

## ОЦЕНКА ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ ТОПОЛЕЙ (POPULUS L.) ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

**Е. И. Трапезникова**

Ассистент кафедры лесной генетики, биотехнологии и физиологии растений,  
*Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова*»,  
*г. Воронеж, Россия*

### **Аннотация**

В статье представлены результаты комплексного исследования трех перспективных сортов тополей: тополя Менделеевского (*Populus alba*), Гибрида Т.белый×Осина (*Populus alba* L.× *Populus tremula* L.) и Башкирского пирамидального тополя (*Populus bashkiriana* Piramidalis). Целью данной работы являлась оценка фенотипических признаков перспективных сортов тополей (тополь Менделеева, гибрид Т.белый×Осина и Башкирский пирамидальный тополь) для выявления ценного селекционного материала с целью дальнейшего использования в генетической селекции. В ходе исследования проводились морфометрические измерения ростовых параметров саженцев и анализ экспрессии ключевых генов стрессоустойчивости (STS, CPK10, P5CS, LEA, PAL, PR10, PR1, DREB) методом ПЦР в реальном времени. Установлены значительные межвидовые различия в ростовых характеристиках и профилях экспрессии генов. Тополь Менделеева показал наибольшие показатели высоты (122,3 см) и диаметра ствола (0,95 см), но относительно низкую экспрессию генов стрессоустойчивости. Башкирский тополь продемонстрировал комплексную устойчивость с высокой экспрессией большинства изученных генов, но низкие ростовые характеристики. Гибрид Т.белый×Осина показал промежуточные значения по обоим параметрам.

**Ключевые слова:** тополь, селекция, стрессоустойчивость, экспрессия генов, морфометрические показатели, *Populus alba*, *Populus alba* L.×*Populus tremula* L., *Populus bashkiriana* Piramidalis.

## EVALUATION OF PHENOTYPIC TRAITS OF PROMISING POPLAR (POPULUS L.) VARIETIES FOR USE IN GENETIC BREEDING.

**E. I. Trapeznikova**

Assistant, Department of Forest Genetics, Biotechnology, and Plant Physiology,  
*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov*,  
*Voronezh, Russia*

### **Abstract**

This article presents the results of a comprehensive study of three promising poplar forms: Mendelev Poplar (*Populus alba*), Hybrid P.white×Aspen (*Populus alba* L. × *Populus tremula* L.), and Bashkir Pyramidal Poplar (*Populus bashkirica* «Piramidalis»). The aim of this work was to evaluate the phenotypic traits of promising poplar varieties (Mendelev poplar, the P. white × Aspen hybrid, and the Bashkir pyramidal poplar) to identify valuable breeding material for further use in genetic selection. The study included morphometric measurements of seedling growth parameters and an analysis of the expression of key stress resistance genes (STS, CPK10, P5CS, LEA, PAL,

PR10, PR1, DREB) using real-time PCR. Significant interspecific differences in growth characteristics and gene expression profiles were revealed. The Mendeleev poplar demonstrated the highest height (122.3 cm) and trunk diameter (0.95 cm), but relatively low expression of stress-resistance genes. The Bashkir poplar demonstrated complex resistance with high expression of most of the studied genes, but poor growth characteristics. The P.white × Aspen hybrid showed intermediate values for both parameters.

**Keywords:** poplar, selection, stress resistance, gene expression, morphometric parameters, *Populus alba*, *Populus alba* L. × *Populus tremula* L, *Populus bashkiriana* Pyramidalis.

## Введение

В современных условиях, когда вопросы экологической безопасности, рационального природопользования и сохранения биоразнообразия выходят на первый план, особое значение приобретает изучение древесных растений, сочетающих высокую хозяйственную ценность с экологической пластичностью. Среди таких растений выдающееся место занимают представители рода *Populus* L. – тополя, которые благодаря быстрому росту, широкому ареалу и разнообразию сортов играют ключевую роль в лесообразовании, защитном лесоразведении и озеленении урбанизированных территорий [9,10].

