важнейших задач в области лесной генетики и биотехнологии. Результат не заставил долго ждать, мы получили инструментарий, который будет полезен практически во всех отраслях лесного дела. Вообще 2006-й и 2007-й, на мой взгляд, можно назвать годами серьезного прорыва. Они показали, что сотрудничество фундаментальной и прикладной науки полезно всем, сегодня мы в несколько раз увеличили количество разрабатываемых тем и бюджет научных разработок в этом направлении. Я очень надеюсь, что наша конференция по биотехнологиям станет постоянным ежегодным мероприятием, на которое будут собираться все заинтересованные стороны. Конференция должна стать площадкой обмена информацией, наработками, контактами».

КАКУ НИХ?

Применение методов генетики, селекции и интродукции открывает колоссальные возможности для повышения продуктивности, качества и устойчивости лесов будущего. Такого роста продуктивности и качества насаждений, который достигается этими методами, невозможно добиться технологиями выращивания посадочного материала, а также лесоводственными и агротехническими приемами создания насаждений. Мировая практика убедительно свидетельствует об этом.

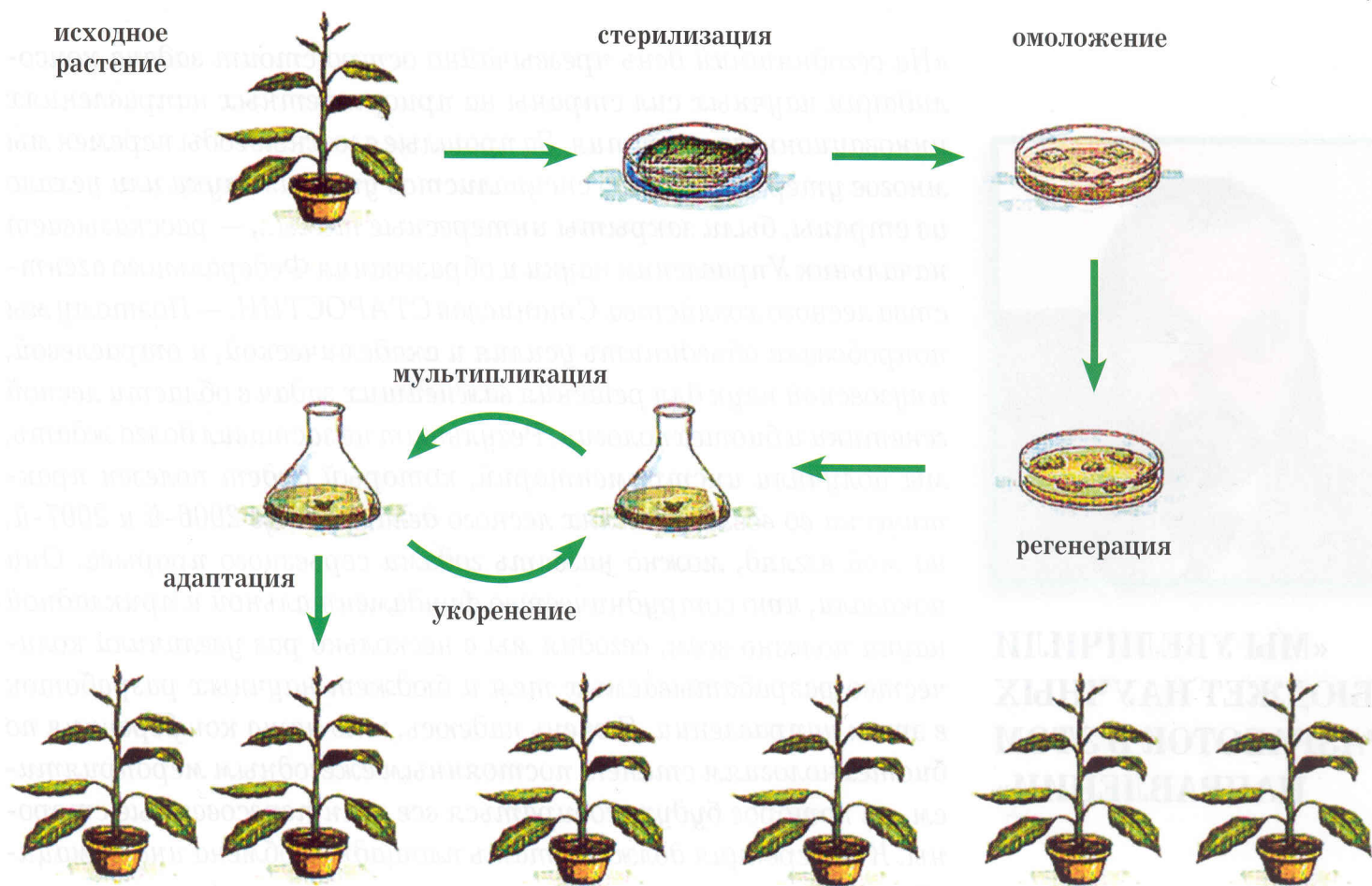
Наиболее яркие примеры эффективного использования ценного генофонда демонстрируют Скандинавские страны, в частности Швеция и Финляндия. Здесь последовательно реализуются селекционные программы создания

искусственных сортов популяций, которыми являются лесосеменные плантации второго порядка, создаваемые потомством элитных деревьев. Семена, собираемые на этих плантациях, гарантируют повышение продуктивности лесов не менее чем на

20%. При этом доля семян основных лесообразующих пород, заготавливаемых на лесосеменных плантациях и используемых при воспроизводстве лесов, составляет около 90% от общего их объема.

Можно отметить многолетний опыт

Технологии культуры *in vitro* растений





интродукции в Швецию ели европейской из Белоруссии. По результатам оценки опытных культур, созданных с использованием белорусских семян, получен однозначный вывод о том, что они обеспечивают повышение продуктивности лесов большее, чем при использовании местных сортов.

Самым большим достижением шведского лесоводства в двадцатом веке считается использование при лесоразведении канадского интродукта — сосны скрученной, превосходящей по скорости роста сосну обыкновенную на 60%. За последние 30 лет

насаждения данного вида созданы в Швеции на площади более полумиллиона гектаров.

В этих странах очень интенсивно ведется селекция березы на качество ствола, а полученные сорта уже несколько десятилетий размножаются с применением технологии *in vitro* в производственных масштабах (см. схему на стр. 10).

Селекционная работа с использованием методов биотехнологии проводится рядом фирм, среди которых лидирует холдинг ArborGen Inc. (США), ежегодно инвестирующий в био-

технологические разработки около 60 млн долларов. Результатом деятельности холдинга являются 2000 (по данным 2006 года) генетически улучшенных форм ели и сосны с повышенной продуктивностью (на 50-100% в сравнении с исходными формами), переданные уже в производство. В соседней Канаде аналогичные работы проводятся фирмой CellFor Inc., которая одной из первых в мире стала применять метод соматического эмбриогенеза для производства искусственного посадочного (включая семенной) материала (лиственница, пихта,



ель, сосна и др.). Ежегодные расходы фирмы на научные исследования в биотехнологической сфере составляют 50 млн долларов.

Тем не менее наиболее передовым достижением методов биотехнологии в лесной отрасли являются технологии ускоренного создания высокопродуктивных форм лесных древесных растений путем генетической трансформации. До стадии коммерческого

использования на сегодняшний день доведены трансгенные древесные породы (тополь) с повышенной устойчивостью к вредителям (формы с геном Vt-токсина) и специфической устойчивостью к гербицидам (на основе фосфинотрицина и глифосата). Следующие кандидаты на коммерциализацию — формы с модифицированным составом лигнинов, устойчивостью к фитопатогенам, мужской стерильностью.

Лидеры в сфере коммерциализации трансгенных лесных пород — США, Канада, Бразилия и Китай.

К числу достижений лесной биотехнологии в таких странах, как Новая Зеландия, Австралия и Бразилия, можно отнести создание форм эвкалипта, продуктивность которых выше продуктивности диких видов в 2-2,5 раза. Данные формы используются в производстве при закладке лесных плантаций.

Роль биологических технологий в лесном хозяйстве



ИСТОРИЯ РОССИЙСКОЙ ЛЕСНОЙ ГЕНЕТИКИ

Трудно с достаточной точностью определить время и место появления лесной генетики в России. Она постепенно выросла из лесоразведения и лесной селекции, то есть из практической задачи получить более продуктивные лесные насаждения, ценные в экономическом плане. Другим источником лесной генетики, несомненно, следует признать общую генетику, бурно развивавшуюся во всем мире. В довоенное время она развивалась, с одной стороны, параллельно и в тесной взаимосвязи с другими разделами генетики, а с другой — несколько в стороне от них, что объясняется особенностями генетического анализа деревьев как организмов с большой длительностью генераций.

К классикам лесной генетики этого периода можно смело отнести В.Н. Сукачева (работы по генетической изменчивости ив, елей и лиственниц), Н.П. Кобранова (наследуемость ранних и поздних форм у дуба), А.И. Колесникова (закладка географических культур сосны, дуба и ясеня). Большое значение имели селекционные объекты, в том числе опыты по внутри- и межвидовой гибридизации, заложенные А.С. Яблоковым.

Судьбы лесной генетики в СССР и России неотделимы от судеб генетики в целом. После разгрома генетики в 1948 г. из ведущих лесных вузов были изгнаны противники лысенковской теории и последователи «вейсманизма-морганизма». Лишь с реабилитацией генетики в 1964 г. В.Н. Сукачев, Л.Ф. Правдин и их соратники стали вновь занимать руководящие должности в вузах и ведомственных лесных институтах.

В 1950-1990 гг. были развернуты широкомасштабные научные и научно-производственные работы по изучению генетики хвойных и лиственных пород. Среди них — закладка и исследования географических культур (М.М. Вересин, А.М. Шутяев,

М.В. Твеленев и др.), опытов по гибридизации (А.С. Яблоков, М.А. Докучаева, Е.В. Титов и др.), ее исследованию в природе (Е.Г. Бобров, С.Н. Горошкевич, В.М. Урусов и др.).

Начиная с середины 1970-х в арсенал методов лесной генетики входит цитогенетический анализ (А.К. Буторина, Т.П. Ильченко, М.В. Круклис, Е.Н. Муратова, Л.С. Мурая, О.П. Шершукова). В 1970-1980-х гг. в стране возникают школы советских генетиков-популяционистов (Ю.П. Алтухов, Л.А. Животовский, Л.Ф. Семериков), которые активно включают виды древесных в число ключевых объектов своих исследований. Инструментарий лесной генетики в СССР пополняется методами биохимической генетики (аллозимного, или изоферментного анализа), которые впервые внедряются на древесных объектах в академических институтах.

После пионерских работ конца 1970-х гг. В.А. Духарева (Институт леса АН СССР и Институт общей генетики АН СССР) и А.Я. Ларионовой (Институт леса и древесины СО АН СССР) с использованием аллозимов в качестве генетических маркеров у хвойных в Институте общей генетики АН СССР работы разворачиваются

сразу в нескольких лабораториях на новом методическом уровне — в Москве, Минске, Уфе, Воронеже, Красноярске и Хабаровске.

В 1980-1990-х гг. — время появления первых работ по микроклональному размножению ценных генотипов хвойных и лиственных (О.С. Машкина, Р.К. Байбурина, В.П. Путенихин), в последние годы продолженные на базе ИБХ РАН (К.А. Шестибратов).

Наконец, в XXI в. настало время для анализа непосредственно геномов древесных растений — участков ДНК, составляющих гены и некодирующие последовательности. Эти работы в настоящее время в России проводятся только в академических институтах Москвы, Екатеринбурга, Иркутска, Петрозаводска и Владивостока. Есть надежда на то, что комбинация традиционных и новых подходов обеспечит выполнение задач по сохранению нашего лесного богатства, повышению продукционных свойств лесов и стабильного получения качественной древесины и недревесных продуктов.

Дмитрий ПОЛИТОВ,
заведующий лабораторией популяционной
генетики Института общей генетики
им. Н.И. Вавилова, доктор биологических наук.

ТРЕБУЕТСЯ ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОМОВ ЛЕСНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ



Традиционный генетический подход, основанный на искусственных скрещиваниях и анализе внешних признаков, в случае древесных растений встречает трудности, связанные с длительным жизненным циклом, низкой наследуемостью хозяйственно ценных свойств и их полигенным, то есть находящимся под контролем многих генов, наследованием. К тому же у растений проявление генетической изменчивости находится под сильным влиянием среды, в которой они растут.

Все это обусловило особое внимание, которое уделяется во всем мире разработке и применению методов, позволяющих быстро и эффективно идентифицировать особи, популяции, экотипы и виды древесных растений, оценивать запас генетической изменчивости в популяциях, уровни различий между особями и популяциями, а также проводить раннюю диагностику ценных в селекционном отношении генотипов.

После открытия роли ДНК как носителя генетической информации стало возможным перейти к количественной оценке генетических параметров, причем не только в искусственной, выровненной среде, но и в природных популяциях. Такими методами начиная с 1970-х гг. стали сначала биохимические мар-

керы генов, а затем и ДНК-маркеры. Постоянно расширяющийся арсенал новых молекулярных методов стал необходимым инструментарием для количественной оценки, контроля и мониторинга генетических показателей.

