

СОХРАНЕНИЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСОВ НА СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ



Александр Ковалевич,
директор Института леса НАН Беларуси,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент

Владимир Падутов,
заведующий научно-исследовательским
отделом генетики, селекции и биотехнологии
Института леса НАН Беларуси,
член-корреспондент

Олег Баранов,
завлабораторией геномных
исследований и биоинформатики
Института леса НАН Беларуси,
член-корреспондент

Александр Сидор,
завлабораторией лесной селекции
и семеноводства Института леса НАН Беларуси,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Дмитрий Каган,
завлабораторией лесных генетических
ресурсов Института леса НАН Беларуси,
кандидат биологических наук

Светлана Ивановская,
старший научный сотрудник
научно-исследовательского отдела генетики,
селекции и биотехнологии Института леса
НАН Беларуси, кандидат биологических наук

Основная цель лесного хозяйства – непрерывное и неистощительное лесопользование в комплексе с эколого-природоохранными и социально-экономическими составляющими. Поскольку воздействие антропогенных факторов радикально меняет естественную среду обитания видов, все большее значение приобретает проблема сохранения и рационального использования видовых генофондов в частности и биологического разнообразия в целом. Особенно актуальна разработка соответствующих мероприятий для древесных видов, представляющих собой виды-доминанты лесных ценозов, от которых зависит состояние всей экосистемы.

В связи с этим чрезвычайно важны селекционно-генетические исследования по сохранению и распространению ценного мест-

ного генетического материала путем организации постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ) основных древесных видов. Она создается с учетом обеспечения потребностей хозяйства в семенах с высокими наследственными и посевными качествами, чему способствует внедрение научно обоснованной системы селекционного семеноводства.

При создании ПЛСБ решаются важнейшие задачи: сохранение и изучение генетического фонда лесных растений; массовое производство семян с ценными наследственными свойствами и высокими посевными качествами, их заготовка, переработка, хранение, реализация; выращивание на основе современных технологий селекционного посадочного материала для восстановления лесов.

Мероприятия по формированию ПЛСБ включают отбор на основе селекционно-генетических критериев лучших («плюсовых») древостоев и отдельных деревьев; их генетическую оценку

по семенному потомству для выделения элитных маточных экземпляров; организацию генетических резерватов для сохранения генофонда древесных видов; формирование банка семян лесных растений и полевых коллекций «плюсовых деревьев», представленных их вегетативно размноженными потомками (клонами); создание лесосеменных плантаций с использованием вегетативного и семенного потомства лучших экземпляров для получения генетически ценных семян.

Базой для лесного селекционного семеноводства являются лучшие древостои, которые характеризуются богатым генетическим разнообразием, что обеспечивает сохранение видовых генофондов и позволяет создавать высокопродуктивные и биологически устойчивые леса. Следует подчеркнуть, что в качестве источника ценного генофонда целесообразно использовать особо охраняемые природные территории (ООПТ), так как это дает возможность избежать излишнего изъятия лесов из промышленной эксплуатации.

В Беларуси научные основы организации ПЛСБ были заложены еще в 60-х гг. XX в. Для этого в лесах проводились масштабные исследования по изучению формового разнообразия основных лесобразующих видов [1–3], в ходе выпол-

нения которых определены критерии селекционной оценки древостоев и выделения селекционных категорий насаждений и деревьев. В лесхозах республики проведена селекционная инвентаризация лесов. В результате этой оценки было выделено 183 «плюсовых лесных насаждения» общей площадью 1457 га и отобрано 2707 «плюсовых деревьев» (в том числе 95 элитных) сосны обыкновенной, ели европейской, дуба черешчатого, березы повислой, ольхи черной, осины, ясеня обыкновенного и др. Для сосны, ели, дуба и ясеня на площади 4189 га выделено 14 лесных генетических резерватов, которые представляют собой участки естественного происхождения с хорошо сохранившейся типичной структурой и наивысшей производительностью для данного типа леса. Работа по созданию «плюсовых лесных насаждений» и «плюсовых деревьев», лесосеменных плантаций и участков, испытательных и географических лесных культур проводилась не только в рамках использования ценного генофонда наших лесов в селекционных целях, но и для сохранения генетического материала. Это позволило организовать в Беларуси постоянную лесосеменную базу на генетико-селекционной основе (табл. 1).