Гибрид тополя белого и осины, известный в научной литературе как тополь сереющий (*Populus alba* × *P. tremula*) достигает 30–40 метров в высоту и демонстрирует исключительное морфологическое разнообразие. Форма его кроны варьирует от широкоовальной и раскидистой до узкопирамидальной, известной как «узкокронная форма». Кора на молодых деревьях светло-серая и гладкая, с возрастом становится темно-серой, с глубокими продольными трещинами в нижней части ствола [11]. Особый интерес представляет листовой диморфизм и гетерофиллия растения: на ростовых побегах и поросли листья 3–5-лопастные, длиной 10–15 см, напоминающие листья тополя белого, тогда как на укороченных побегах в кроне взрослого дерева они приобретают округло-яйцевидную или округло-ромбическую форму с неравно-зубчато-выемчатым краем. Характерной особенностью является густое белое войлочное опушение, которое у молодых листьев покрывает обе стороны пластинки, а у взрослых сохраняется только на нижней стороне, придавая ей серебристо-белый оттенок. Сплюснутые с боков черешки обеспечивают характерное дрожание листьев даже при слабом ветре. Экологическая пластичность этого гибрида, его устойчивость к неблагоприятным почвенным условиям, включая способность расти на тяжёлых глинах и болотах, открывают широкие перспективы для защитного лесоразведения и фиторемедиации [10,11].

Башкирский пирамидальный тополь (*Populus* × *bashkiriana* «Pyramidalis»), созданный селекционером А.М. Березиным, представляет собой результат целенаправленной селекционной работы. Этот сорт с его стройной узкоколонновидной кроной, где отношение высоты к ширине составляет 5:1, стал эталоном урбоэкологии [1]. Дерево достигает высоты 25–30 метров и характеризуется исключительно стройным, пирамидальным габитусом. Мутовчатое ветвление создаёт компактный, почти колонновидный силуэт благодаря скелетным ветвям, отходящим от ствола под острым углом 45–60° и плотно прижатым к нему [6]. Кора у молодых деревьев гладкая, светло-серая, с возрастом становится темно-серой со слабыми трещинами. Крупные листовые пластинки длиной 9–13 см имеют ромбически-яйцевидную или треугольно-яйцевидную форму с ширококлиновидным основанием и заострённой верхушкой. Тёмно-зелёная глянцевая поверхность листьев контрастирует с более светлой нижней стороной, а длинные тонкие черешки, сплюснутые с боков, обеспечивают лёгкое дрожание листвы [10,11]. Важнейшим преимуществом сорта является то, что все деревья представляют собой мужские вегетативные клоны, что полностью исключает образование пуха. Сочетание высокой декоративности, выдающейся зимостойкости (до –40°C) и феноменальной экологической эффективности делает этот сорт незаменимым для городского озеленения [1].

Тополь Менделеевский в усадьбе Шахматово представляет собой уникальный экземпляр тополя серебристого (*Populus alba*), имеющий не только научное, но и огромное культурно–историческое значение. Дмитрий Иванович Менделеев лично привез этот тополь с Урала в 1880–х годах, демонстрируя свой глубокий интерес не только к химии, но и к ботанике, лесоводству и рациональному природопользованию. Учёный тщательно выбирал место для посадки, учитывая почвенные условия и освещенность, что отражало его системный подход к любым экспериментам. Этот тополь стал свидетелем важных научных открытий и творческих процессов – под его раскидистой сенью Менделеев обдумывал свои теории, а позднее здесь черпал вдохновение Александр Блок. Современники отмечали необычайную мощь и высоту этого дерева – его крона возвышалась над другими деревьями усадьбы, символизируя величие научной мысли ([шахматово.рф](http://шахматово.рф)).

Тополь серебристый (*Populus alba*) достигает 30–35 метров в высоту с диаметром ствола до 2 метров. Его мощный ствол покрыт характерной корой: у молодых деревьев она гладкая, серо–зелёная, а у взрослых экземпляров становится тёмно–серой, с глубокими продольными трещинами. Раскидистая яйцевидная крона создаёт густую тень, а листья проявляют удивительный диморфизм – на ростовых побегах они 3–5–лопастные длиной 10–15 см, а на укороченных побегах – округло–яйцевидные, длиной 6–10 см [5]. Главная особенность листьев – их двуцветная окраска: верхняя сторона тёмно–зелёная и глянцевая, а нижняя покрыта снежно–белым войлочным опушением, что придает дереву особую декоративность. Экологические особенности этого вида впечатляют: тополь белый способен жить 180–200 лет, ежегодно прибавляя в росте до 1,2 метра в молодом возрасте. Его корневая система смешанного типа включает стержневой корень глубиной до 4 метров и мощные поверхностные боковые корни, что обеспечивает исключительную засухоустойчивость и ветроустойчивость. Дерево выдерживает морозы до –45°C и обладает выдающейся порослевой способностью, давая корневые отпрыски в радиусе 15–20 метров [10].