Достижения современной молекулярной генетики и геномики находят массовое применение как в сфере охраны окружающей среды, так и в разнообразных генетико-селекционных программах по улучшению свойств деревьев, повышающих продуктивность и устойчивость лесных древостоев. Области применения молекулярно-генетических маркеров можно условно объединить в четыре большие группы.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Это генотипирование организмов с целью определения их географического происхождения и филогенетического анализа на любом таксономическом уровне — от рода, вида и

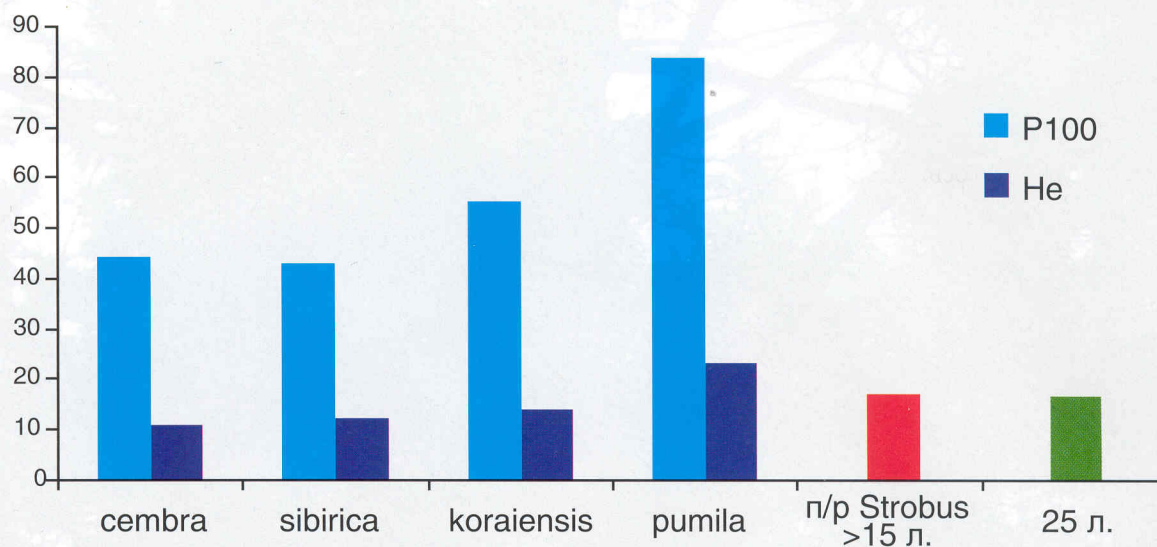
популяции до конкретного лесосеменного объекта, отдельной особи или вегетативного клона. К этой области относятся также идентификация гибридов, генетическая паспортизация и основанная на ней сертификация. Простым примером является задача определения того, собраны ли семена на данном лесосеменном объекте или в другом месте. Эта задача решается с помощью ДНК.

Восстановление схем расположения клонов на плантациях, где они утрачены или где реальный состав генотипов не соответствует схеме, является также несложной задачей для аллозимных и ДНК-маркеров. Точно так же можно точно определить с помощью молекулярных маркеров, является ли особь межвидовым гибридом или нет. Наши исследования в Ивантеевском дендрарии позволили выявить, какие именно из деревьев, числящихся искусственными гибридами сибирского и корейского кедра, действительно имеют гибридное происхождение.

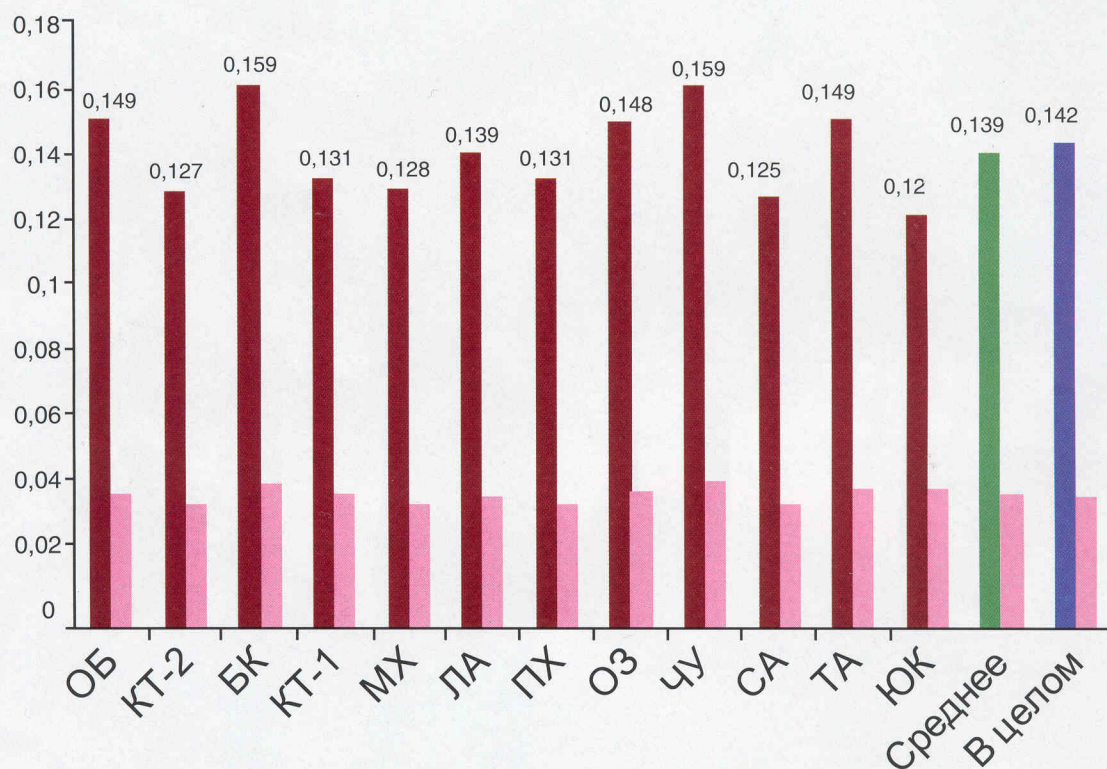




Лишь четыре дерева оказались гибридами, остальные представляли собой *Pinus sibirica*. Гибриды резко, примерно в три раза выделялись по скорости роста (по объему ствола)...



Исследования четырех видов кедровых сосен показали высокий и в целом характерный для сосновых и сосен подрода *Strobis* уровень генного разнообразия.



В значительной степени различаются запасы генетической изменчивости и популяции в пределах вида. И эти количественные оценки стали возможны лишь благодаря использованию молекулярных маркеров.

ОЦЕНКА И МОНИТОРИНГ УРОВНЕЙ ГЕНЕТИЧЕСКО- ГО РАЗНООБРАЗИЯ

Это количественное определение запаса генетической изменчивости видов и популяций, что является основой устойчивости и селекционного (в т.ч. продукционного) потенциала лесных популяций. Поскольку молекулярная изменчивость не зависит от среды и стадии развития, молекулярные технологии фактически обеспечивают экспресс-оценку ее уровня в конкретных насаждениях или партиях семян.

Весьма важные показатели объединяются в группу параметров, обычно называемых системой скрещивания. С их помощью оценивают количественно, в какой степени родственны особи, между которыми происходят скрещивания, то есть степень инбридинга. Известно, что при скрещиваниях между родственниками запас изменчивости в последующих поколениях уменьшается. Среди инбредных семян больше пустых, они хуже всходят, сеянцы в среднем медленнее растут. Кроме того, такое инбредное потомство обычно обладает ухудшенными лесоводственными свойствами.

Лишь с появлением молекулярных маркеров стало возможным оценивать процент самоопыления на любых, даже на самых ранних стадиях. При использовании аллозимных и микросателлитных локусов выяснилось, что на ранних стадиях этот процент достаточно высок, а у взрослых деревьев обычно гораздо ниже. То есть в лесных популяциях проводится как бы самоочистка от инбредного потомства. Этот факт обязательно нужно учитывать при проведении лесоводственных мероприятий.

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ

Речь идет о степени выраженности различий между сравниваемыми по-

пуляциями, группами особей, выделенных по тому или иному признаку, или отдельными особями. Проведенные во многих странах, в том числе и в России, исследования позволили выявить географическую приуроченность молекулярно-генетической изменчивости основных лесообразующих хвойных и лиственных видов к географическим регионам. Эти данные, при условии методической отработки и использования большого числа разнообразных маркеров, отражают интегральные оценки генетических различий и могут быть использованы в дополнение к традиционному подходу (оценка скорости роста географических культур) при уточнении схем лесосеменного районирования.

СЕЛЕКЦИЯ С ПОМОЩЬЮ МАРКЕРОВ

Это улучшение селекционных свойств лесных пород с помощью быстрой молекулярной диагностики потомства, обладающего ценными свойствами. Большинство традиционных ДНК-маркеров селективно нейтральны, то есть они при всей своей высокой изменчивости и удобстве анализа слабо связаны с различиями между особями в популяции по тем самым признакам, по которым требуется получить селекционный эффект. Для поиска этих взаимосвязей применяется подход, известный как генетическое картирование генов количественных признаков.

На Западе разрабатываются новые маркеры, являющиеся генами — кандидатами на генетический контроль хозяйственно важных признаков. Следует особо подчеркнуть, что все это возможно лишь при достаточном уровне изучения геномов лесных древесных растений. К сожалению, приходится констатировать, что в России для подавляющего большинства видов хвойных и ли-

ственных деревьев геномы изучены крайне слабо.

Хотелось бы особо подчеркнуть огромное значение изучения и охраны лесных генетических ресурсов России, где сохранились практически последние на Земле участки бореальных лесов с нативной генетической структурой, в том числе девственные старовозрастные леса.

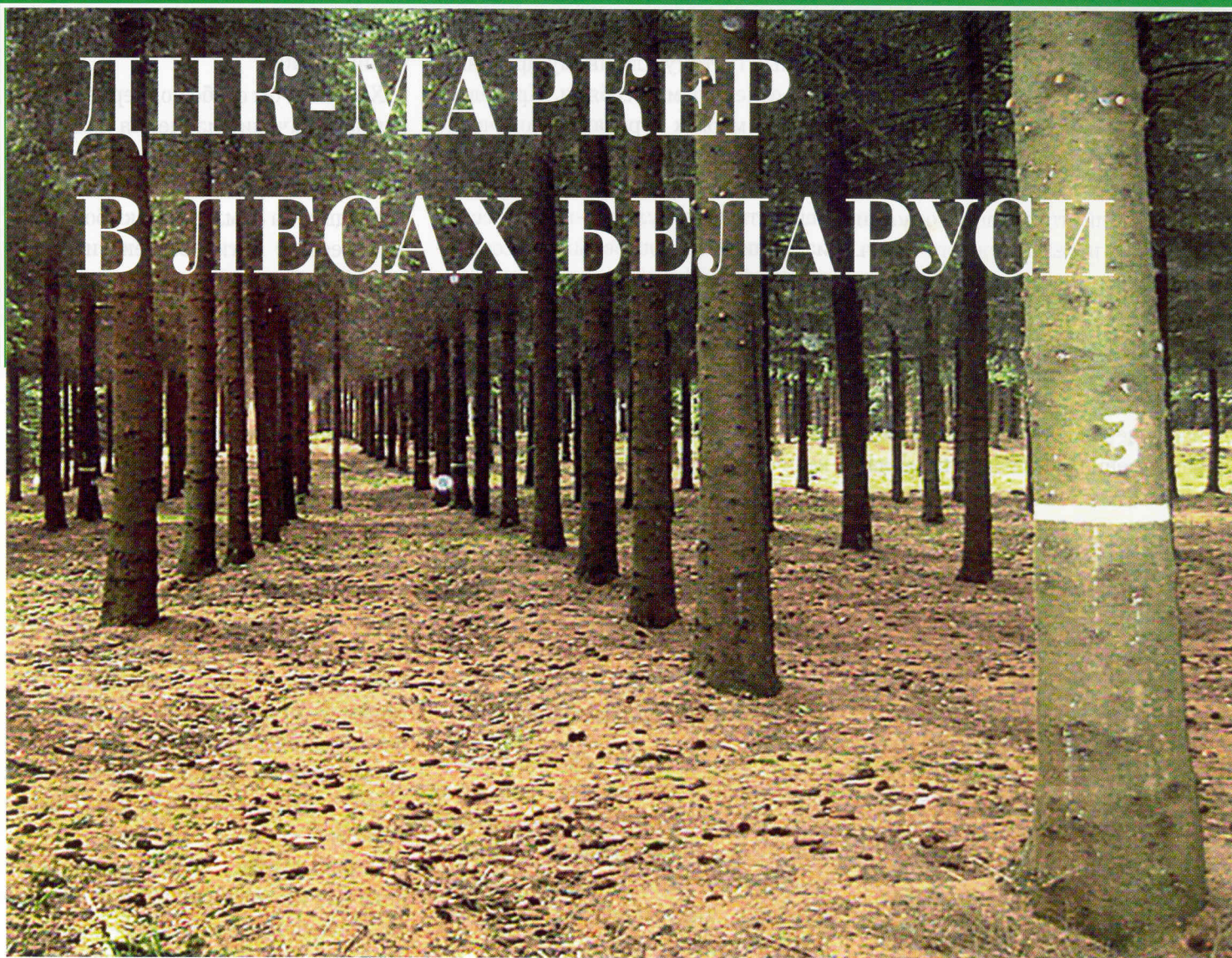
Получение с помощью молекулярных маркеров данных о нативной популяционно-генетической структуре хвойных и лиственных видов является основополагающим при разработке мероприятий по консервации лесных биологических ресурсов. В то же время сравнение генетико-популяционных показателей у природных популяций и для объектов ЕГСК позволяет оценить эффективность селекционных программ и мероприятий по сохранению генетических ресурсов, а также организовать мониторинг генетического разнообразия в масштабах страны.

Перспективы молекулярно-генетических исследований в области лесной генетики пока встречаются много трудностей, связанных с недостаточным финансированием — лишь в рамках фундаментальных программ РАН, отсутствием комплексных целевых программ, которые позволили бы объединить усилия академических исследований с потенциалом Рослесхоза и внедрять в практику разработки ученых-генетиков, отсутствием единого координирующего центра.

При условии преодоления этих препятствий молекулярные методы способны стать ключевым инструментом в обеспечении надежной охраны и устойчивого использования лесных генетических ресурсов России.

Дмитрий ПОЛИТОВ,
заведующий лабораторией популяционной
генетики Института общей генетики
им. Н.И. Вавилова, д.б.н.

ДНК-МАРКЕР В ЛЕСАХ БЕЛАРУСИ



В настоящее время ДНК-маркеры нашли широкое применение в различных областях биологии, медицины, криминалистики, сельского и лесного хозяйства. В Беларуси молекулярно-генетические исследования лесных пород начали проводиться с 2000 года. На начальном этапе исследований, в рамках проводимых государственных программ, были разработаны методические основы молекулярно-генетического анализа лесообразующих пород и лесных насекомых Беларуси, что позволило перейти к внедрению методов ДНК-маркирования на различных объектах Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. Основными типами используемых маркеров явились: RAPD, SSR, PCR-RFLP, SCAR, EST, SNP.

На нынешнем этапе исследования с применением ДНК-маркеров проводятся по следующим направлениям: оценка состояния генетических ресурсов популяций различных лесных растительных и животных видов, генетическое обеспечение в ходе проведения селекционных программ, анализ объектов лесосеменного фонда, выявление и идентификация фитопатогенов, анализ биотехнологического материала.





