

Научная статья  
УДК 582.632.2:581.522.4  
doi: 10.28983/asj.y2023i12pp40-45

### Оценка адаптивной способности представителей рода *Quercus* в условиях засушливого климата

Елена Владимировна Калмыкова, Петр Анатольевич Кузьмин, Павел Андреевич Крылов  
ФНЦ агроэкологии РАН, г. Волгоград, Россия, e-mail: kalmykova.elena-1111@yandex.ru

**Аннотация.** Древесные растения, перспективные для агролесомелиорации и защитного лесоразведения территорий аридной зоны, все больше стали подвергаться воздействию сильнейших абиотических факторов, таких как засуха и высокая засоленность почв. Данное влияние приводит к ослаблению или гибели древесных растений, как аборигенных, так и интродуцированных видов. Анализ адаптивной способности показал, что пигментная система древесных растений изменяется в зависимости от видовой специфики и интенсивности воздействия абиотических факторов. Представители рода *Quercus* широко распространены в малолесном регионе сухих степей Волгоградской области. В связи с этим целью работы стало проведение комплексной оценки адаптивной способности представителей рода *Quercus* и выявление зависимости между интегральными показателями успешности интродукции и содержанием фотосинтетических пигментов в условиях аридного климата. Для проведения исследования были выбраны две формы дуба черешчатого – типичный и пирамидальный и дуб красный. Проведение мониторинга успешности адаптации показало, что интродуцент дуб красный обладает хорошей адаптивной способностью к засушливым условиям, в то время как формы дуба черешчатого, являясь аборигенами, показали отличные результаты. Исследование содержания пигментов фотосинтетической системы позволило определить, что у двух форм дуба черешчатого значения содержания пигментов выше в 2–4 раза, чем у интродуцированного дуба красного ( $p < 0,05$ ). Таким образом, абиотические факторы оказывают влияние на содержание пигментов и в целом на адаптационную способность древесных растений в условиях засушливого климата. Было выявлено наличие связи между адаптационной способностью и содержанием пигментов фотосинтетической системы у представителей рода *Quercus*. Они являются перспективными интродуцентами засушливых территорий и позволяют решать задачи агролесомелиорации и защитного лесоразведения.

**Ключевые слова:** интродукция; адаптация; древесные растения; пигменты фотосинтетической системы; *Quercus robur* L.; *Quercus robur* f. *Fastigiata*; *Quercus rubra* L.

**Для цитирования:** Калмыкова Е. В., Кузьмин П. А., Крылов П. А. Оценка адаптивной способности представителей рода *Quercus* в условиях засушливого климата // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 40–45. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp40-45>.

### AGRONOMY

Original article

### Comprehensive assessment of the adaptive capability of representatives of the genus *Quercus* under arid climate

Elena V. Kalmykova, Petr A. Kuzmin, Pavel A. Krylov

Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC Agroecology RAS), Volgograd, Russia, e-mail: kalmykova.elena-1111@yandex.ru

**Abstract.** Woody plants that are promising for agroforestry and protective afforestation in the arid zone are increasingly exposed to the strongest abiotic factors, such as drought and high soil salinity. This influence leads to the weakening or death of woody plants, both native and introduced species. Based on a comprehensive assessment of the adaptive capacity, the pigment system of woody plants changes depending on the species specificity and the intensity of the impact of abiotic factors. Representatives of the genus Oak are widely distributed in the sparsely forested region of the dry steppes of the Volgograd region. In this regard, the aim of the work was to conduct a comprehensive assessment of the adaptive ability of representatives of the Oak genus and to identify the relationship between the integral indicators of the success of introduction and the content of photosynthetic pigments in an arid climate. For the study were selected: two forms of pedunculate oak - sprawling and pyramidal and red oak. Conducting a comprehensive assessment of the success of adaptation showed that the introduced red oak has a good adaptive ability to arid conditions, while the forms of English oak, being aborigines, showed excellent results. The study of the content of pigments of the photosynthetic system made it possible to determine that in two forms of pedunculate oak, the content of pigments is 2-4 times higher than in the introduced red oak ( $p < 0.05$ ). It can be concluded that abiotic factors affect the content of pigments and, in general, the adaptive capacity of woody plants in arid climates. The study made it possible to reveal the existence of a



relationship between the adaptive capacity and the content of pigments of the photosynthetic system in representatives of the Oak genus, which are promising introducers of arid territories for solving the problems of agroforestry and protective afforestation.