Целью данной работы является оценка фенотипических признаков перспективных сортов тополей (тополь Менделеева, гибрид Т.белый×Осина и Башкирский пирамидальный тополь) для выявления ценного селекционного материала с целью дальнейшего использования в генетической селекции.

### **Материалы и методы**

Исследование проводилось на трех перспективных сортах тополей:

Тополь Менделеевский (*Populus alba*) – исторический клон из усадьбы Шахматово

Гибрид тополя белого и осины (*Populus alba* × *P. tremula*)

Башкирский пирамидальный тополь (*Populus x bashkiriana* «*Piramidalis*»)

Были высажены по 5 черенков размером 23–25 сантиметров каждый. Саженцы выращивались в 2–литровых сосудах [8].

Работы по выращиванию контейнеризованных саженцев тополя проводились в отапливаемой теплице. Туман создавался автоматической ирригационной системой, режим полива задавался и контролировался при помощи программатора Hunter PCC901 –Е (США).

Влажность воздуха в теплице контролировалась при помощи психрометрического гигрометра ВИТ –2 и поддерживалась в пределах 80 –95 %.

Статистическую обработку проводили с использованием программы Statistica версии 12.6 («StatSoft, Inc.», США).

Измерения проводились через 5 месяцев после посадки черенков. Высота растений определялась с помощью линейки, с точностью до 1 см. Диаметр ствола измерялся электронным штангенциркулем на высоте 1 см от корневой шейки

Для каждого параметра выполнено 5 повторностей на каждую форму тополя

Образцы листьев для выделения РНК отбирались с 5 растений каждой формы в фазе активного роста

Выделение тотальной РНК проводилось с использованием СТАВ–буфера (Hexadecyltrimethyl ammonium bromide):

Состав используемого СТАВ-буфера: (2% (масса / объем) ЦТАБ; 0.1 М Tris-HCl (pH 8.0); 1.4 М NaCl; 20 mM EDTA (pH 8.0); 2 % (масса / объем) PVP), 2% β-меркаптоэтанола.

1. Листья тополя (50 мг) растирали в ступке с СТАВ-буфером. Пробирку инкубировали при 65 °С в течение часа с постоянным встряхиванием.

2. После инкубации к лизату добавляли 1 объем (≈1 мл) смеси хлороформ : изоамиловый спирт (24:1, pH ~4.7). Смесь центрифугировали при 12 000 g в течение 10 минут при 4 °С. После центрифугирования верхнюю водную фазу осторожно переносят в новую пробирку.

3. К перенесенной водной фазе добавляли 1 объем смеси хлороформ : фенол(1:1), тщательно встряхивали и центрифугировали при 12 000 g в течение 10 минут. Верхнюю водную фазу аккуратно переносили в новую пробирку.

4. К перенесенной водной фазе добавляли 1 объем хлороформа, тщательно встряхивали и центрифугировали при 12 000 g в течение 10 минут. Верхнюю водную фазу аккуратно переносили в новую пробирку.

5. Для осаждения РНК к очищенной водной фазе добавляют 1/3 объема охлажденного 12 М раствора хлорида лития (LiCl). Смесь осторожно, но тщательно перемешивали переворачиванием пробирки и инкубировали для осаждения при -20 °С в течении часа.

6. После осаждения пробирку центрифугировали при 12 000 g в течение 15 минут при 4 °С.

7. Супернатант осторожно удаляли, а полученный осадок РНК дважды промывали 500 мкл охлажденного 70% этанола, с центрифугированием при 12 000 g в течение 5 минут при 4 °С после каждой промывки.

8. Осадок подсушивали на воздухе в течение 5–10 минут.

9. Высушенный осадок РНК растворили в 50 мкл воды.

*Обратная транскрипция.*

Синтез кДНК выполняли с помощью набора набор MMLV RT kit (Евроген).

Использовали 1 мкг тотальной РНК и гексамерные праймеры

*ПЦР в реальном времени*

Количественную полимеразную цепную реакцию производили на приборе LightCycler 480 II (Roche Diagnostics, Швейцария) с применением смеси, состоящей из 16 мкл воды, 5 мкл 5X qPCRmix-HS SYBR (Евроген, Россия), 1 мкл прямого, 1 мкл обратного праймеров и 2 мкл ДНК-матрицы.