В области популяционно-генетических исследований были изучены как основные лесобразующие породы Беларуси (сосна, ель, береза и дуб), так и различные виды лесных насекомых (черный аполлон, сосновый шелкопряд, короед типограф). Для популяций данных видов наряду с использованием изоферментного анализа были получены данные об уровне генетической изменчивости, степени подразделенности и дифференциации на территории Беларуси.

В сфере генетического обеспечения селекционных программ и анализа объектов лесосеменной базы выполняются работы по генетической паспортизации элитных и плюсовых деревьев сосны обыкновенной и ели европейской, ценных генотипов березы карельской. К настоящему времени в рамках Государственной научно-технической программы ин-

новационного фонда МЛХ РБ (2006-2010 гг.) проведена генетическая паспортизация и составлены уникальные многолокусные портреты 298 элитных и плюсовых деревьев, проанализирована генетическая структура и определен уровень генетической изменчивости четырех лесосеменных плантаций 2-го порядка, представленных 20 различными блоками, двух архивно-клоновых плантаций, четырех генрезерватов. Кроме древесных пород генетическая паспортизация была проведена для хозяйственно ценных сортов ряда лесных ягодных видов (клюква болотная и крупноплодная, голубика топяная и высокая, брусника), штаммов культивируемых грибов (вешенка обыкновенная, шиитаке). Другим направлением в области селекционных исследований является выявление и анализ генов, кодирующих хозяйственно ценные

признаки, такие как узорчатость древесины, содержание лигнина и смолопродуктивность.

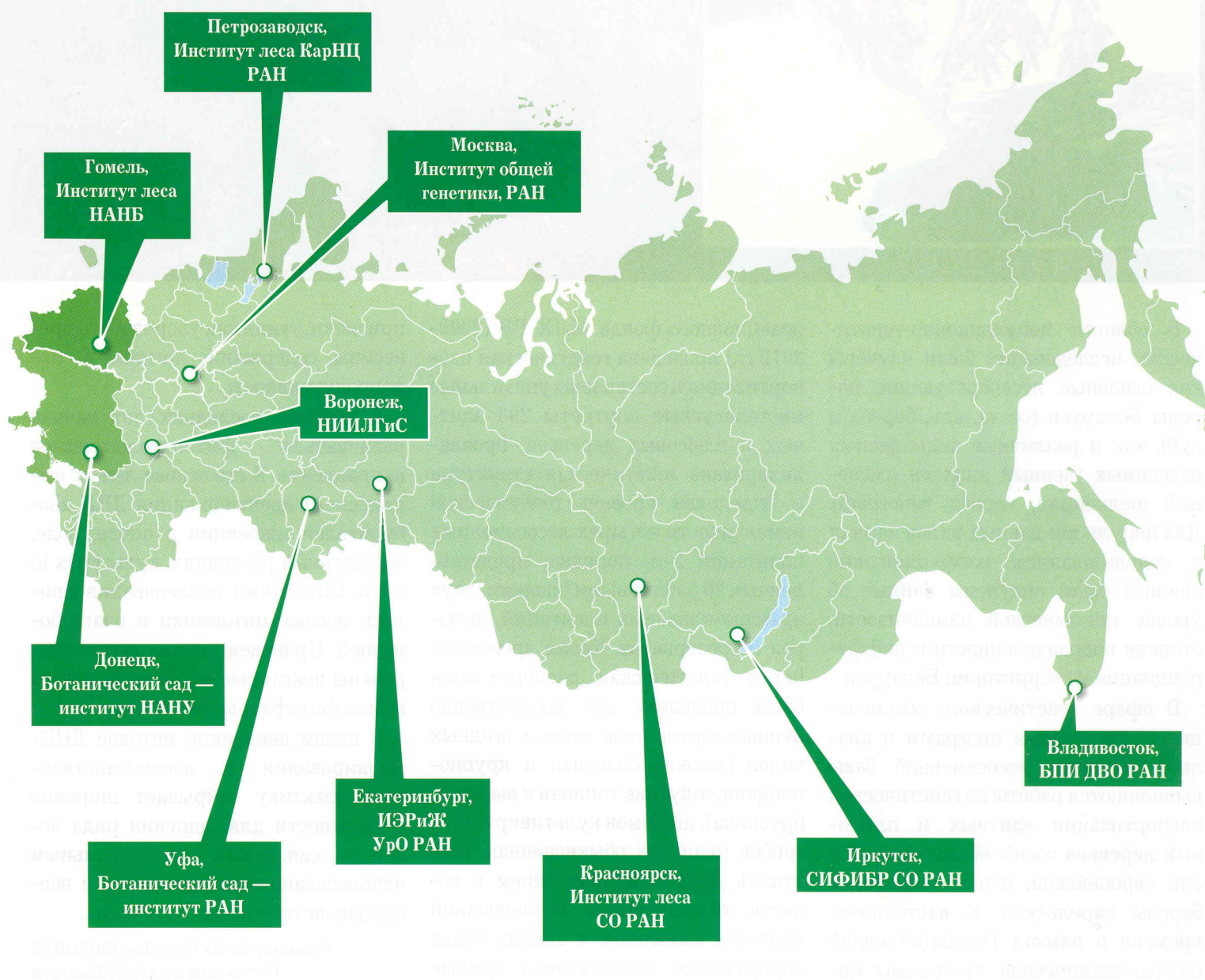
В течение последних лет начало развиваться фитопатологическое направление. В его основе лежит выявление и идентификация ДНК возбудителей инфекции в почве, воде, зараженных растениях, культурах *in vitro*. Объектами исследования явились лесные питомники и очаги болезней. Проведен анализ и секвенированы некоторые штаммы корневой гнили, фитофторы, питиума.

В целом внедрение методов ДНК-маркирования в лесохозяйственную практику открывает широкие возможности для решения ряда аспектов, связанных с рациональным использованием, сохранением и воспроизводством лесных ресурсов.

Владимир ПАДУТОВ, Олег БАРАНОВ,
Институт леса НАН Беларуси

ГЕОГРАФИЯ

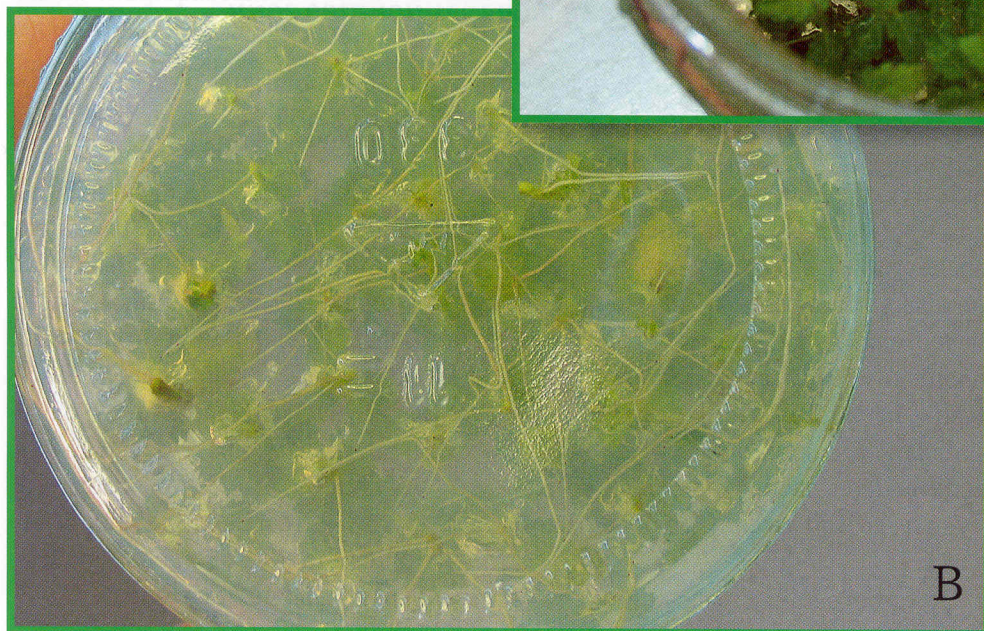
ОРГАНИЗАЦИИ, ВЕДУЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ДЕРЕВЬЕВ С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ



КАК СНИЗИТЬ СЕБЕСТОИМОСТЬ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ?

Потенциальные возможности технологии клонального микроразмножения практически безграничны. При условии, что коэффициент мультипликации — кратность увеличения объема растительного материала за один месячный пассаж — равен 5, теоретически достижимый объем партии микрорастений к концу 12-го пассажа составляет почти 50 млн. Конечно же, на практике реализовать потенциальные возможности в полном объеме невозможно. Тем не менее производственная лаборатория будет экономически рентабельной уже при годовом объеме микрорастений свыше 1 млн шт.

Для промышленного размножения лесных древесных растений методом клонального микроразмножения очень важно использовать в качестве исходного материала ценные формы, сорта, гибриды. Для этого нужно знать биологические особенности вида, его селекционное значение. Разработанная авторами технология адаптирована к трем генотипам березы бородавчатой, двум — березы пушистой, трем — березы карельской, одному генотипу березы чернокорой и двум формам осины — зеленокорой и исполинской. Все фор-



Клонально микроразмноженный посадочный материал березы бородавчатой — укорененные микрорастения *in vitro*. А — вид сверху; Б — вид снизу, корневая система микрорастений.



Любые манипуляции с растительным материалом по технологии проводятся в ламинарном шкафу, который обеспечивает подачу стерильного воздуха в операционную зону.

мы обладают своими отличительными особенностями: березы бородавчатая, пушистая и чернокорая — быстрым ростом; карельская береза — особыми видами узорчатости в сочетании с быстрым ростом; осина — устойчивость к сердцевинной гнили, быстрым ростом и более длинным волокном древесины по сравнению с обычными формами. Технология хороша своей универсальностью, при одних и тех же условиях эффективное клональное микроразмножение достигается у всех отобранных генотипов. Условия культивирования и манипуляции с

растительной тканью оптимизированы таким образом, что позволяют достичь следующих значений основных технологических показателей: коэффициент мультипликации — 5, эффективность укоренения — 90%, производительность — 20 тысяч микрорастений/год с 1 кв. метра полезной площади светокультурного стеллажа. При использовании пятиярусных стеллажей с одного кв. метра производственной лаборатории можно получить до 100 тысяч микрорастений в год.

Стоимость таких растений состав-

ляет 8-10 рублей при объеме годового производства 10 тысяч растений, 5-7 рублей — при 100 тысячах в год, 3-5 рублей — при 1 млн в год. Для сравнения нужно сказать, что на сегодняшний день средняя рыночная цена клонально микроразмноженных растений древесных и кустарниковых декоративных культур колеблется от 15 до 25 рублей. Цена достаточно высокая, но вызвана она, с одной стороны, малыми объемами производства, а с другой — готовностью покупателей приобретать за эти деньги качественный посадочный материал.



Клонально микроразмноженный посадочный материал *in vitro* осины исполинской — укорененные микрорастения в контейнере с питательной средой.

Процесс микрочеренкования стеблевой культуры осины.

Известно, что в любом производстве для снижения стоимости продукции необходима максимально возможная автоматизация технологического процесса. В сфере клонального микроразмножения уже разработан ряд серийных установок, существенно ускоряющих процесс и снижающих себестоимость продукции. Однако нужно отметить, что такие установки отличаются высокой степенью специализации. Например, аппарат для высадки микрорастений в грунт можно адаптировать для небольшого числа видов. Использование таких нововведений оправданно, если признано, что без них не решить возникших перед предприятием проблем.

В настоящее время авторы работают над производством первой опытной партии посадочного материала микрорастений осины и березы, вместе с этим определенные усилия прикладываются в направлении снижения себестоимости продукции. Снижение расхода электроэнергии, повышение густоты посадки, замена импортных реактивов и расходных материалов на отечественные аналоги — вот основные пути, выбранные для даль-



нейшего снижения себестоимости продукции и повышения рентабельности разработанной технологии.

Разработанная технология должна найти применение в лесном хозяйстве и обеспечить решение следующих задач: ускорить селекционный процесс (сократить время, затрачиваемое на создание новых гибридов и сортов лесных древесных растений, по крайней мере в 2-3 раза), сократить время, затрачиваемое на массовое

производство посадочного материала новых ценных генотипов, с 20-30 лет (в зависимости от породы) до 2-3 лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства лесного хозяйства (государственный контракт № 06-06/69К).

Константин ШЕСТИБРАТОВ,
филиал Института биоорганической химии
им. академиков М.М. Шемякина
и Ю.А. Овчинникова Российской академии
наук, Пущинский научный центр РАН

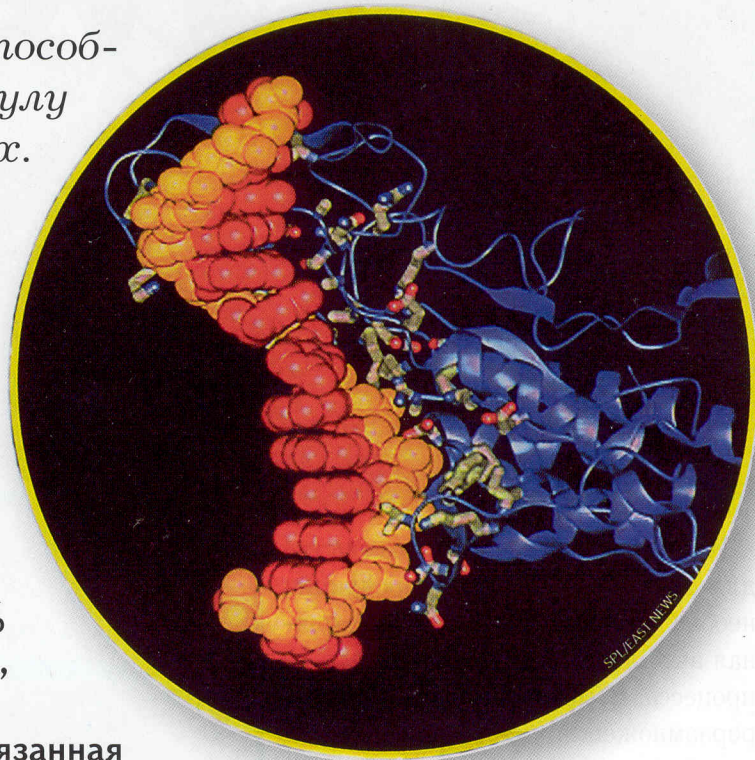
ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Эндонуклеазы рестрикционные способны вырезать чужеродную молекулу ДНК в определенных участках.