**Keywords:** introduction; adaptation; woody plants; pigments of the photosynthetic system; *Quercus robur* L.; *Quercus robur* f. *Fastigiata*; *Quercus rubra* L.

**For citation:** Kalmykova E. V., Kuzmin P. A., Krylov P. A. Comprehensive assessment of the adaptive capability of representatives of the genus *Quercus* under arid climate. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(12):40–45. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp40-45>.

**Введение.** В засушливом поясе России в связи с резким ухудшением экологической ситуации, низкой лесистостью и бедным видовым составом естественной дендрофлоры наблюдается усиление процессов эрозии, дефляции, острее проявляются засухи, пыльные бури, что неизбежно приводит к опустыниванию и деградации земель. В связи с этим в настоящее время представляют интерес дендрологические коллекции и питомники как объекты многоцелевого применения, деятельность которых имеет широкое направление.

Обогащение, восстановление и сохранение дендрологических коллекций древесных растений для создания сложных полифункциональных насаждений в засушливых условиях являются актуальными задачами. Для их решения необходимо проводить отбор перспективных видов и пород древесных растений, включая искусственно полученные новые генотипы, обладающие высокой степенью толерантности к стресс-факторам и экологической пластичностью в условиях засушливого климата.

Основным критерием успешности интродукции выступает уровень адаптации растения к стрессовым факторам. Адаптация является главным процессом, обеспечивающим приспособление морфофункциональных особенностей организма к внешним условиям окружающей среды, а также эффективное сохранение жизни в трудных условиях, повышая коэффициент размножения и уменьшая коэффициент гибели растений. Адаптивный потенциал перспективных видов определяет их эффективное применение для создания полифункциональных насаждений [14].

Учитывая увеличение скорости потепления и усиление деграционных процессов природных ландшафтов, перспективными являются вопросы, связанные с изучением реакции растений на физиологическом уровне в ответ на стрессовые факторы внешней среды. Известно, что стрессовые условия, характерные для аридной зоны, способствуют образованию активных форм кислорода, которые оказывают негативное воздействие на фотосинтетический аппарат растений [4]. Компонентом комплексной оценки адаптивной способности древесных растений является количественное и качественное содержание фотосинтетических пигментов, вовлеченных в механизмы устойчивости к стресс-факторам [1, 10].

Индекс азотного баланса (NBI) указывает на соотношение хлорофиллов и флавоноидов, т.е. азота к углероду, на основе которого можно выявить особенности адаптации «здоровых» и «ослабленных» растений к условиям произрастания в аридном климате.

Пигментная система растений крайне чувствительна к внешним факторам среды обитания, в том числе к повышенным атмосферным температурам и недостатку влаги. Содержание хлорофиллов в листьях меняется в течение вегетации. Это связано с различными абиотическими, биотическими и антропогенными факторами среды. Каротиноиды, хлорофилл *b* являются вспомогательными пигментами. Они осуществляют стабилизацию работы хлорофилла *a*, защищая от фотоокисления. Во многих исследованиях отмечается более высокое содержание каротиноидов в листьях растений, произрастающих в экстремальных лесорастительных условиях. Каротиноиды обладают высокой реакционной способностью и защищают клетки от разрушения, выступая в качестве антиоксидантов. Индикаторами уровня стресса растений можно считать содержание хлорофилла, каротиноидов, соотношение хлорофиллов *a* и *b* [2, 4, 9].