Протокол:

· Денатурация: 95°C – 3 мин

40 циклов: 95°C – 15 сек, 60°C – 30 сек, 72°C – 30 сек

Анализ кривых плавления: 65–95°C

Использованные пары праймеров:

STS: F 5'-ATGGGCGAGATTCTCAACCC-3', R 5'-TCAGCTTGACACCACCATCA-3'

CPK10: F 5'-GCTCAACGGTGGTATGGAAG-3', R 5'-TGGTGGTGGTGGTGGTGGTA-3'

P5CS: F 5'-CAGCAACAGCAGCAACAGCA-3', R 5'-GCTTGCTGCTTGCTGCTTGC-3'

LEA: F 5'-ATGGCTGCGGCGGCGGCGGC-3', R 5'-TCAGCGGCCCGCCGCCGCCGC-3'

PAL: F 5'-GCTCAACGGTGGTATGGAAG-3', R 5'-TGGTGGTGGTGGTGGTGGTA-3'

PR10: F 5'-CAGCAACAGCAGCAACAGCA-3', R 5'-GCTTGCTGCTTGCTGCTTGC-3'

PR1: F 5'-ATGGCTGCGGCGGCGGCGGC-3', R 5'-TCAGCGGCCCGCCGCCGCCGC-3'

DREB: F 5'-ATGGCGATCTTCACCATCCT-3', R 5'-TCAGCACGAAGGTCTGGTTC-3'

Референсный ген GAPDH: F 5'-GTGCCAAGGCTATCCACGAC-3', R 5'-CACCAGCATCACCACCTTGA-3'

*Статистический анализ*

Для каждого набора данных рассчитывались:

Среднее арифметическое (M)

Стандартное отклонение (SD)

Стандартная ошибка среднего (SEM) Статистические тесты:

1. Проверка нормальности распределения: осуществлялась с помощью теста Шапиро–Уилка при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .
2. Проверка гомогенности дисперсий: выполнялась с использованием теста Левена.
3. Сравнение нескольких групп: при нормальном распределении и гомогенности дисперсий применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим пост-хок тестом Тьюки для множественных сравнений.

Различия между группами считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

**Табл.1. Морфометрические показатели саженцев**

| Морфометрический показатель | Тополь Башкирский | Тополь Менделеевский | Гибрид Т.белый×Осина |
|-----------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| Высота                      | 92,2±11,5         | 122,3±12,3           | 99±10,8              |
| Диаметр                     | 0,66±0,08         | 0,95±0,18            | 0,6±0,07             |

Через 5 месяцев после посадки были получены следующие данные по ростовым параметрам (табл. 1). Наибольшие показатели высоты и диаметра ствола были зафиксированы у тополя Менделеевский (122,3 см и 0,95 см соответственно). Это может быть связано с генетическими особенностями этого сорта, а также с адаптацией материнского дерева к условиям произрастания. Гибрид Т.белый×Осина демонстрирует промежуточные значения по высоте (99,0 см), но наименьший диаметр ствола (0,60 см). Это может свидетельствовать о более активном развитии корневой системы и формировании листовой поверхности. Тополь Башкирский показывает наименьший прирост по высоте и средний диаметр ствола. Это может также свидетельствовать о более активном росте корневой системы и накоплении большого количества запасных веществ [13].

Анализ экспрессии генов выявил различия между исследуемыми сортами (рис. 1–3).

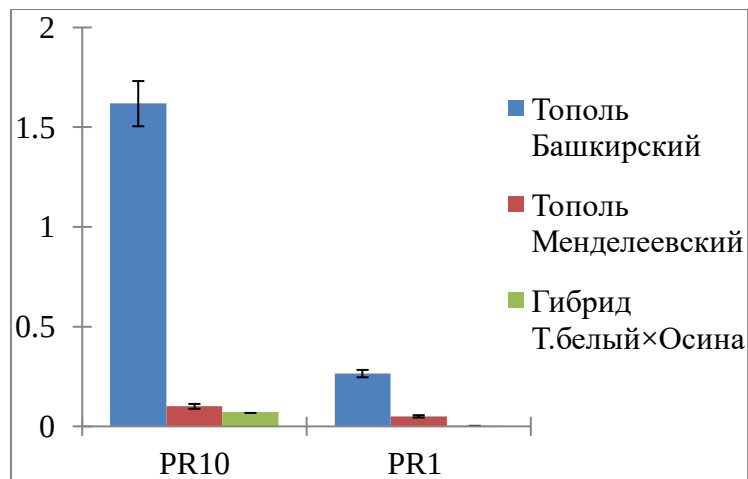
В результате амплификации в реальном времени были получены данные по экспрессии генов устойчивости у 3 исследуемых сортов тополей. Экспрессия всех исследуемых генов у Башкирского тополя выше, чем экспрессия этих генов у других исследуемых сортов.