Для выведения перспективных пород растений применяется генная инженерия. У деревьев могут осуществляться модификации лигнина, изменяется содержание целлюлозы, сроки цветения, увеличивается образование гормонов (ауксина), устойчивость к гербицидам и др.

Так, у трансгенного тополя удалось на 45% снизить содержание лигнина и на 15% повысить содержание целлюлозы (Fladung, 2000).

Важной представляется оценка риска, связанная с интродуцированием в природную среду трансгенных растений. Исследования трансгенных растений должны непременно опережать их коммерциализацию.



Обычное сырье



Трансгенное сырье

На 6% ниже расходы по химической делигнификации, на 3% выше выход пульпы. Стоимость пульпы уменьшается на 15\$/м³.

ДЛЯ ПУЩЕЙ АБСОРБЦИИ

Сотрудникам американского университета Пердью удалось получить генетически модифицированные тополя, которые быстро и эффективно извлекают из окружающей среды крайне опасные загрязнители.

Так, например, черенки этих деревьев, выращиваемые гидропонным способом, за неделю абсорбировали из питательного раствора 90 процентов трихлорэтилена — крайне токсичного промышленного растворителя.

Весьма обнадеживающие результаты получены и в отношении других опасных загрязнителей — хлороформа, бензина, винилхлорида, тетрахлорметана. Причем процесс абсорбции такими трансгенными тополями происходит в 100 раз быстрее, чем их простыми «коллегами».

Ричард Мейлон, руководитель проекта, считает, что пришло время испытать санитаров почв в полевых условиях, высадив, например, их на месте бывшего нефтехранилища в местечке Кокмо (штат Индиана). Через три года (с учетом того, что половой зрелости деревья этой породы достигают к пяти годам) высадку предполагается уничтожить, чтобы предотвратить экспансию искусственных генов в дикую природу.

... Я СПРОСИЛ У «ТРАНСГЕННОГО» ТОПОЛЯ...

Генная инженерия применяется для получения генетически модифицированных деревьев, обладающих новыми признаками, которые нельзя получить традиционными способами селекции. К настоящему времени известно несколько подходов повышения продуктивности деревьев с помощью методов генной инженерии:

1) ускорение прироста древесины путем повышения доступности питательных веществ или переключения метаболизма только на вегетативный рост,

2) улучшение качества древесины,

3) сокращение потерь во время выращивания путем повышения устойчивости к вредителям и болезням,

4) сокращение потерь во время лесозаготовок путем создания растений с наиболее оптимальными характеристиками габитуса.

Наиболее разработанным подходом является повышение доступности неорганического азота для растений. С

этой целью используется ген глутаминсинтазы, которая катализирует превращение аммония в глутамин, являющийся предшественником глутамата и всех азотсодержащих компонентов, необходимых для роста растения. Исследования в этом направлении интенсивно ведутся в ряде стран, и полевые испытания трансгенного тополя с усиленной экспрессией глутаминсинтазы, проведенные в Испании, показали на третий год вегетации ускорение в росте на 41% по сравнению с контролем. В нашем институте получен ряд трансгенных линий ценных генотипов березы пушистой (*Betula pubescens*) и осины (*Populus tremula*) с геном глутаминсинтазы GS1 из сосны обыкновенной. Сейчас проводится анализ экспрессии и отбор перспективных линий.

Повышение выхода древесины также может быть достигнуто путем блокирования развития генеративных органов. В этом случае все мета-

болиты направляются на рост вегетативной массы. Генная инженерия предлагает несколько подходов для индукции стерильности у древесных культур. Такие стерильные растения также представляют большой интерес с точки зрения биобезопасности, так как отсутствует риск передачи трансгенов с пылью. Еще одним способом повышения продуктивности является повышение относительного содержания в древесине ценных компонентов, например целлюлозы, путем подавления синтеза лигнинов. Продуктивность может возрасти и путем придания устойчивости растений к вредителям и болезням. С целью повышения устойчивости осины к сердцевинной гнили нами получены растения с геном зеаматина, который обладает антигрибной активностью.

Вадим ЛЕБЕДЕВ,
филиал Института биоорганической химии
им. академиков М.М. Шемякина
и Ю.А. Овчинникова РАН

БИБЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Трансгенные растения по состоянию на 2007 год занимали 7 процентов от всех посевных площадей. Начиная с момента своего появления на полях в 1996 году площади трансгенных растений ежегодно возрастали на 10–15% и достигли к прошлому году 114 млн га. При этом также увеличивается ассортимент этих растений и количество стран, в которых они выращиваются. Это свидетельствует о прочных позициях, которые занимают трансгенные растения на рынке. Основными их преимуществами являются сокращение затрат при выращивании по сравнению с традиционными системами и сокращение применения ядохимикатов, что положительно сказывается на окружающей среде.

Однако вместе с расширением посадок трансгенных культур возникает вопрос их биобезопасности. Эта обеспокоенность вызвана тем, что генетически модифицированные растения появились относительно недавно и мы не имеем достаточно информации о последствиях их использования в пищу и выращивания. В связи с этим в обязательном порядке проводится оценка биобезопасности трансгенных растений, которая ведется в двух направлениях — безопасность для употребления в пищу и безопасность для окружающей среды. Именно на оценку биобезопасности генетически модифицированных растений приходится значительная часть затрат на выведение трансгенного сорта.

Растения, используемые в пищу, проходят многоступенчатую проверку. Оценка пищевой безопасности трансгенных сельскохозяйственных культур и полученных из них продуктов питания осуществляется путем их сравнения с нетрансгенными аналогами, с использованием при этом концепций «осведомленности» и «эквивалентности».

Концепция «осведомленности» основана на том, что аналогом генетически модифицированного растения является сельскохозяйственная

культура с хорошо изученной биологией и в данном случае оценка риска направлена на выявление различий в биологических параметрах и системах выращивания.

Концепция «эквивалентности» по существу основана на том, что аналог генетически модифицированного продукта имеет историю безопасного употребления в пищу и оценка риска направлена на выявление различий в пищевых параметрах. В целом же оценка пищевой безопасности включает: 1) оценку безопасности перенесенного генетического материала (ДНК), 2) оценку безопасности нового белка — проверку его возможной токсичности и аллергенности, 3) оценку безопасности употребления в пищу трансгенных растений целиком или полученных из него продуктов питания — оценку их питательной ценности и возможных непредвиденных эффектов. Таким образом, все трансгенные растения, допущенные на рынок, проходят весьма жесткий контроль их биобезопасности. Следует упомянуть, что самые обычные, нетрансгенные продукты также могут быть токсичными (например, картофель содержит алкалоиды), аллергенными (арахис, орехи) или содержать антинутриенты (картофель, кукуруза, томат).

Другой аспект биобезопасности трансгенных растений — это оценка их возможного воздействия на окружающую среду. С этой целью проводятся полевые испытания генетически модифицированных культур в условиях естественного агробиотенноза для оценки новых признаков, переданных путем генной инженерии, и их влияния на окружающую среду. Только на основе проведения полевых испытаний можно дать объективную оценку безопасности полученных трансгенных растений и их пригодности для дальнейшего коммерческого использования. В первую очередь при полевых испытаниях оценивается вероятность переноса чужеродного генетического материала из трансгенных растений в их дикорастущие родственные культуры путем скрещивания (т.н. вертикальная утечка генов).

Вертикальная утечка генов — это перенос генетического материала от родительского растения своим потомкам, причем потомки происходят в результате скрещивания между близкородственными видами. В этом случае утечка осуществляется через пыльцу при переопылении генетически модифицированных растений с нетрансгенными культурными растениями или же родственными сорными



Полевые испытания трансгенного тополя во Франции (Pilate et al., 2002)

или дикорастущими видами. Следует помнить, что продвижение генов (интрогрессия) из сельскохозяйственных культур в дикие родственники началось с того момента, как человек занялся селекцией, т.е. несколько тысяч лет назад. Именно в целях предотвращения этого явления растения для получения сортовых семян располагают на специальных участках, расположенных вдали от посевов того же вида, а сорные растения в непосредственной близости уничтожают. Различие между природным процессом интрогрессии и утечкой генов из трансгенных растений заключается в том, что гены, встроенные в генетически модифицированные растения, часто получены не из растений, а из

других организмов. Эти признаки никогда не были представлены в популяции родственных диких растений, так как этих генов не существовало в растительном геноме.

Вероятность утечки генов через пыльцу зависит от ряда экологических и генетических факторов. Например, такие свойства цветка, как самонесовместимость и высокая степень перекрестного опыления, усиливают утечку, а самосовместимость, высокий уровень самоопыления и ограниченное распространение пыльцы — уменьшают. Другими факторами могут быть тип опылителя и его поведение, пространственная структура и плотность популяции растений, степень перекрытия цветения и совместимость

между сортом и диким родственником, а также жизнеспособность гибридного потомства.

Для трансгенных лесных пород на первом месте стоят вопросы экологической биобезопасности. Это связано с тем, что вопросы пищевой биобезопасности для них неактуальны, но особое значение приобретает возможность переноса встроенных генов с пыльцой, которая у лесных культур способна переноситься на десятки километров. К настоящему времени разработано несколько стратегий, направленных на блокирование цветения таких растений. Помимо предотвращения распространения генов с пыльцой, они также будут способствовать повышению продуктивности



Полевые испытания трансгенной груши (Россия, филиал ИБХ РАН, 2006)



Трансгенный нецветущий табак (справа), контрольное нетрансгенное растение (слева)

лесных плантаций за счет направления продуктов метаболизма исключительно на вегетативный рост.

Сейчас известно и используется четыре генно-инженерных подхода для предотвращения распространения чужеродного генетического материала с пылью трансгенных деревьев: 1) абляция, 2) эксцизия, 3) репрессия, 4) супрессия генов. Абляция представляет собой разрушение тканей цветка или нарушение их нормальной деятельности. При этом используются тканеспецифические промоторы, управляющие работой гена-разрушителя, обычно кодирующего цитотоксин. Этот метод требует тщательного подбора промотора и цитотоксина, так как даже слабая «утечка» экспрессии нарушает рост дерева.

Метод эксцизии заключается в удалении чужеродных генов до момента распространения пыльцы путем

использования системы сайт-специфичной рекомбиназы. Этот метод не влияет на фертильность дерева и может обеспечить защиту только от переноса трансгенной ДНК, но не от распространения пыльцы экзотических видов деревьев.

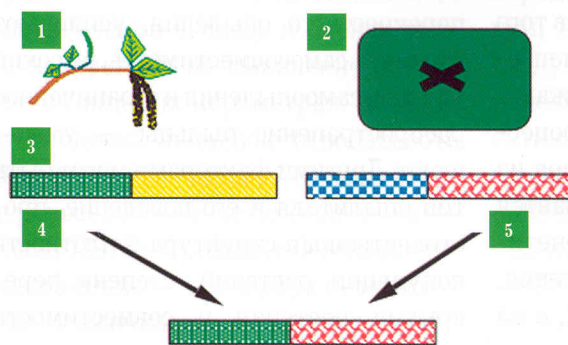
Репрессия — это задержка цветения путем модификации экспрессии генов, которые усиливают вегетативный рост или подавляют переход к росту репродуктивных органов. Этот метод может отсрочить, но не полностью предотвратить цветение, однако, если предполагается короткий цикл ротации данного вида дерева, то этого метода достаточно для целей биобезопасности.

Наконец, супрессия генов представляет собой подавление активности генов, необходимых для репродукции, на уровне ДНК, РНК или белка. Блокирование с помощью метода, основанного на технологии РНК-интерференции, является одним из наиболее перспективных

методов предотвращения цветения, уже доказавших свою эффективность.

На сегодняшний день только в Китае существуют коммерческие насаждения трансгенных деревьев — тополя с устойчивостью к вредителям. Однако в ближайшее время ожидается коммерциализация трансгенных лесных пород еще в нескольких странах. Считается, что в США это будут холодоустойчивый эвкалипт и сосна лучистая с ускоренным ростом, в Бразилии — эвкалипт с ускоренным ростом и устойчивостью к гербицидам, в Чили — сосна лучистая с устойчивостью к вредителям и с уменьшенным содержанием лигнина. Несомненно, что при создании всех этих трансгенных деревьев учитывается фактор биобезопасности и их выращивание не будет представлять никакой угрозы для окружающей среды.

Вадим ЛЕБЕДЕВ, Ярослав БУРЬЯНОВ, филиал Института биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН.



1. Береза
2. *Bacillus amyloliquefaciens*
3. Промотор
4. Тканеспецифичный ген
5. BARNASE ген
6. Нецветущая береза

Схема получения нецветущей березы, на основе метода абляции. (Lammettyinen, 2003)

КАКОЕ СЕМЯ...

СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОГО СЕМЕНОВОДСТВА В РФ

Плюсовые деревья основных
лесообразующих пород
43 тыс. шт.

Плюсовые насаждения
17 тыс. га

Лесосеменные плантации
(ЛСП)

8 тыс. га

Постоянные лесосеменные
участки (ПЛСУ)
45 тыс. га

С объектов постоянной лесосе-
менной базы заготавливается
семян от общего объема
15%

Доля улучшенных семян, заго-
тавливаемых с ЛСП от общего
объема их заготовки
5%

В нашей стране успехи в применении генетико-селекционных методов при воспроизводстве лесов и создании плантационных культур следует признать довольно скромными. Доля улучшенных семян, используемых при воспроизводстве лесов, составляет несколько процентов от их общего объема. Это объясняется не только недостаточным вниманием к этому направлению на федеральном уровне, но и рядом объективных обстоятельств, к числу которых следует отнести прежде всего незаинтересованность бывших лесхозов в использовании генетически улучшенного материала, отда-

чу от которого можно ожидать через десятилетия.

Требование нового Лесного кодекса о запрете использования нормальных семян при наличии генетически улучшенных, а также предоставляемая им возможность по долгосрочной аренде участков лесного фонда должны привести к изменению ситуации.

Конечно, в стране есть динамика роста объемов работ по созданию лесосеменных плантаций и заготовке семян с них, есть результаты масштабного эксперимента по закладке и изучению географических культур, с использованием которых разработано лесосеменное районирование,

выведен ряд сортов тополей и других видов лесных растений. Однако имеющийся генофонд сортов и форм используется при воспроизводстве лесов очень ограниченно.

Необходимость изменения положения дел в данной области, увеличения темпов, масштаба работ, а также расширения их направлений, с учетом достижений мировой и отечественной науки, представляется очевидной.

В определенной степени этому способствует введенная Рослесхозом система целевого финансирования работ по созданию и содержанию объектов единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК) в стране.