Климатические условия ограничивают распространение древесных растений в Волгоградской области. Регион исследований представляет собой малолесные территории, которые отличаются выраженным дефицитным увлажнением [5].

Твердолиственные породы формируют устойчивый древостой, что говорит о высоком наследственном потенциале в отношении их жизнеспособности, устойчивости к неблагоприятным факторам среды.

Преобладающими породами по площади и запасу являются дуб низкоствольный – 40 % площади земель, на которых расположены леса, и 45 % общего запаса насаждений, сосна – 16 и 12 %, тополь – 8 и 12 % соответственно.

Однако, поскольку схема регуляторных систем, чувствительность и способы защиты от обезвоживания, от заморозков и т.д. должны отражать генотипические свойства, представляется возможным поиск этих признаков у молодых интродуцированных растений, полученных в результате семенного размножения отобранных деревьев.

Для создания полифункциональных насаждений виды рода *Quercus* являются перспективными для озеленения, агролесомелиорации и защитного лесоразведения [5, 13].





Цель исследования – провести комплексную оценку адаптивной способности представителей рода *Quercus* и обосновать зависимости между интегральными показателями успешности интродукции и содержанием фотосинтетических пигментов в условиях аридного климата для создания полифункциональных древесных насаждений.

**Методика исследований.** В данной работе проведена совокупная адаптивная оценка на основе функционирования синтетического аппарата аборигенного вида дуба черешчатого и интродуцированного вида дуба красного. Объектами исследований выступали представители рода *Quercus* по 10 особей здорового жизненного состояния в возрасте от 20–35 лет: дуб черешчатый типичной формы (*Quercus robur* L., Дуб Ч), дуб черешчатый пирамидальной формы (*Quercus robur* f. *Fastigiata*, Дуб П), дуб красный (*Quercus rubra* L., Дуб К). Деревья произрастают на территории ФНЦ агроэкологии РАН в г. Волгограде и г. Камышине, которая расположена в умеренно климатическом поясе в зоне засушливых степей. Климат резко континентального типа, выражается в суточных и годовых амплитудах температуры воздуха, суховеях, пыльных бурях, засухах в теплый период года, что приводит к усыханию частей деревьев или подроста. Количество осадков в среднем около 320 мм в год, основной объем которых выпадает летом в виде ливней, и не обеспечивает полную потребность растений во влаге. Поэтому для лучшей приживаемости саженцев и семян их выращивают в специальных питомниках.

Для оценки успешности адаптации исследуемых представителей рода *Quercus* использовали методику [3, 6]. Объекты отбирали по следующим критериям: характер роста, генеративное развитие, зимостойкость, засухоустойчивость (табл. 1).

Таблица 1

Шкала оценки успешности адаптации видов [4]

Балл	Характер роста	Характер генеративного развития	Зимостойкость	Засухоустойчивость
1	Очень слабый	Цветение и вегетативное размножение отсутствует	Растения обмерзают до уровня снежного покрова, корневой шейки или погибают	Растение от засухи погибает
2	Слабый	Растение цветет, но не плодоносит	Кроме однолетних побегов повреждаются более старые части растений	В засуху листья теряют тургор, но потом восстанавливаются
3	Относительно умеренный	Семена не дают всходов, размножение вегетативное	Обмерзает 50–100 % длины годичного побега	В засуху сбрасывает все листья
4	Менее интенсивный, но относительно хороший	Плодоношение регулярное, самосев отсутствует, самостоятельно размножается вегетативно	Обмерзает не более 50 % длины годичных побегов	В засуху частично сбрасывает листья
5	Отличный	Размножение самосевом	Вполне зимостойкие	Растение вполне засухоустойчивое

Для расчета адаптационного числа использовали следующую формулу:

$$A = P \times v_1 + Gr \times v_2 + Zm \times v_3 + Zc \times v_4,$$

где А – адаптационное число; Р – показатель роста; Gr – показатель генеративного развития; Zm – зимостойкость; Zc – засухоустойчивость; v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>, v<sub>3</sub> и v<sub>4</sub> – коэффициенты весомости признаков, v<sub>1</sub> = 2, v<sub>2</sub> = 5, v<sub>3</sub> = 10, v<sub>4</sub> = 3).