Вид	Лесные генетические резерваты, га	«Плюсовые лесные насаждения», га	«Плюсовые деревья», шт.	Лесосеменные плантации, га	Хозяйственные семенные насаждения, га	Постоянные лесосеменные участки, га
Сосна обыкновенная	1539,1	635,4	1564	913,17	17469,4	–
Сосна веймутова	–	0,3	19	6,2	–	–
Сосна кедровая сибирская	–	–	–	5,43	–	–
Ель европейская	363,7	12,7	206	362,41	2614,3	–
Пихта белая	–	–	4	25,04	–	–
Пихта великая	–	–	–	1,1	–	–
Псевдотсуга Мензиса	–	–	–	1,7	–	–
Лиственница европейская	–	2,2	96	67,93	–	–
Лиственница сибирская	–	0,6	51	–	–	–
Дуб черешчатый	2181,2	403,0	397	382,03	1239,1	220,3
Бук европейский	–	0,3	6	–	–	–
Ясень обыкновенный	105,0	–	19	–	7,3	–
Ольха черная	–	123,9	82	–	994,4	–
Осина (форма зеленокорая)	–	–	6	–	–	–
Береза повислая	–	211,4	100	–	866,3	–
Береза карельская	–	53,0	23	53,23	–	5,4
Липа мелколистная	–	14,4	134	–	–	–
Итого	4189,0	1457,2	2707	–	23190,8	225,7

Таблица 1. Объекты постоянной лесосеменной базы основных лесобразующих видов

Площадь ООПТ составляет 16,6% лесов Беларуси [4]. Особое значение среди них имеют национальные парки, имеющие международное значение. К таким относится Национальный парк «Беловежская пуща», который, в силу особенностей своего расположения на границе двух геоботанических зон (Евразийской хвойно-лесной и Европейской широколиственной) и наличия богатой истории создания, является уникальным природным объектом (несколько десятков тысяч гектаров естественных смешанных хвойно-широколиственных лесов первобытного характера) как по биологическому разнообразию экосистем, так и по качественному состоянию лесов [5–6]. Здесь насчитывается более 1500 деревьев-великанов, а средний возраст древостоев на отдельных участках составляет 200–250 лет. Более 70 тыс. га территории парка – объект всемирного наследия ЮНЕСКО.

В результате селекционно-генетической инвентаризации на территории Национального парка отобрано 675 «плюсовых деревьев» (460 шт. сосны обыкновенной и 215 шт. дуба черешчатого), выделено 12 насаждений с ними общей площадью 226,4 га (149 и 77,4 га для сосны и дуба соответственно), для создания испытательных лесных культур и лесосеменных плантаций заготовлен семенной и вегетативный материал сосны обыкновенной (284 «плюсовых дерева» и четыре популяционных сбора) и дуба черешчатого (38 и 10), сформированы объекты постоянной лесосеменной базы этих пород площадью 18,92 га (в том числе по сосне: лесосеменные клоновые плантации на 11,32 га с использованием вегетативного потомства 282 «плюсовых деревьев», лесосеменная семейственная плантация 3,7 га на семенном материале 43 семей «плюсовых деревьев»; по дубу – лесосеменные семейственные плантации на площади 3,9 га на семенном материале 5 популяционных сборов), а также испытательные лес-

ные культуры сосны обыкновенной на 7,2 га для испытания потомства 220 «плюсовых деревьев».

Генетический анализ показал, что по богатству генофонда «плюсовые деревья» и древостои Беловежской пущи практически не отличаются друг от друга. Это связано с тем, что леса данного региона обладают очень высокими значениями популяционно-генетических характеристик по сравнению с древостоями естественного происхождения, произрастающими в других местах Беларуси (табл. 2).

Установлено, что древостои сосны обыкновенной Национального парка по уровню параметров изменчивости находятся у верхнего предела генетического разнообразия, встречающегося у данного вида. При этом следует отметить, что это явление характерно для большинства сосняков – у 62,5% уровни ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности превышали значения 0,250 и 0,270 соответственно, что свидетельствует о большом запасе генетической изменчивости. Полученные результаты можно объяснить тем, что структура сосновой формации, как и других лесообразователей Беловежской пущи, формировалась в условиях ограниченной лесохозяйственной деятельности на протяжении длительного периода времени (более 600 лет). Это позволило сохранить ценный генофонд вида, представленный наиболее гетерозиготными особями.