Экспрессия генов PR10 и PR1 в десятки раз превышает экспрессию этих генов у других исследуемых сортов. Это свидетельствует об устойчивости данного сорта к фитопатогенам. Белки PR10 относятся к семейству рибонуклеазоподобных белков и участвуют в деградации РНК патогенов, в то время как PR1 белки обладают прямой фунгицидной и бактериостатической активностью, лизируя мембраны патогенов [3].

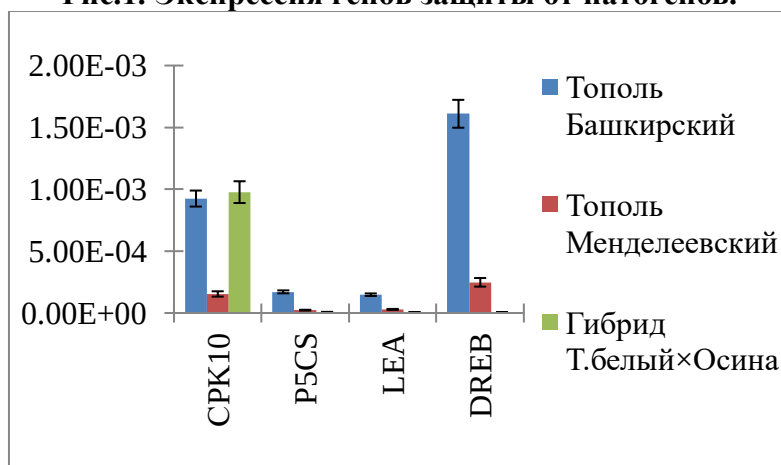
Также были получены данные по экспрессии генов, ответственных за устойчивость к абиотическим стрессам. Гены DREB, LEA и P5CS проявляют наибольшую активность у Башкирского тополя. Гены DREB кодирует транскрипционный фактор, который активирует каскад защитных реакций при дефиците воды и низких температурах. LEA белки выполняют функцию молекулярных шаперонов, которые защищают клеточные структуры от повреждения при обезвоживании. P5CS обеспечивает синтез пролина, который поддерживает тургор клеток при водном дефиците, нейтрализует АФК, защищает белки от денатурации [2,8].

Гены вторичного метаболизма STS и PAL демонстрируют максимальную активность у Башкирского тополя, что свидетельствует об интенсивном синтезе фитоалексинов и фенольных соединений. Стилбенсинтаза (STS) катализирует образование ресвератрола и его производных – соединений с доказанной антимикробной и антиоксидантной активностью. Фенилаланин–аммиак–лиаза (PAL) является ключевым ферментом фенилпропаноидного пути, приводящего к накоплению флавоноидов, лигнинов и других защитных соединений [2,3,4].

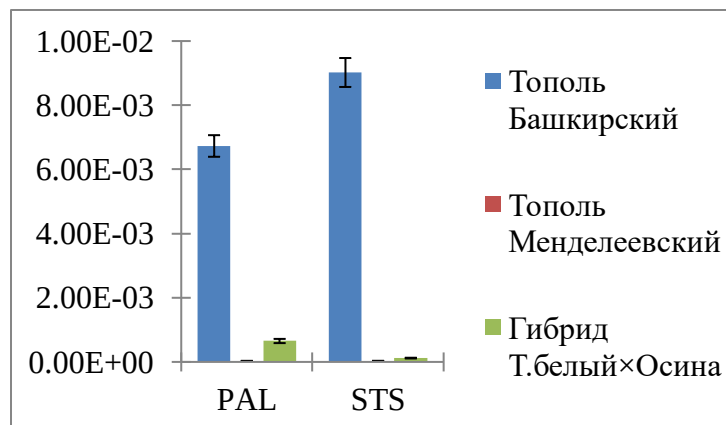
Высокая экспрессия гена СРК10 была обнаружена у Башкирского тополя и у гибрида Т.белый×Осина. Кальций–зависимые протеинкиназы играют ключевую роль в передаче стрессовых сигналов у растений [14]