ЕГСК... В НАЧАЛЕ ПУТИ

Искусственное создание и воспроизводство лесов в нашей стране имеет давнюю историю. Первые единые генетикоселекционные комплексы (ЕГСК) закладывались еще в начале 70-х годов прошлого столетия. Казалось бы, есть многолетняя традиция, ведутся научные разработки. Однако специалисты опасаются, что все это может быть потеряно.

Изначальная цель создания ЕГСК — это обеспечение работ по воспроизводству лесов семенами с улучшенными наследственными свойствами (сортовые и улучшенные). Создание банка таких семян обеспечит повышение продуктивности качества и устойчивости насаждений. Семена с улучшенными наследственными свойствами позволяют повысить продуктивность лесов не менее чем на 10-15%. Однако путь к такому результату — кропотливый и затратный.

Первый этап в ходе плюсовой селекции — это селекционная инвентаризация насаждений отбором лучших

деревьев и насаждений. Плюсовые деревья значительно превосходят своих «собратьев» по делянке по хозяйственно ценным признакам, они как минимум на 10% выше окружающих деревьев и на 30% превосходят их по диаметру. Ствол такого дерева — прямой, полнодревесный и хорошо очищенный от сучьев. И уж конечно дерево не должно иметь никаких признаков повреждений вредителями и болезнями.

Черенки и семена таких деревьев используют для создания лесосеменных плантаций первого порядка, которые производят улучшенные семена. После того как такие плантации да-

дут семенное потомство (до этого момента должно пройти не менее 7 лет), необходимо провести его испытание. Испытательные культуры плюсовых деревьев создают семенным потомством не менее пятидесяти плюсовых деревьев. Их наследственные свойства испытываются. Создается генетический портрет плантации, с которым сравнивают свойства полученных семян. Другими словами, необходимо убедиться в том, что полученные на плантации семена действительно «родились» от избранных плюсовых деревьев, а не в результате случайного опыления соседствующими с плантацией деревьями. И только в случае

получения положительного результата из плюсовых деревьев отбирают лучшие, или элитные. Потомство элитных деревьев используют для создания лесосеменных плантаций второго порядка. И уже эти плантации производят сортовые семена, из которых рождаются исключительно деревья самого высокого качества.

Самый яркий пример наиболее эффективного использования ценного лесного генофонда — это страны Скандинавии. Семена, собираемые на плантациях второго порядка в этих странах, уже сейчас гарантируют повышение продуктивности лесов не менее чем на 20%. Причем доля сортовых семян — 90% от общего числа заготавливаемых на лесосеменных плантациях. В Швеции государство провело серьезную образовательную программу среди населения. И теперь элитные деревья здесь выращиваются на частных плантациях.

В нашей стране до этого еще далеко. Пока у нас вообще нет плантаций второго порядка. В большинстве регионов мы находимся на этапе создания плантаций для производства



Наименование объектов ЕГСК	Ед. изм.	Наличие объектов ЕГСК (на 01.01.2008 г.)
Плюсовые деревья	тыс. шт.	36,8
Плюсовые насаждения	тыс. га	15,3
Лесосеменные плантации — всего	тыс. га	6,66
Из них — ЛСП повышенной генетической ценности	га	191
Аттестованные ЛСП	тыс. га	4,55
ПЛСУ — всего	тыс. га	24,4
Из них — аттестованные ПЛСУ	тыс. га	18,8
Маточные плантации плюсовых деревьев	га	210
Архивы клонов плюсовых деревьев	га	567
Испытательные культуры	га	907
Географические культуры	га	2082
Лесные генетические резерваты	тыс. га	204,7

улучшенных семян. На лесосеменных плантациях страны уже удалось получить улучшенные семена, но доля их использования в воспроизводстве лесов не более 7%. Испытания полученных семян пока не проведены, и потому говорить о создании плантаций элитных деревьев пока не приходится. Тем не менее благодаря работе генетиков получен инструмент и разработаны методики по формированию таких плантаций и получению сортовых семян. Сейчас специалисты Рослесозащиты просматривают варианты закупки необходимого оборудования для проведения анализа ДНК. Уже сейчас нужно создавать систему жесткого контроля за использовани-



НЕОБХОДИМЫ:

- Разработка и последовательная реализация программы генетического улучшения лесов России.
- Разработка механизма использования результатов генетико-селекционных работ в лесном комплексе.
- Разработка стратегии развития работ по созданию лесных плантаций и соответствующей нормативной базы.
- Создание биотехнологических центров с учетом потребности крупных предприятий лесной промышленности в сырье.



ем лесных семян на всех этапах — от заготовки до высева. В свою очередь, для того, чтобы создать такую систему контроля, нужно разработать методы, позволяющие определять принадлежность партии семян конкретному лесосеменному объекту или месту заготовки. А для этого — разработать методику создания генетического паспорта лесосеменного объекта. При наличии генетического паспорта, средств контроля приведенных в нем данных и механизма, не допускающего использование нормальных семян при наличии улучшенных, их цена должна вырасти до уровня, обеспечивающего рентабельность их производства.

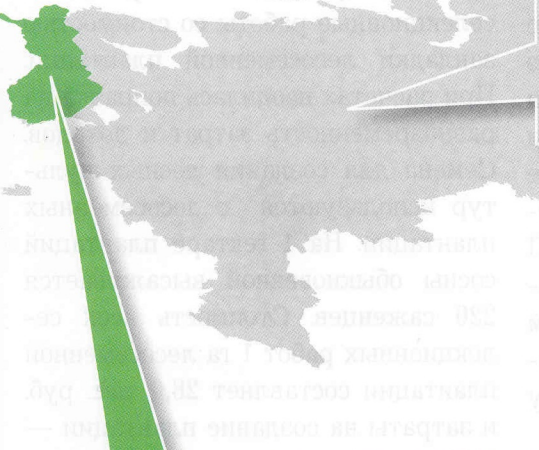
Андрей ПРОКАЗИН,
заместитель директора
ФГУ «Российский центр защиты леса»

ПЛАНТАЦИОННЫЙ СПОСОБ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Плантационный способ ведения лесного хозяйства основан на выращивании высокопродуктивных форм лесных древесных растений, обладающих высокими темпами роста, повышенной устойчивостью к насекомым-вредителям, высоким качеством древесины и др. «Одомашнивание» лесных насаждений началось сравнительно недавно (в 60-х годах прошлого столетия), которое, как и в случае сельского хозяйства, предполагает использование удобрений, пестицидов и других агротехнических приемов. Данный подход позволяет добиваться увеличения продуктивности леса (в зависимости от региона и породы) на 30-70% при той же продолжительности ротационного цикла. Однако расходы на проведение всех необходимых агротехнических приемов оправдываются только при условии использования качественного, генетически улучшенного посадочного материала.



В России площадь бросовых или неудобных сельскохозяйственных земель в средней полосе — 10-12 миллионов гектаров. В перспективе выращивание древесины на этих землях может обеспечить получение до 50-60 миллионов кубических метров древесины в год (половина от современного объема заготовки древесины в России).



В Финляндии на одном гектаре лесных плантаций произрастает до десяти тысяч деревьев. Срок лесовосстановления на плантациях в северных странах приближается к 25-30 годам.



В Китае площадь, занятая лесами, составляет 175 млн га (18.21% от общей площади страны). Из них 53 млн га — лесные плантации, что по площади является рекордом в мире. Наблюдается гигантский рывок в развитии китайской ЦБП: только в 2007 г. в Китае запущено или модернизировано 17 ЦБК.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ

Идея использования селекционных приемов в улучшении лесов возникла с первых шагов зарождения лесоводства. Актуальность селекционных работ в настоящее время обосновывается положениями Лесного кодекса Российской Федерации и соответствующими федеральными законами.

Самым масштабным опытом лесной селекции является закладка серии географических культур по государственной программе 1973 года. По прошествии 35 лет на опытных участках наблюдается значительная разница в росте, устойчивости и качестве лесных культур разного географического происхождения.

СОСНА И ЛИСТВЕННИЦА

Результаты исследований подтверждают экономическую целесообразность работ по популяционной селекции и необходимость использования при лесопосадках районированных семян. Разработанное в 1982 году лесосеменное районирование требует корректировки, так как за последние 35 лет появились новые опытные данные и произошли существенные изменения в управлении лесным хозяйством России.

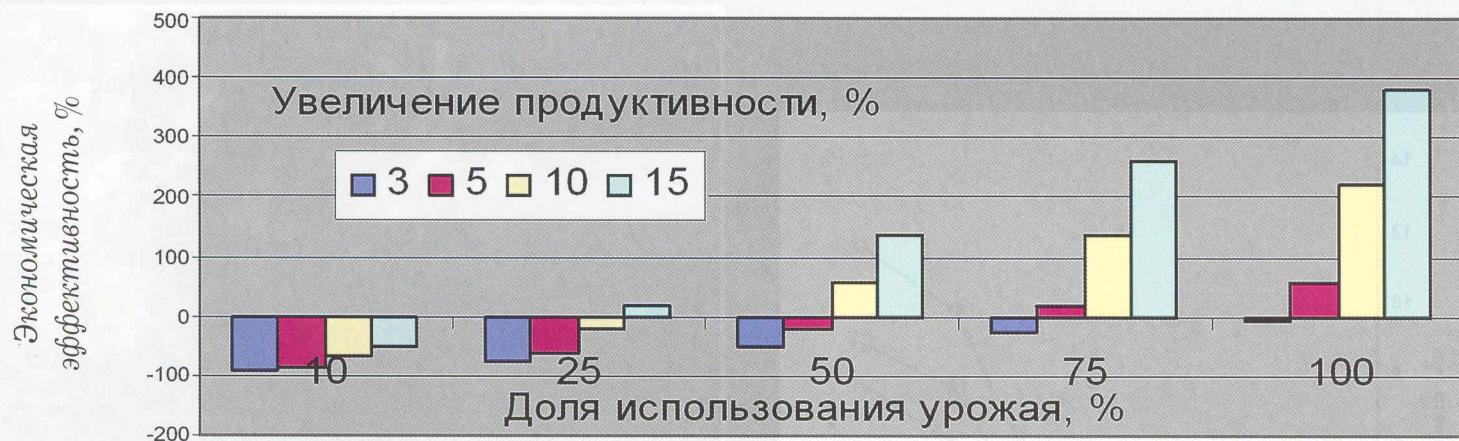
При оценке лесохозяйственной эффективности данных мероприятий мнения ученых-исследователей расходятся. Причина расхождений

объясняется недостаточным возрастом испытательных культур, неизвестным типом роста материнских деревьев, несогласованностью исследователей в принятии контрольного варианта опыта, недостаточностью опытных данных по испытанию семян с лесосеменных плантаций первого и последующих поколений и другие причины. По результатам исследований ученых-селекционеров ФГУП «НИИЛГиС» лесохозяйственная эффективность составляет на первом этапе селекции (при отборе по фенотипу) до 8% и при отборе по потомству лесных растений — 12-15%.

Была рассчитана экономическая эффективность селекции сосны обыкновенной при увеличениях продуктивности стволового запаса от 3 до 15%. В состав селекционных работ включены: селекционная инвентаризация насаждений; отбор плюсовых деревьев; заготовка черенков и выращивание привитых саженцев. Стоимость услуг определялась в соответствии с Методическими рекомендациями, утвержденными Рослесхозом. Для расчета попенной платы взяты таксы 2007 года.

Экономическая эффективность определялась отношением в процентах стоимости дополнительно получаемой продукции к затратам на селекционные работы со стоимостью закладки лесосеменной плантации. При расчетах вводилась поправка на разновременность затрат и доходов. Семена для создания лесных культур используются с лесосеменных плантаций. На 1 гектаре плантации сосны обыкновенной высаживается 220 саженцев. Стоимость всех селекционных работ 1 га лесосеменной плантации составляет 28,6 тыс. руб. и затраты на создание плантации — 300 тыс. руб.

Расчетный период эксплуатации ЛСП — 30 лет. За это время с 1 гектара плантации можно получить 200 кг семян, которых достаточно для создания 864 гектаров лесных культур в условиях зон лесостепи и смешанных лесов. Расчет выполнен в соответствии с Указаниями по разработке проектов организации объектов постоянной лесосеменной базы на селекционной основе. Запас древостоя в возрасте спелости взят по таблицам хода роста культур сосны.



Экономическая эффективность зависит от степени увеличения продуктивности лесных культур, уровня ставки платы за единицу объема лесных ресурсов и полноты использования семян с лесосеменной плантации.

В Воронежско-Липецком районе в условиях первого бонитета и расстояния вывозки древесины до 10 км (1-й разряд такс) экономически целесообразно использовать селекционный посадочный материал при увеличении продуктивности на 5% при условии сбора не менее 75% семян с лесосеменных плантаций.

Показатели эффективности в других условиях будут определяться главным образом лесотаксовым районом и расстоянием вывозки. В северном лесотаксовом поясе района Коми положительный экономический эффект наступает только при повышении продуктивности на 10% при полном сборе шишек с лесосеменной плантации.

ДУБ

Лесосеменные плантации дуба в отличие от сосны эксплуатируются более продолжительное время, меньше трудозатрат при сборе урожая, так как не надо подниматься в крону дерева. Для сравнения расчет выполнен за 30-летний период, за который плантация дает урожай желудей в количестве, достаточном для создания 86 га культур дуба. Попенная стоимость древесины (по данным таксации Ю.П. Ефимова и В.К. Ширнина, НИИЛГиС) рассчитана в возрасте 90 лет отдельно для ранней и поздней феноформы. Коэффициент приведения разновременности затрат и доходов — 0,168.