Высокие значения популяционно-генетических показателей, или параметров, характерны и для других охраняемых территорий. Для сравнительного анализа генетического разнообразия в лесах ООПТ и древостоях с различной интенсивностью лесохозяйственной деятельности были подобраны 4 категории объектов: древостои особо охраняемых природных территорий (Национальные парки «Беловежская пуща» и «Припятский», Березинский биосферный заповедник), лесные генетические резерваты, «плю-

Исследованная группа деревьев	Доля полиморфных локусов		Среднее число аллелей на локус		Средняя гетерозиготность	
	P_{95}	P_{99}	A	$A_{1\%}$	ожидаемая H_e	наблюдаемая H_o
Плюсовые деревья НП «Беловежская пуща»	0,70	0,90	2,85	2,45	0,262±0,008	0,278±0,008
В целом древостои НП «Беловежская пуща»	0,65	0,95	3,10	2,55	0,260±0,006	0,276±0,006
В целом леса хозяйственного использования Беларуси	0,65	0,85	3,60	2,35	0,240±0,002	0,247±0,002

Таблица 2. Значения показателей популяционно-генетической изменчивости у сосны обыкновенной в Беларуси

Древостой	Доля полиморфных локусов		Среднее число аллелей на локус		Средняя гетерозиготность	
	P ₉₅	P ₉₉	A	A _{1%}	ожидаемая, H _e	наблюдаемая, H _o
НП «Беловежская пуща»	0,65	0,95	3,10	2,55	0,260±0,006*	0,276±0,006*
ООПТ	0,65	0,90	3,25	2,50	0,257±0,004*	0,267±0,004*
Лесные генетические резерваты	0,60	0,95	3,35	2,35	0,261±0,006*	0,270±0,006*
Плюсовые лесные насаждения	0,65	0,80	3,40	2,35	0,253±0,002*	0,258±0,002*
Леса хозяйственного использования	0,65	0,85	3,60	2,35	0,240±0,002	0,247±0,002

Таблица 3. Значения показателей популяционно-генетической изменчивости сосняков различных категорий защитности

* – достоверно превышают значение показателя для лесов хозяйственного использования по 99%-му критерию

совые лесные насаждения» и леса хозяйственного использования (ЛХИ). В качестве нативных для Беларуси древостоев выбраны сосняки Беловежской пущи, являющиеся оптимальной моделью для изучения и получения информации о состоянии генофонда сосны обыкновенной.

В табл. 3 приведены усредненные данные генетического разнообразия для всех исследованных категорий. По показателям полиморфности и количества аллелей все они имеют сходные значения, что же касается величин показателей гетерозиготности, древостои с любой степенью защитности превосходят ЛХИ. Анализ рис. 1 позволяет оценить степень влияния производственной деятельности на значения показателей генетического разнообразия. Так, на протяжении периода произрастания ЛХИ подвергаются всему комплексу лесохозяйственных мероприятий, в плюсовых лесных насаждениях и лесных генетических резерватах их интенсивность уменьшена в старших возрастах, а в древостоях ООПТ крайне ограничена.

Наименьшие значения средней гетерозиготности выявлены в лесах хозяйственного использования, а наибольшие – в Беловежской пуще (рис. 1). Принимая во внимание гипотезу о том, что с увеличением возраста древостоя происходит смещение в сторону сохранения наиболее гетерозиготных деревьев [7–9], полученный результат может быть объяснен наличием в пуще старых сосняков (более 140 лет). В то же время исследованные 75- и 40-летние леса также характеризуются высокими значениями гетерозиготности. Это позволяет предположить, что еще одной причиной тому может являться меньшая подверженность древостоев Беловежской пущи антропогенному воздействию на протяжении длительного периода времени.

Необходимо отметить, что прослеживается отрицательная зависимость между величиной

показателя средней гетерозиготности и интенсивностью проводимых лесохозяйственных мероприятий, в основном рубок (главного пользования, ухода, реконструкции, обновления, реформирования и т.д.) в ряду «леса хозяйственного использования → плюсовые лесные насаждения → лесные генетические резерваты → древостои ООПТ и НП «Беловежская пуща»». При этом значения показателей H_e и H_o в объектах сохранения генофонда достоверно (P<0,01) превышают таковые в ЛХИ.

Таким образом, антропогенное воздействие оказывает негативное влияние на уровень генетической изменчивости (это в значительной степени усложняет возможность проведения в них селекционных работ), а также на исторически складывающиеся естественные процессы в природных популяциях.