**Рис.1. Экспрессия генов защиты от патогенов.**



**Рис.2. Экспрессия генов адаптации к абиотическим стрессам.**



**Рис.3. Экспрессия генов вторичного метаболизма.**

Обнаружена обратная корреляция между ростовыми показателями и уровнем экспрессии генов устойчивости. Тополь Менделеева, демонстрирует максимальные показатели роста, но низкий уровень экспрессии генов устойчивости. Можно сделать вывод, что основные ресурсы тратятся на процессы первичного метаболизма и биосинтез структурных компонентов. В то же время Башкирский тополь поддерживает высокий уровень защиты от различных стрессовых факторов, что ограничивает скорость роста [13]

#### **Заключение**

Проведенное исследование позволило получить комплексную характеристику трех перспективных сортов тополей и выявить их особенности, определяющие практическую ценность для селекции и лесного хозяйства.

1. Установлены значительные различия в ростовых характеристиках изученных форм. Тополь Менделеевский демонстрирует наибольшую ростовую энергию, что делает его перспективным для использования в целях быстрого получения древесной биомассы в благоприятных условиях произрастания.

2. Выявлены специфические профили экспрессии генов устойчивости. Башкирский тополь характеризуется комплексной устойчивостью, обусловленной высокой экспрессией генов защиты от патогенов (PR10, PR1), генов адаптации к абиотическим стрессам (DREB, LEA, P5CS) и генов вторичного метаболизма (STS, PAL).

3. Обнаружена обратная корреляция между ростовыми показателями и уровнем экспрессии генов устойчивости. Тополь Менделеевский направляет ресурсы на рост и развитие, но это снижает его устойчивость к различным воздействиям. Башкирский тополь обладает хорошей системой защиты, но при этом имеет минимальные показатели роста. Гибрид Т.белый×Осина имеет промежуточные значения по обоим параметрам и представляет собой сбалансированный вариант.

### Список литературы

1. Блонская Л. Н., Муфтахова С. И., Балденко М. Г. Анализ состояния деревьев тополя башкирского пирамидального Березина–Левашова (*Populus nigra* L × *P. nigra* f. *italica* Duroy) в условиях техногенного загрязнения г. Уфы // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-dereviev-topolya-bashkirskogo-piramidalnogo-berezina-levashova-populus-nigra-l-p-nigra-f-italica-duroi-v-usloviyah> (дата обращения: 28.05.2025).

2. Газданова И. О., Гериева Ф. Т., Дзедаев Х. Т. Исследование гибридов картофеля ВНЦ РАН на наличие ДНК-маркеров устойчивости к вирусам и цистообразующей нематоды // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7 (184). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gibridov-kartofelya-vnts-ran-na-nalichie-dnk-markerov-ustoychivosti-k-virusam-i-tsistoobrazuyuschej-nematode> (дата обращения: 07.10.2025).

3. Гродецкая Т. А., Евлаков П. М., Исаков И. Ю. Анализ экспрессии генов стрессоустойчивости в условиях воздействия засухи на растения березы в Центрально-Черноземном регионе // Лесотехнический журнал. 2020. № 2 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ekspressii-genov-stressoustoychivosti-v-usloviyah-vozdeystviya-zasuhi-na-rasteniya-berezy-v-tsentralno-chnozemnom-regione>

4. Заинчковская А. Н., Фомина Е. А., Кушанов Ф. Н., Урбанович О. Ю. Экспрессия генов TaDHN9-A, TaDHN13 и TaDHN20 у сортов яровой пшеницы в ответ на засуху // Молекулярная и прикладная генетика. 2023. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekspressiya-genov-tadhn9-a-tadhn13-i-tadhn20-u-sortov-yarovoy-pshenitsy-v-otvet-na-zasuhu>

5. Крючков С. Н., Соломенцева А. С., Романенко А. К. Внутривидовые скрещивания выделенных биотипов родов вяз и тополь для получения гетерозисных селекционных форм // Аграрный вестник Урала. 2023. № 6 (235). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnutrividovye-skreschivaniya-vydelennyh-biotipov-rodov-vyaz-i-topol-dlya-polucheniya-geterozisnyh-selektzionnyh-form>