В дубовых лесах даже небольшое (3%) увеличение продуктивности насаждений экономически оправдывает затраты на селекцию при всех разрядах такс. При экономическом обосновании доход, получаемый в результате селекции, рассчитывал-

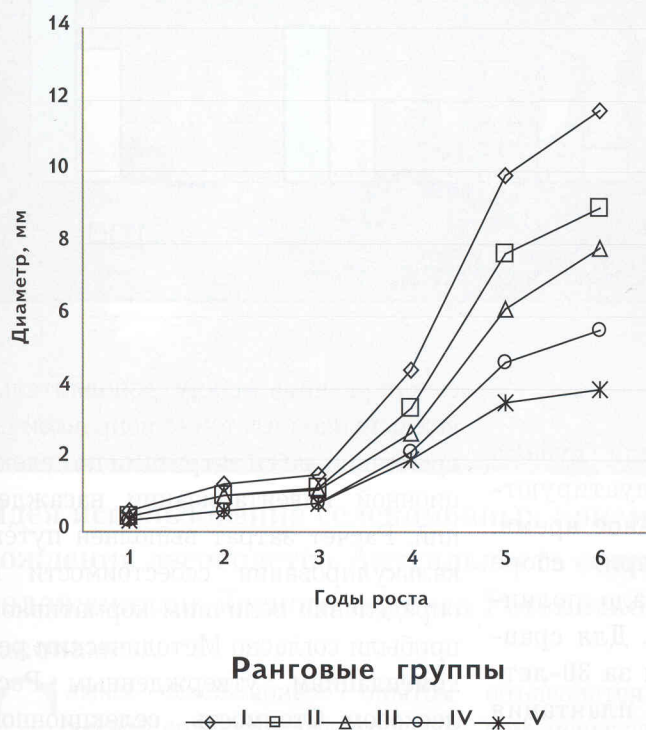
ся как разница между дополнительной попенной платой (с поправкой на временной лаг) и затратами по селекционной инвентаризации насаждений. Расчет затрат выполнен путем калькулирования себестоимости и определения величины нормативной прибыли согласно Методическим рекомендациям, утвержденным Рослесхозом. Стоимость селекционной инвентаризации гектара насаждений в ценах 2007 года составляет 16,7 тыс. рублей. Экономическая эффективность селекционной инвентаризации дубовых лесов в данном случае составит в сухих дубравах 20%, переходных к свежим — 40%, свежих при возрасте рубки в 90 лет — 80%, а при возрасте рубки 200 лет — 128%.

Ведение лесокультурного дела с учетом фенологического разнообразия однозначно имеет лесохозяйственную значимость и экономическую целесообразность.

Виктор КОСТРИКИН,
Геннадий ПАНИЧЕВ

Таксовая стоимость древесины в ценах 2007 года

Гигротоп дубрав	Возраст, лет	Таксовая стоимость феноформ, тыс. руб./га		Дополнительный доход за вычетом затрат на селекцию, тыс. руб.	
		Ранней	Поздней	Абсолютный	Приведенный к расчетному времени
Сухая	85	131,6	168,1	19,7	3,3
Сухая — свежая	90	135,0	191,3	39,6	6,7
Свежая	90	211,6	307,5	79,2	13,3
Свежая	200	163,8	358,4	178,0	21,4



Рост саженцев ели разных ранговых групп по диаметру

Рост саженцев ели разных ранговых групп по диаметру

Производительность лесных плантаций при оптимальном режиме выращивания

ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ

Возраст, лет	Тип условий местопроизрастания	Густота, шт./га	Д _{1,3} , см	Н, м	Запас, м ³ /га
Культуры ели					
28	Травяно-таволжный осушенный	2810	13,4	12,2	289
30	Кислично-черничный	2205	14,7	12,4	263
Культуры сосны					
30	Кислично-черничный	1178	16,7	13,8	302
25	Травяно-таволжный осушенный	2733	14,1	11,3	285

ПСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ

Культуры ели					
26	Чернично-кисличный	1804	16,0	14,5	256
25	Кисличный	1762	15,7	15,2	265
Культуры сосны					
26	Сельхозугодья	1490	16,5	14,2	237
37		1409	20,3	17,5	392

ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ ПОЛЕ ТРАНСГЕННЫХ КУЛЬТУР

В мире площади под трансгенными культурами непрерывно расширяются: в 2007 году они увеличились еще на 12% и составили 114 млн га. В 2007 году более половины (64%) всей сои, почти половина (43%) хлопка, а также 24% кукурузы и 20% рапса в мире были трансгенными. Таким образом, с момента первых посевов трансгенных культур в 1996 году площади под ними выросли в 67 раз. Трансгенные культуры интенсивно выращиваются как в развитых странах (США, Канада, Австралия, Испания, Франция), так и в развивающихся (Китай, Индия, Бразилия, Аргентина).

В РФ с 1996 года разработана и функционирует законодательная, нормативная и методическая база, позволяющая осуществлять оценку безопасности, и организован мониторинг за оборотом пищевой продукции, полученной из ГМО. В частности, в 1996 году был принят Федеральный закон «О государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности», а в 1999 году была введена государственная регистрация пищевых продуктов из генетически модифицированных источников. Координацию действий различных министерств и ведомств, направленных на развитие генно-инженерной деятельности и биотехнологии, а также обеспечение необходимого уровня их безопасности, осуществляет Межведомственная комиссия по проблемам генно-инженерной деятельности, воссозданная в 2005 году.

Тем не менее в России на настоящий момент коммерческое выращивание трансгенных культур не производится. В этом отношении мы находимся на уровне стран Африки и Ближнего Востока. Формально выращивание трансгенных растений не запрещено — в соответствии со статьей 6 закона

о ГИД выпуск ГМО в окружающую среду подлежит лицензированию так же, как и другие виды деятельности (производство препаратов, хранение, уничтожение и др.), но разрешение на выращивание пока не смог получить ни один производитель. Причина этого лежит, скорее всего, в политической плоскости и усугубляется негативным отношением к ГМО в обществе, нагнетаемым СМИ, не имеющим под собой какой-либо научно доказательной базы вреда трансгенных растений. Вместе с тем использование привозного трансгенного сырья разрешено и осуществляется с 2000 года. На 30.11.2007 на территории РФ разрешено использование 6 трансгенных сортов кукурузы, 4 сортов картофеля, по одному сорту риса и сахарной свеклы.

В России также проводятся полевые испытания трансгенных растений в небольших масштабах на специализированных полигонах (менее десяти на всю страну). В частности, с 2000 года ведутся испытания трансгенных плодовых деревьев — яблони и груши.

В настоящее время в мире отмечается большой и устойчивый интерес

к трансгенным лесным породам, которые обладают ускоренным ростом, модифицированным составом древесины и рядом других ценных признаков. Коммерческие насаждения таких деревьев уже несколько лет проводятся в Китае, и в ближайшие время ожидается их коммерциализация в США и Бразилии. Благодаря непригодности таких деревьев для пищевых целей оценка их биобезопасности проходит по упрощенному варианту по сравнению с растениями, используемыми в пищу.

В связи с вышеизложенным представляется целесообразным создание полигонов для оценки генетически модифицированных лесных пород в различных почвенно-климатических зонах, а также проведение исследований, направленных на углубленное изучение экологической биобезопасности лесных пород и предотвращение несанкционированного распространения трансгенной пыльцы (индуцирование стерильности).

Константин ШЕСТИБРАТОВ,
филиал Института биоорганической химии
им. академиков М.М. Шемякина
и Ю.А. Овчинникова Российской академии
наук, Пуцунский научный центр РАН

РЕШЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ **ЛЕСНАЯ ГЕНЕТИКА, СЕЛЕКЦИЯ И БИОТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Приоритетные направления НИОКР

Считать приоритетными следующие направления научно-исследовательских работ в области лесной генетики, селекции, интродукции, семеноводства и биотехнологии древесных растений:

- совершенствование лесосеменного районирования для организации эффективного селекционного семеноводства;

- генетическая паспортизация объектов ЕГСК с помощью молекулярных маркеров и разработка генетических методов ранней диагностики характеристик древесных растений;

- создание и ведение информационной базы данных по учету сортов, форм и объектов ЕГСК, в том числе географических культур, других научных объектов;

- исследование внутривидовой дифференциации и популяционной структуры древесных пород как основы генетического улучшения лесов, (в том числе с использованием новейших достижений молекулярной генетики и геномики);

- анализ имеющегося генофонда ранее созданных сортов и форм, выведение сортов-популяций основных лесобразующих пород методами лесной генетики и семеноводства и обеспечение их массового размножения;

- совершенствование технологий выращивания селекционного посадочного материала, в том числе с использованием новейших биостимуляторов, пестицидов и агрохимикатов;

- разработка современных эффективных методов и технологий вегетативного размножения (в том числе клональное микроразмножение

и «создание искусственных семян») перспективных форм древесных растений для лесного сектора;

- разработка рекомендаций по использованию видов и популяций интродуцентов в лесном хозяйстве и в плантационном лесовыращивании;

- разработка технологий создания лесных плантаций с учетом лесорастительных условий, экономического районирования, структуры и объема потребления древесины крупными лесопромышленными предприятиями;

- разработка и совершенствование нормативно-технических документов и практических рекомендаций в области лесной генетики, селекции, интродукции, семеноводства, биотехнологии и плантационного лесовыращивания.

Организация работ по использованию достижений лесной генетики, селекции, семеноводства, интродукции и биотехнологии

Считать целесообразным:

- ФГУ «Рослесозащита» завершить в 1-м квартале 2008 г. формирование базы данных по итогам единовременной инвентаризации объектов единого генетико-селекционного комплекса;

- провести генетическую паспортизацию объектов ЕГСК на основе методов молекулярных маркеров;

- разработать программу развития работ по созданию, содержанию и эксплуатации объектов ЕГСК на основе региональных программ субъектов Российской Федерации;

- создать при Рослесхозе Проблемный совет по вопросам лесной генетики, селекции, семеноводства, интродукции и биотехнологии;

- провести в сентябре текущего года заседание Совета, на котором рассмотреть основные направления развития лесной генетики, селекции, семеноводства, интродукции и биотехнологии;

- подготовить Программу развития лесной генетики, селекции, семеноводства, интродукции и биотехнологии на основе взаимодействия научных, учебных и проектных организаций;

- разработать механизмы регулирования использования научных и технологических достижений лесной генетики, селекции, семеноводства, интродукции и биотехнологии в лесном комплексе РФ;

- издать материалы международной научно-практической конференции «Лесная генетика, селекция и биотехнология в лесном хозяйстве».

Координация работ

В целях реализации решений научно-практической конференции «Лесная генетика, селекция и биотехнология в лесном хозяйстве» целесообразно поручить:

- ФГУ ВНИИЛМ — координацию научно-исследовательских работ НИУ системы Рослесхоза, РАН и вузов в области генетики, селекции, семеноводства, интродукции и биотехнологии;

- ФГУ «СПбНИИЛХ» — координацию работ по разработке технологий создания высокопродуктивных плантационных лесных культур;

- ФГУ «Рослесозащита» — работы по проектированию и созданию объектов ЕГСК;

- ФГУП «НИИЛГиС» — работы в области генетики, селекции, семеноводства и биотехнологии.

УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Мирошников А.И., председатель Пущинского научного центра РАН, заместитель директора Института биоорганической химии РАН, академик РАН (г. Пущино, проспект Науки, д. 6, тел.: (4967) 33-05-27).
2. Шестибратов К.А., заведующий лабораторией филиала Института биоорганической химии РАН, к.б.н (г. Пущино, проспект Науки, д. 6, тел.: (4967) 33-09-66).
3. Бурьянов Я.И., заведующий лабораторией филиала Института биоорганической химии РАН, д.б.н. (г. Пущино, проспект Науки, д. 6, тел.: (4967) 73-09-21).
4. Лебедев В.Д., старший научный сотрудник филиала Института биоорганической химии РАН, к.б.н. (г. Пущино, проспект Науки, д. 6, тел.: (4967) 33-09-66).
5. Падутов В.Е., заведующий лабораторией Института леса Национальной академии наук Беларуси, д.б.н. (г. Гомель, ул. Пролетарская, д. 71, тел.: 8-103-752-32-74-73-73).
6. Баранов О.Ю., старший научный сотрудник Института леса Национальной академии наук Беларуси, к.б.н. (г. Гомель, ул. Пролетарская, д. 71, тел.: 8-103-752-32-74-73-73).
7. Родин С.А., директор ФГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15, тел.: (495) 993-30-54).
8. Паничев Г.П., директор Научно-исследовательского института лесной генетики и селекции (НИИЛГиС) (г. Пушкино, тел.: (495) 993-34-07).
9. Грязнов С.Е., директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства (СПбНИИЛХ) (г. Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 21, тел.: (812) 552-80-21).
10. Кобельков М.Е., директор ФГУ «Российский центр защиты леса» (ФГУ «Рослесозащита») (г. Пушкино, ул. Институтская, д. 1, тел.: (4967) 537-10-58).





О судьбе уникальной коллекции семян Николая Вавилова, существенная часть которой была утеряна после Великой Отечественной войны, а совсем незначительная нашла надежное убежище в международном хранилище, открытом на Шпицбергене на прошлой неделе.

НЕЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР

Член НСДАП с 1934 года, СС — с 1937-го, Хейнц Брюхер так описывал в рабочих отчетах свою миссию на захваченных фашистами территориях СССР: «Покорение Востока сделало нас хозяевами тех областей, которые в будущем приобретут главную роль в обеспечении питанием немецкого народа». В 1943-м рейхсфюрер Гиммлер назначил Брюхера начальником команды СС по сбору ботанического материала в зоне оккупации. Молодой унтерштурмфюрер рьяно взялся за дело — самой желанной целью немецкого биолога была, конечно, коллекция семян академика Николая Вавилова.

Сам Вавилов умер в тюремной больнице в Саратове за несколь-

ко месяцев до назначения Брюхера — еще в 1940-м генетик проиграл научную битву с агрономом Трофимом Лысенко и был арестован по приказу Сталина. Вавилов оставил после себя самую большую коллекцию семян в мире (250 000 видов культурных растений) и огромную сеть селекционных станций, разбросанных по всему Союзу. Часть коллекции находилась на станциях. Ее-то после войны и недосчитались. Несмотря на то что голодавшие ленинградские блокадники не тронули главные запасы, размер коллекции к концу войны сократился на четверть — до 180 000 семян.

Они и сегодня хранятся во Всероссийском институте растениеводства (ВИР) в Санкт-Петербурге, но самой

большой в мире коллекцию уже не назовешь. В «Ноев ковчег», построенный на Шпицбергене, уже заложено 250 000 разных видов растений (будет еще больше), в том числе и небольшой подарок от ВИР — несколько сотен «вавилонских» видов. Хранилище создали норвежцы на случай глобальной катастрофы, семена заложены в контейнеры и спрятаны в глубокой пещере, вырубленной в скале. Убежище, как говорят инженеры, выдержит даже взрыв ядерной бомбы.