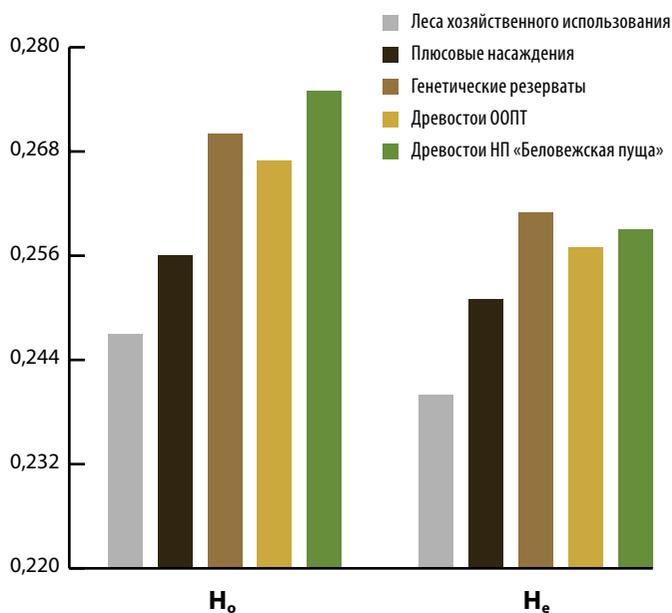


Рис. 1. Величина показателей средней гетерозиготности сосняков различных категорий защитности

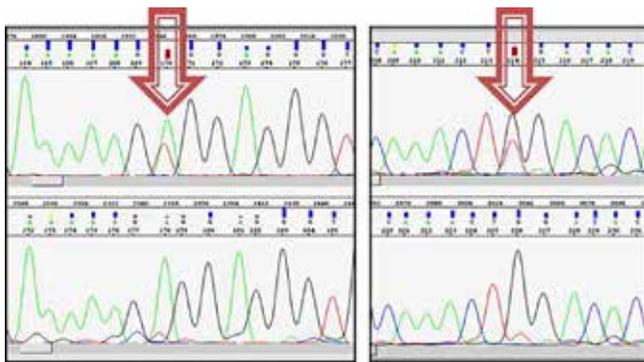


Рис. 2. Молекулярно-генетические отличия между рано- (вверху) и позднецветущей (внизу) формами дуба черешчатого (ген *DSPI*, ассоциированный с устойчивостью к засухе)

Необходимо отметить, что в условиях изменяющегося климата и возрастающей антропогенной нагрузки на природные экосистемы проблема повышения биологической устойчиво-

сти лесобразующих видов к неблагоприятным факторам приобретает первостепенную значимость (ранее превалировала стратегия, направленная на увеличение их продуктивности). При этом, исходя из биологических особенностей древесных растений, отбирать резистентные формы необходимо применительно к различным жизненным стадиям: начиная от выращивания посадочного материала в питомниках до возраста спелости. Существенно ускорить процесс селекционного отбора перспективных растений (по сравнению с классическими методами изучения роста, продуктивности и устойчивости) позволяют ДНК-технологии.

Молекулярно-генетический анализ клонов «плюсовых деревьев» сосны обыкновенной в составе уже созданных селекционно-генетических объектов выявил деревья с генотипами, детерминирующими высокую смоло-



Рис. 3. Формирование коллекции *in vitro* культур лесных растений



продуктивность, что определяет устойчивость к повышенным температурам и дефициту влаги. Также следует отметить проведенную нами оценку клонов ели европейской по ДНК-маркерам, ассоциированным с уровнем содержания флавоноидов в древесине, в результате чего отобраны растения с повышенной устойчивостью к корневым гнилям, которые вызываются еловой корневой губкой. Еще одно исследование, связанное с генетической паспортизацией деревьев дуба черешчатого на основе SSR-локусов и EST-маркеров, позволило разработать (на основе локуса DSP1) методику ранней диагностики генотипов с разной степенью засухоустойчивости (рис. 2).