6. Назаров А. М., Туктарова И. О., Четвериков С. П., Иванов Р. С., Тимергалин М., Рязанова Н. А., Кудоярова Г. Р. Препараты на основе бактерий и гуматов для лесовосстановления и повышения депонирования углерода древесными растениями // Биосфера. 2023. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preparaty-na-osnove-bakteriy-i-gumatov-dlya-lesovosstanovleniya-i-povysheniya-deponirovaniya-ugleroda-drevesnymi-rasteniyami>

gumatov-dlya-lesovosstanovleniya-i-povysheniya-deponirovaniya-ugleroda-drevesnymi-rasteniyami

7. Путенихин В. П. История Башкирского пирамидального тополя // Право, история, педагогика и современность: сборник статей IV Международной научно-практической конференции. Пенза: Пензенский гос. аграр. ун-т, 2023. С. 233–236.

8. Саитжанов Ш. А., Азимов А. А., Зияев З. М. Содержание аминокислоты пролина в условиях разной водообеспеченности у сортов и линий маша (*Vigna radiata* L.) // Академические исследования в области педагогических наук. 2022. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-aminokisloty-prolina-v-usloviyah-raznoy-vodoobespechennosti-u-sortov-i-linij-masha-vigna-radiata-l>

9. Царев А. П., Царева Р. П., Царев В. А., Евлаков П. М. Биоэнергетические и репродукционные насаждения настоящих тополей в Центральном Черноземье России // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bioenergeticheskie-i-reproduktsionnye-nasazhdeniya-nastoyaschih-topoley-v-tsentralnom-chnozemie-rossii>

10. Царев А. П., Царева Р. П., Царев В. А., Лаур Н. В. Некоторые результаты испытания тополей в центральной лесостепи // Лесохозяйственная информация. 2023. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-rezultaty-ispytaniya-topoley-v-tsentralnoy-lesostepi>

11. Царев В. А., Царев А. П., Царева Р. П., Милигула Е. Н. Новые гибриды осины селекции «ВНИИЛГИСБИОТЕХ» и их испытание в Воронежской области // Бюллетень ГНБС. 2025. № 154. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-gibridy-osiny-selektsii-vniilgisbioteh-i-ih-ispytanie-v-voronezhskoy-oblasti>

12. Цепляев А. Н., Попова А. А., Пальцева А. В. Эффективность размножения различных сортов декоративных кустарников методом зеленого черенкования в условиях Воронежской области // Лесоводственно-биологические основы устойчивости природных и искусственных фитоценозов: материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 21 февр. 2024 г. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2024. С. 249–254. DOI: 10.58168/FBFSNAP2024\_249-254

13. Kim D., Hwang C.Y., Cho K.H. The fitness trade-off between growth and stress resistance determines the phenotypic landscape // BMC Biology. 2024. Vol. 22. P. 62. DOI: 10.1186/s12915-024-01856-7

14. Wang Z., Zhang Y., Wu Y., Lai D., Deng Y., Ju C., Sun L., Huang P., Wang C. CPK10 protein kinase regulates Arabidopsis tolerance to boron deficiency through phosphorylation and activation of BOR1 transporter // New Phytologist. 2024. Vol. 243. No. 5. P. 1795–1809. DOI: 10.1111/nph.19712

## References

1. Blonskaya L. N., Muftakhova S. I., Baldenko M. G. Analysis of the condition of Bashkir pyramidal Berezina–Levashov poplar trees (*Populus Nigra* d × *P. Nigra* F. Italian Duroy) in conditions of technogenic pollution of Ufa // Actual problems of the forest complex. 2020. No. 43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-dereviev-topolya-bashkirskogo-piramidalnogo-berezina-levashova-populus-nigra-l-p-nigra-f-italica-duroi-v-usloviyah> (date of request: 05/28/2025).

2. Gazdanova I. O., Gerieva F. T., Dzedaev H. T. Investigation of potato hybrids of VNC RAS for the presence of DNA markers of resistance to viruses and cyst-forming nematode // Bulletin of KrasGAU. 2022. № 7 (184). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gibridov-kartofelya->

vnts-ran-na-nalichie-dnk-markerov-ustoychivosti-k-virusam-i-tsistoobrazuyushey-nematode (date of request: 07.10.2025).