Крупная коллекция семян — огромная ценность. Это научный инструмент, позволяющий как поддерживать и улучшать качество семенного фонда в стране, так и эффективно работать над получением новых сортов

сельхозкультур. Это и страховочный фонд на тот случай, если война или природный катаклизм уничтожит часть растений на Земле. «Такое хранилище — ресурс, который может использоваться каждый день, в никогда не заканчивающейся битве с угрозами биоразнообразию в мире», — говорит директор международного фонда Bioversity Эмиль Фризон.

Если вид растения считается утерянным навсегда, воссоздать его зачастую непосильная задача даже для геномной инженерии. «Ковчег» на Шпицбергене не единственный в мире, но самый большой и — что важнее — самый безопасный. Многие его побратимы в других странах со своей функцией «сохранить» не справились: разграблен генетический банк в Ираке, талибами разрушено хранилище в Афганистане, а на Филиппинах коллекцию семян в 2006 г. почти полностью уничтожил тайфун. «Питерская коллекция также не застрахована, ведь обычный пожар в здании института, где до сих пор нет пожарной сигнализации, уничтожит ее за три часа», — переживает бывший директор ВИР Виктор Драгавцев.

ОХОТНИКИ ЗА СЕМЕНАМИ

В конце июля 1940 г. по пути в Закарпатье академик Николай Вавилов заехал в киевский Институт сахарной свеклы в гости к своим ученикам Вячеславу и Елене Савицким. То, что увидел Вавилов, его поразило — аспирантка Савицких, Мария Бордонос, впервые в мире вывела вид односеменной свеклы, который обещал уменьшение трудозатрат на ее выращивание в десятки раз. Окончательный результат ученые планировали получить осенью 1941 года.

Но после прогулки по экспериментальным полям, за чаем, как потом вспоминала Бордонос, начался очень тяжелый разговор: Вавилов громко возмущался, что приходится скрытно работать с линиями свеклы по требованию лысенковцев, и ругал самого Лысенко. Потом академик уехал, а через неделю, 6 августа, был арестован.

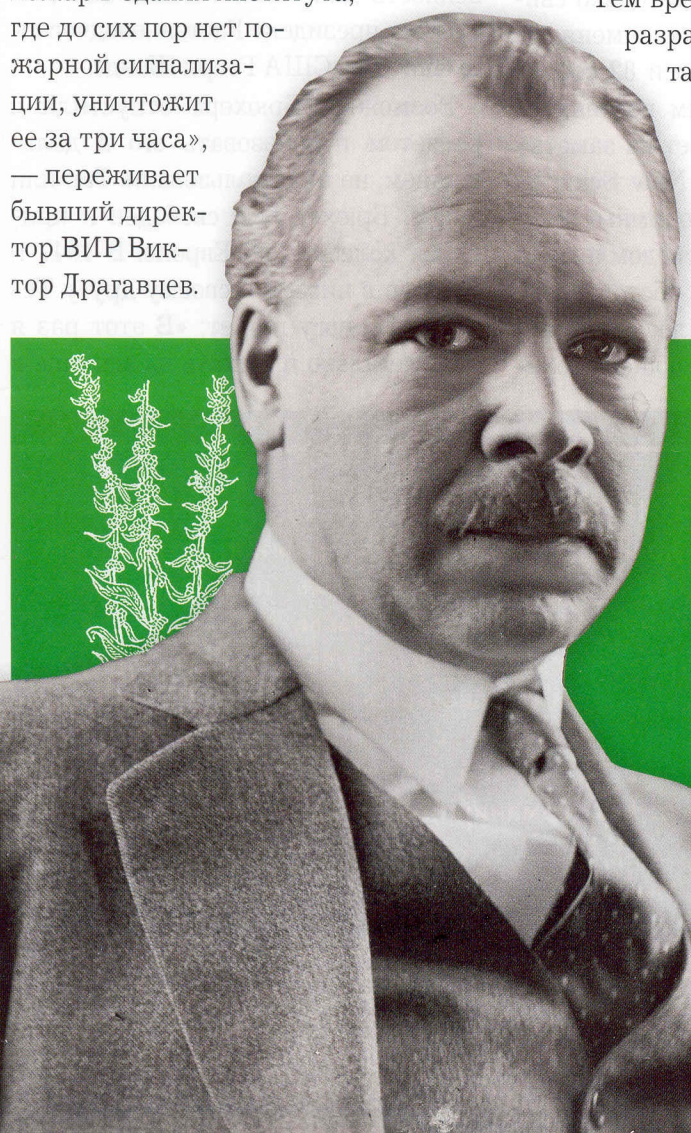
Тем временем в Германии уже разрабатывался план захвата коллекций Вавилова. В начале 1940-го директор немецкого Института биологии Фриц фон Веттштейн говорил о желании создать на базе советских

ресурсов новый селекционный центр, а осенью 1941-го немецкое командование отдало приказ о захвате всех селекционных институтов и станций СССР.

По мнению кандидата биологических наук, сотрудника Института истории естествознания и техники РАН Ольги Елиной, единого координационного центра по захвату коллекций у немцев не было. Большое количество ведомств и конкуренция среди них сильно осложняли работы по освоению коллекций семян, и это порой позволяло избежать полного разграбления. Но там, где не успевали немцы, «помогали» свои. Ученица Вавилова, Евдокия Николаенко, бежавшая от фашистов с коллекцией семян пшеницы, была отправлена в лагерь, а спасенные семена при аресте высыпали на пол и прошли по ним сапогами, рассказывает работавшая в ВИР Татьяна Лассан.

НАЦИСТ ПРОТИВ НАРКОТИКОВ

Вот что писал сам Брюхер о своем визите на украинские селекционные станции: «На площади 100 гектаров размещается, вероятно, самый обширный в России фонд растительных культур. Помимо 10 000 европейских растений здесь собрано 40 000 азиатских и аме-



Николай Иванович ВАВИЛОВ (1887–1943)

Русский ботаник, растениевод, генетик. В 1916 г. участвовал в экспедиции в Иран, затем на Памир. С сентября 1917 по 1921 гг. преподавал на Саратовских высших сельскохозяйственных курсах, где в 1918 г., с преобразованием курсов в институт, заведовал кафедрой генетики, селекции и частного земледелия.

В 1922 г. Вавилов был назначен директором Государственного института опытной агрономии. В 1924 г. стал директором Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур, в 1930-м — директором Всесоюзного института растениеводства. Был президентом, а в 1935–1940 гг. — вице-президентом Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина (ВАСХНИЛ).



Гиммлер осматривает образцы хлопковых культур в Крыму

чество образцов, забранных к концу экспедиции в СССР, заполнило бы два рюкзака».

В журнал написал переводчик эсэсовского генетика Штейнбрехер, убеждены историк из Университета Йены Уве Хоссфельд и шведский генетик Карл-Густав Торнстрем — только он может знать такие подробности. Но подробности вызывают у исследователей сомнения. «Они посетили 18 институтов и собрали только два рюкзака? Смешно!» — убежден Торнстрем.

Он уверен, что Брюхер оставил себе вывезенную из СССР коллекцию. Это собрание, а также опыт, перенятый от советских ученых, пригодились бывшему эсэсовцу. Сначала он пытался получить приглашение в США, для чего написал большой отчет про энзимы в ячмене. «С научной точки зрения это имеет небольшую ценность. Я думаю, что он обманул американских военных и они напрасно не отправили его в Нюрнберг. Они преувеличили его ценность для союзнических сил», — считает президент Растениеводческого общества США Генри Шэндс.

Возможно, Брюхера отпустили с расчетом использовать его в дальнейшем, но не использовали. Так или иначе, Брюхер был свободен и принимался колесить по Европе. В 1947 г. Брюхер в письме к своему другу Теодору Герцогу пишет: «В этот раз я смог легально приехать на машине в

риканских видов...». Не смог Брюхер проехать и мимо Института сахарной свеклы. «После того как русский переводчик профессор Савицкий заявил о своей готовности передать нам интересовавшие нас образцы семян, компетентные немецкие инстанции так долго тянули волокиту с этой передачей, что в конце концов из-за внезапного вторжения русских не весь материал удалось сохранить», — пишет Брюхер.

Возможно, Брюхер в своих отчетах лукавил. Известно, на кого он работал больше в конце войны — на

СС или на себя лично. Известно, что Брюхер успел вывезти из СССР в опытное хозяйство СС в австрийском замке Ланнах. Есть только свидетельства о 197 сортах ячменя, 66 сортах яровой пшеницы и 82 сортах овса, которые были там посеяны. В январе этого года в ответ на заметку о Брюхере в журнале New Scientist в редакцию пришел анонимный комментарий от очень осведомленного человека. В письме он обстоятельно разъяснил, как все было «на самом деле». Оказывается, «общее коли-

ГЕНЕТИКА ТРЕТЬЕГО РЕЙХА



Аненербе (нем. Anenerbe — «Наследие предков», полное название — «Немецкое общество по изучению древней германской истории и наследия предков») — организация, существовавшая в Третьем рейхе, и созданная для изучения традиций, истории и наследия германской расы.

1 ноября 1943 года в структуре Аненербе появился учебно-исследовательский отдел генетики растений, которым руководил Хейнц Брюхер. Позднее отдел стал Институтом генетики растений.

Одной из главных задач института растений являлось восстановление дубовых и буковых рощ на территории Германии и дальнейшее их расширение за счет улучшения пород.

Австрию, чтобы забрать остатки посевов и научного материала». В 1948 г. он женился в Швеции и уехал в Буэнос-Айрес. «Есть свидетельства, что с собой Брюхер захватил багаж весом в 400 кг», — добавляет Торнстрем. Это и была часть вавиловской коллекции семян, убежден исследователь.

Бывший директор ВИР Драгавцев говорит, что мы никогда точно не узнаем, какие именно семена из советских коллекций были украдены: «Часть из них попала в генетический банк Швеции, есть информация, что часть семян из Украины попала в Южную Америку, но найти их следы не можем». В 1958 г. Петр Жуковский, бывший в то время директором ВИР, встретился в Аргентине с Брюхером. Тот сначала руководил вырубкой лесов, чтобы потом засеивать освободившиеся площади культурными растениями, а затем переключился на изучение дикого картофеля. Жил, судя по всему, небедно — владел небольшим поместьем.

«Опытный путешественник, полный физических сил, знаток диких и культурных картофелей, он очень помог мне в провинции Жужуй», — впоследствии писал Жуковский. Знал ли он, с кем встречался? «Вряд ли, — считает Сергей Алексанян из ВИР. — Не факт, что в КГБ многие знали, кто такой этот Брюхер».

Известно, что немец безвозмездно передал Жуковскому 700 местных сортов картофеля, каждого по дватри клубня, но отказался от приглашения приехать в Советский Союз. «Возможно, Жуковский его шантажировал, и поэтому тот отдал ему образцы картофеля», — предполагает Карл-Густав Торнстрем.

Как распорядился Брюхер украденной коллекцией, неизвестно. Коллеги вспоминают, что он вел очень уединенный образ жизни, практически ни с кем не вступая в контакт, чтобы избежать разговоров о своем прошлом. Гибель в автокатастрофе



Посевы сахарной свеклы в США

его жены и младшего сына сделала Брюхера еще более замкнутым.

Американский исследователь Даниэль Гейд, который познакомился с Брюхером в 1975 г., вспоминает, что, еще не зная реальной его биографии, был убежден, что тот яркий антикоммунист и упертый наци, ненавидевший русских. «Он также был против табака, стимуляторов, алкоголя и рассказывал мне о своих разработках болезнетворного вируса, с помощью которого, как он надеялся, можно будет уничтожить все плантации коки», — вспоминает Гейд. В 1991-м Брюхер был убит при ограблении в своем поместье недалеко от города Мендоса. Виновными в убийстве признали двух парагвайцев, но те, кто знал Брюхера в последние его годы, не исключают, что немца убрала наркомафия.

СВЕКОЛЬНОЕ ЭМБАРГО

Трагически сложилась и судьба генетиков Савицких. Они уехали в Штаты из Западной Германии в 1947 г. Во времена оттепели Савицкий написал письмо, где просил разрешить ему вернуться. «Но ему не смогли простить сотрудничества с немцами, тогда воспоминания о войне были еще очень свежи. Он был го-

тов отдать все, что у него есть, чтобы вернуться. Но получил отказ и поехал читать лекции в Западный Берлин, где ходил в Трептов-парк посмотреть на советских солдат. Просто стоял и смотрел. А в 1965-м умер от тоски», — рассказывает Николай Роик из киевского Института сахарной свеклы.

Тогда же в Европе Савицкий отдал свои уникальные семена, запретив передавать их СССР, так велика была его злость на Лысенко. «Мы до сих пор не имеем этих линий и возмемся со своими», — говорит Иван Балков.

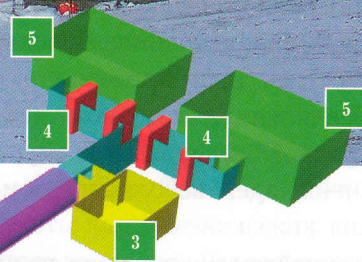
Мария Бордонос считала, что Савицкие вряд ли забрали в США семена, с которыми работали в Советском Союзе. «Не такие это были люди», — говорила она. «То, что было получено ими на Украине, — только промежуточный результат селекции, главное они сделали уже в Америке», — уверен Иван Балков. В 1960-х, 20 лет спустя после последнего визита Вавилова в киевский институт, Савицкие все-таки вывели уникальную линию свеклы. «Действительно, на эту свеклу уходит в 40 раз меньше трудозатрат по сравнению с другими сортами», — говорит Балков.

Сейчас линии сахарной свеклы Савицких занимают 100% посевов США и Европы.