Важной составляющей непрерывного и неистощительного лесопользования наравне с воспроизводством и рациональным использованием лесных генетических ресурсов является разработка системы мероприятий по их сохранению. Она осуществляется по двум направлениям: охрана в естественных местообитаниях (метод *in situ*) и в специально созданных искусственных объектах (метод *ex situ*). *In situ* ведется путем выделения в лесах генетических резерватов (популяционно-генетическая структура которых представляет динамическую систему, способную эволюционировать на протяжении многих поколений), «плюсовых лесных насаждений» и «хозяйственных семенных древостоев», а также в определенной мере и «плюсовых деревьев». *Ex situ* обеспечивает сохранение наиболее ценного генофонда в искусственно созданных объектах и предполагает появление архивов клонов, испытательных лесных культур, лесосеменных плантаций и др. Необходимо отметить тенденцию к более широкому применению биотехнологических подходов для этих целей путем формирования коллекций *in vitro* культур лесных растений, созданных с помощью технологий прямого и непрямого органогенеза и соматического эмбриогенеза (рис. 3). Большая роль при этом отводится Генетическому банку семян при Институте леса, где находятся коллекции семян «плюсовых деревьев» и «плюсовых лесных насаждений». Для аккумуляции, переработки и эффективного использования накопленной информации создан компьютерный банк данных по генетическим ресурсам лесобразующих видов Беларуси [10].

Конечная цель – появление в республике сети объектов по сохранению лесных генетических ресурсов. Это потребует знаний не только об их

современном статусе, но и об изменениях, которые в них происходят. Поэтому формируется и совершенствуется система генетического мониторинга лесов и селекционно-генетических объектов, представленного объемом информации, содержащейся в генах организмов, населяющих изучаемый регион, и разнообразием генотипов, составляющих популяцию вида. Его задача – долговременное слежение за популяционными генофондами, оценка и прогнозирование их динамики во времени и пространстве, определение пределов допустимых изменений. Необходимо подчеркнуть, что создание постоянной лесосеменной базы на генетико-селекционной основе, в том числе с учетом особо охраняемых природных территорий, является актуальным и важным направлением деятельности по снижению риска утраты и сохранению генофонда лесобразующих пород. Успешное решение этих задач дает возможность создания новых высокопродуктивных и биологически устойчивых лесов. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отбор плюсовых насаждений и деревьев лесобразующих пород БССР: Практические указания / А.И. Савченко [и др.]. – Гомель, 1980.
2. Василевская Л.С. Селекционно-генетическая оценка насаждений и деревьев главных лесобразующих пород / Л.С. Василевская // Селекция, генетика и семеноводство древесных пород как основа создания высокопродуктивных лесов. – М., 1980.
3. Поджарова З.С. Рекомендации по закладке испытательных культур и архивов клонов главных лесобразующих пород / З.С. Поджарова, А.И. Ковалевич. – Гомель, 1982.
4. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2021 / Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь; Лесоустойчивое республиканское унитарное предприятие «Белгослес». – Минск, 2021.
5. Козулько Г.А. Национальный парк «Беловежская пуща» как особо охраняемая территория Беларуси // Беловежская пуща в третьем тысячелетии: Проблемы сохранения природы и устойчивого развития: материалы трансграничной конф., пос. Каменюки (Беларусь) и пос. Беловежа (Польша), 27–29 июня 2000 г., Гос. Нац. парк «Беловежская пуща»; редкол.: О. Брайн, Г. Козулько, Ч. Окулов. – Брест, 2002. С. 61–68.
6. Б.П. Савицкий. Новые подходы к изучению природы Беловежской пущи // Лесное и охотничье хозяйство. 2000. №4. С. 36–39.
7. Генетическая изменчивость сосны обыкновенной в возрастных группах / Н.В. Старова [и др.] // Генетика. 1990. Т. 26, №3. С. 498–505.
8. Д.В. Политов. Динамика аллозимной гетерозиготности в дальневосточных популяциях кедрового стланика *Pinus pumila* (Pall.) Regel: сравнение зародышей и материнских растений / Д.В. Политов, М.М. Белоконов, Ю.С. Белоконов // Генетика. 2006. Т. 42, №10. С. 1348–1358.
9. Kosinska J. Genetic variability of Scots Pine Maternal Populations and Their Progenies / J. Kosinska, A. Lewandowski, W. Chalupka // *Silva Fennica*. 2007. Vol. 41, №1. P. 5–12.
10. Кончиц А.П. База данных по учету селекционно-генетических ресурсов лесных древесных пород / А.П. Кончиц, А.И. Ковалевич // Леса Беларуси и их рациональное использование: Материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 29–30 ноября 2000 г. / Мин-во лесного хозяйства Республики Беларусь, Белорусский государственный технологический университет; редкол.: О.А. Атрощенко [и др.]. – Минск, 2000.