3. Grodet'skaya T. A., Yevlakov P.M., Isakov I. Yu. Analysis of the expression of stress resistance genes under conditions of drought on birch plants in the Central Chernozem region // Forestry Journal. 2020. № 2 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ekspressii-genov-stressoustoychivosti-v-usloviyah-vozddeystviya-zasuhi-na-rasteniya-berezy-v-tsentralno-chernozernom-regione>

4. Zainchkovskaya A. N., Fomina E. A., Kushanov F. N., O Urbanovich Y. Expression of the TaDHN9-a TaDHN13 and TaDHN20 genes in spring wheat varieties in response to drought // Molecular and applied genetics. 2023. No. 1. Address: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekspressiya-genov-tadhn9-a-tadhn13-i-tadhn20-u-sortov-yarovoy-pshenitsy-v-otvet-na-zasuhu>

5. Kryuchkov S. N., Solomentseva A. S., Romanenko A. K. Intraspecific crosses of isolated biotypes of the elm and poplar genera to obtain heterotic breeding forms // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. № 6 (235). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnutrividovye-skreschivaniya-vydelennyh-biotipov-rodov-vyaz-i-topol-dlya-polucheniya-geterozisnyh-selektzionnyh-form>

6. Nazarov A.M., Tuktarova I. O., Chetverikov S. P., Ivanov R. S., Timergalin M., Razanova N. A., Kudoyarova G. R. Recipes based on tanks and humates for reforestation and raising public awareness of terrestrial resources // Biosphere. 2023. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preparaty-na-osnove-bakteriy-i-gumatov-dlya-lesovosstanovleniya-i-povysheniya-deponirovaniya-ugleroda-drevesnymi-rastenyami>

7. Putenigin V. P. The history of the Bashkir pyramidal poplar // Law, history, psychology and modernity: collection of articles of the IV International Scientific and Practical Conference. Penza: Penza State Agrarian University. Univ., 2023. pp. 233-236.

8. Satzhanov V. A., Azimov A. A., Ziev Z. M. Retention of proline amino acids in combination with diverse water in certs and lilies of Mach (*Vigna radiata* L.) // Academic research in the field of pedagogy. 2022. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-aminokisloty-prolina-v-usloviyah-raznoy-vodoobespechennosti-u-sortov-i-linii-masha-vigna-radiata-l>

9. Tsarev A. P., Tsareva R. P., Tsarev V. A., Yevlakov P.M. Bioenergetic and reproductive plantings of real poplars in the Central Chernozem region of Russia // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Forest magazine. 2023. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bioenergeticheskie-i-reproduktionnye-nasazhdeniya-nastoyaschih-topoley-v-tsentralnom-chernozemie-rossii>

10. Tsarev A. P., R. Tsareva. P., V. Tsarev. A., Laur N. V. Some results of testing poplars in the central forest-steppe // Forestry information. 2023. No. 1. Address: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-rezultaty-ispytaniya-topoley-v-tsentralnoy-lesostepi>

11. Tsarev V. A., Tsarev A. P., Tsareva R. P., Miligula E. N. New aspen hybrids of VNIILGISBIOTECH breeding and their testing in the Voronezh region // Bulletin of GNBS. 2025. № 154. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-gibridy-osiny-selektcii-vniilgisbioteh-i-ih-ispytanie-v-voronezhskoy-oblasti>

12. Tseplyaev A. N., Popova A. A., Paltseva A.V. The effectiveness of propagation of various varieties of ornamental shrubs by green cuttings in the Voronezh region // Forestry and biological foundations of the sustainability of natural and artificial phytocenoses: proceedings of the International Youth Scientific and Practical Conference, Voronezh, February 21, 2024. Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2024. pp. 249-254. DOI: 10.58168/FBFSNAP2024\_249-254

13. Kim D., Hwang S.Y., Cho K.H. The balance between growth and stress resistance determines the phenotypic landscape // BMC Biology. 2024. Volume 22. Page 62. DOI: 10.1186/s12915.-024-01856-7

14 Wang Z., Zhang Yu., Wu Yu., Lai D., Deng Yu., Zhu S., Song L., Huang P., Wang S. CPK10 protein kinase regulates arabidopsis resistance to boron deficiency through phosphorylation and carrier activation BOR1 // New phytologist. 2024. Volume 243. No. 5. pp. 1795-1809. DOI: 10.1111/nph.19712