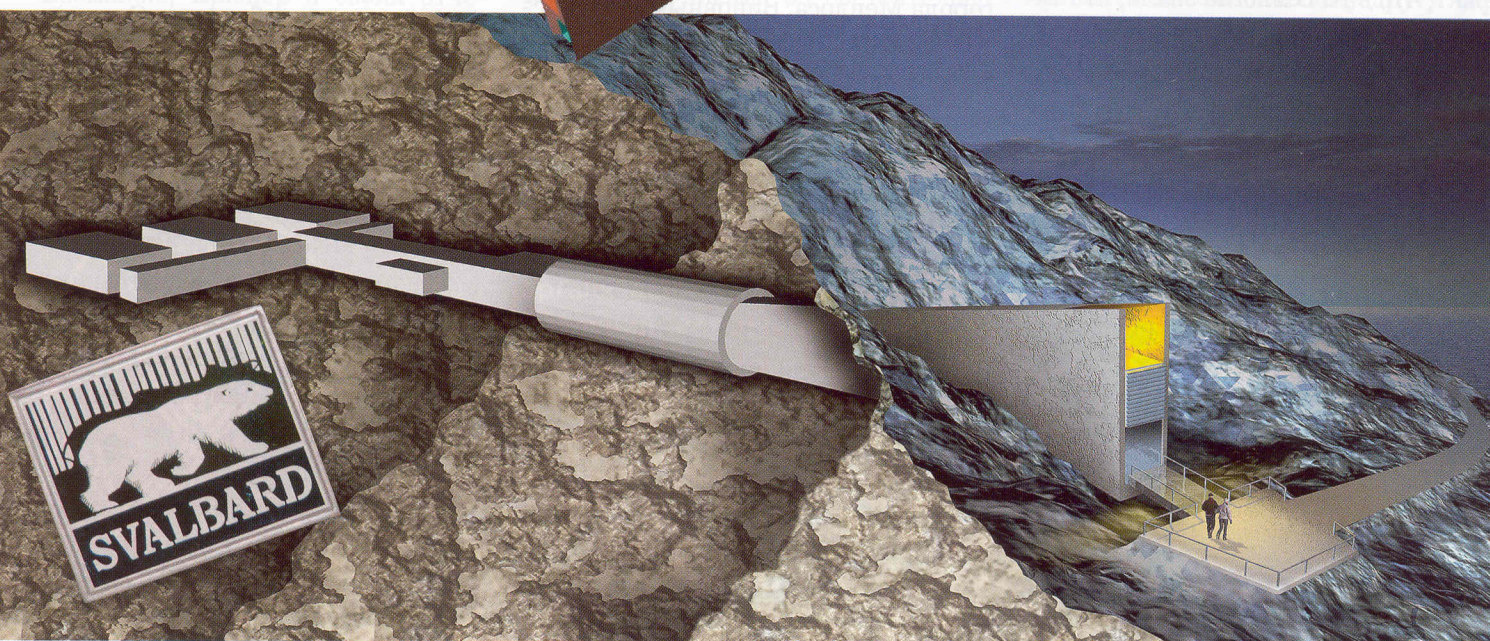
ДЛЯ БЛАГОДАРНЫХ ПОТОМКОВ



...25 февраля 2008 года в Норвегии, недалеко от города Лонгьира (Шпицберген), открыто крупнейшее в мире хранилище семян...



1. Вход в хранилище.
2. Главный коридор.
3. Офисное помещение.
4. Воздушные фильтры.
5. Камеры хранения семян.

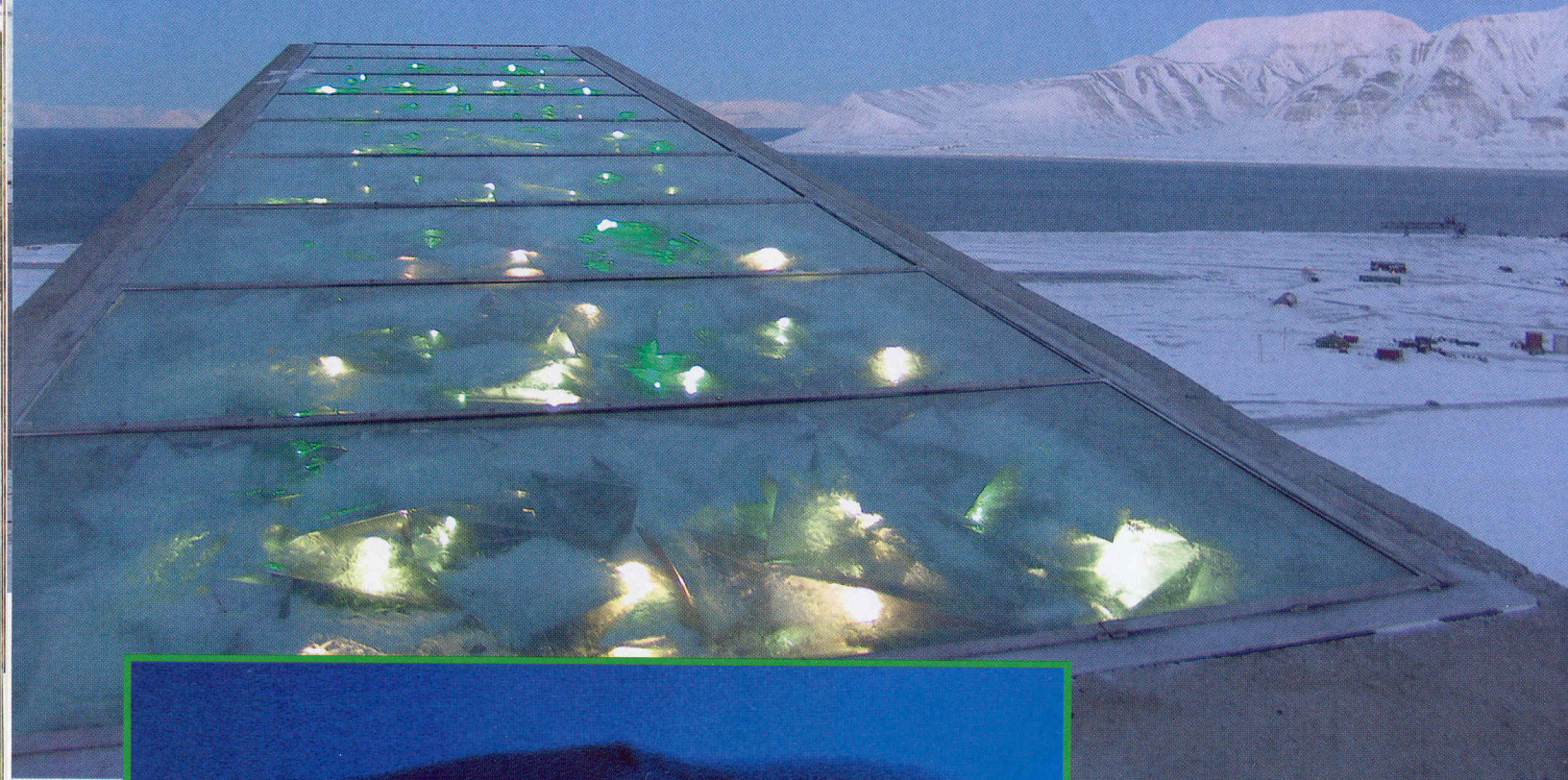


Глобальное хранилище не является генетическим банком: это гарантийное хранилище, где от лица различных генетических банков сохраняются дубликаты сортов семян. Взять семена из хранилища будет возможно только в том случае, если хранящиеся в оригинальных фондах семена по той или иной причине будут потеряны.

Сторона, разместившая семена в хранилище на Шпицбергене, сохраняет полное право собственности на них. Ни сотрудники объекта, ни правительство Норвегии не имеют права допускать кого-то в фонды хранилища без разрешения владельца зернового «вклада», который будет возвращен ему по первому требованию.



Благодаря вечной мерзлоте средняя температура в хранилище никогда не поднимется выше минус трех с половиной градусов.



Построенное хранилище рассчитано на три миллиона различных типов семян. Каждая культура будет представлена образцом, содержащим около 500 семян. Таким образом, хранилище Шпицбергена вместит около 1,5 миллиардов отдельных семян.

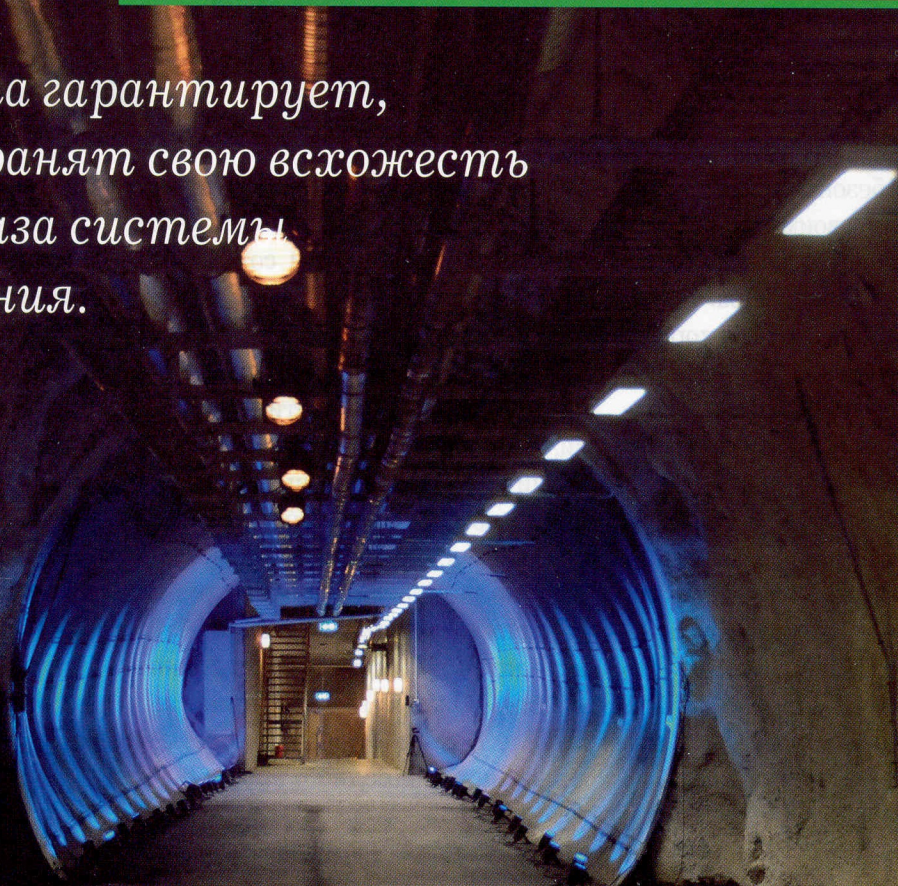
Поэтому объект на Шпицбергене будет способен сохранить все уникальные типы семян, хранящиеся на сегодняшний день в генетических банках, число которых составляет около 1400 и которые расположены по всему земному шару в более чем 100 странах мира. Помимо этого данное хранилище будет хранить и образцы новых типов семян, которые должны быть собраны в будущем. Когда хранилище будет использоваться на полную мощность, оно станет самым крупным глобальным фондом семян на Земле.

Семена будут храниться при температуре минус 18 градусов по Цельсию. Каждая партия семян пакуется в герметичные пакеты. Низкая температура и ограниченный доступ кислорода замедляют метаболизм и старение семян. Вечная мерзлота гарантирует, что семена сохранят свою всхожесть даже после отказа системы электроснабжения.

Шпицберген является во многих отношениях уникальным местом, подходящим для размещения подобного объекта. Климатические и геологические условия Шпицбергена идеальны для устройства подземного хранилища-холодильника. Благодаря вечной мерзлоте средняя температура в хранилище никогда не поднимется выше минус трех с половиной градусов. Природный песчаник Шпицбергена обеспечивает устойчивость строений и характеризуется низким радиационным фоном.



*Вечная мерзлота гарантирует,
что семена сохранят свою всхожесть
даже после отказа системы
электроснабжения.*



Хранилище станет самым крупным фондом семян на Земле



С точки зрения безопасности архипелаг превосходит по своим характеристикам места размещения многих других генетических банков мира. Кроме того, на Шпицбергене имеется хорошо развитая инфраструктура — например аэропорт, позволяющий выполнять ежедневные полеты на материк, и надежная система энергоснабжения.

Разработчики приняли во внимание и вопрос климатических изменений. Хранилище расположено настолько высоко над уровнем моря и одновременно настолько глубоко в скале, что вероятность того, что оно может быть затоплено морскими водами или что вечная мерзлота растает в обозримом будущем, минимальна.

Создание глобального зернохрани-

лища обойдется примерно в 45 миллионов норвежских крон. Все расходы по строительству и содержанию объекта берет на себя норвежское правительство.

Основными «вкладчиками» хранилища являются генетические банки. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) составила список генетических банков, в который входят более 1400 коллекций. Наиболее крупные национальные генетические банки находятся в Китае, России, Японии, Индии, Южной Корее, Германии и Канаде. Помимо этого также имеются банки международного профиля — в особенности это те расположенные во многих странах и имеющие чрез-

вычайную важность генетические банки, которые входят в Консультативную группу по международным исследованиям в области сельского хозяйства (CGIAR).

На сегодняшний день в генетических банках хранится около 6,5 миллиона образцов семян. Однако лишь 1-2 миллиона из них считаются «уникальными». Основными пользователями генетических банков являются селекционеры и ученые.

Сохраняемые в генетических банках различные образцы являются исходным материалом для нынешней селекции. Образцы растений, хранимые в банках, также являются материалом для большого числа биологических исследований.



Международная научно-практическая конференция

«РОЛЬ ЛЕСА В СТАБИЛИЗАЦИИ КЛИМАТА: ИССЛЕДОВАНИЯ–ИННОВАЦИИ– ИНВЕСТИЦИИ–КАДРОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ»

**Санкт-Петербург
с 4 по 7 октября 2008 г.**

КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

Лесовосстановление, лесоразведение (облесение) и управление лесным хозяйством как важные факторы стабилизации климата.

Инновации в лесном хозяйстве и лесопользовании, направленные на стабилизацию климата.

Учет поглощения и эмиссии парниковых газов и прочих климаторегулирующих эффектов лесных и болотных экосистем в международных инвестиционных климатических проектах.

Инвестиционные механизмы в лесном секторе, направленные на предотвращение изменений климата и адаптации к ним: разработка, реализация, аудит международных климатических проектов.

Реализация климатического потенциала лесов на основе механизмов Киотского протокола и перспективных схем нового международно-правового режима в области изменений климата после 2012 года.

Оценка состояния лесов и адаптация лесных экосистем в условиях глобального изменения климата (усыхание лесов, крупные лесные пожары, деградация многолетней мерзлоты, возникновение зон поражения вредителями и болезнями).

Приоритеты развития кадрового потенциала в лесном секторе для эффективной адаптации к изменениям климата.

ОСНОВНЫЕ ДОКЛАДЧИКИ

Представители МПР РФ, Минэкономразвития РФ, Минпромэнерго РФ, Федерального агентства лесного хозяйства МПР РФ, Всемирного банка, ФАО ООН, Всемирной метеорологической организации, Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Межправительственной группы экспертов по изменению климата, отраслевых министерств и ведомств стран Европы, Азии и Америки, научно-исследовательских и образовательных организаций, ведущих лесопромышленных компаний, ведущих неправительственных организаций.