Далее проводили оценку адаптации растений по шкале: выше 80 % – полная (П); 79–60 % – хорошая (Х); 59–40 % – удовлетворительная (У); 39 – 20 % – слабая (С); меньше 20 % – очень слабая (ОС).

Содержание пигментов определяли в листьях деревьев в сентябре 2022 г. С каждого дерева собирали по 10 образцов листьев. Измерение содержания суммы хлорофиллов (мкг/см<sup>2</sup> сырой массы), флавоноидов (мкг/см<sup>2</sup> сырой массы), антоцианов (мкг/см<sup>2</sup> сырой массы) и индекса азотного баланса (NBI) в эпидермисе листьев древесных растений проводили с помощью анализатора растений Dualex Scientific+ (Force-A, Франция). Соотношение количества хлорофиллов и флавоноидов (азота/углерода) в условных единицах (у.е.) показано с помощью NBI.

Количественные данные обрабатывали с помощью программы Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Для определения различий между двумя независимыми выборками использовали критерий Манна – Уитни при достоверности  $p < 0,05$ .

**Результаты исследований.** Исследуемые древесные растения характеризуются различной степенью адаптации к условиям произрастания, как для аборигенных видов, так и интродуцированных (табл. 2).

Максимальное значение показателя роста было отмечено у дуба черешчатого типичной формы, самой распространенной в засушливом регионе. Данный показатель был на 15 % меньше у интродуцированного вида дуба красного по сравнению с дубом черешчатым исследуемых форм. Показатель генеративного

развития у изучаемых представителей рода *Quercus* имел существенные различия, как между формами аборигенного вида дуба черешчатого, так и по сравнению с дубом красным, которые составляли 1,2 и 1,4 раза соответственно. Показатель зимостойкости не имел достоверных различий у исследуемых видов дубов и составил 4 балла.

Таблица 2

Оценка показателя адаптации представителей рода *Quercus*

Показатель адаптации, балл	Вид/форма древесного растения		
	дуб черешчатый	дуб черешчатый (пирамидальная) форма	дуб красный
Рост	4,5# [4,4 ÷ 4,8]	4,4# [4,3 ÷ 4,6]	3,9# [3,8 ÷ 4,1]
Генеративное развитие	4,6*# [4,4 ÷ 4,8]	3,8*# [3,7 ÷ 3,8]	3,2# [3,1 ÷ 3,2]
Зимостойкость	4,0 [4,0 ÷ 5,0]	4,0 [4,0 ÷ 4,1]	4,0 [4,0 ÷ 4,1]
Засухоустойчивость	4,7# [4,6 ÷ 4,8]	4,6# [4,5 ÷ 4,7]	3,8# [3,3 ÷ 4,0]
Адаптационное число	95,8*# [86,5 ÷ 96,6]	81,8*# [81,1 ÷ 82,4]	75,1# [73,6 ÷ 78,2]

Примечание: статистически значимые различия \* – между формами дуба черешчатого, # – между формами дуба черешчатого и дуба красного,  $p < 0,05$ .

Наибольшую засухоустойчивость наблюдали у дуба черешчатого рассматриваемых форм ( $p > 0,05$ ). Данный показатель у дуба красного был ниже на 20 % по сравнению с дубом черешчатым ( $p < 0,05$ ). У дуба красного более выраженно проявляются признаки умеренной устойчивости к засухе, так как большая часть деревьев частично сбрасывает листву.

По показателю адаптационного числа у аборигенного вида типичной и пирамидальной форм наблюдалась полная степень адаптации, а у дуба красного – хорошая. Результаты оценки адаптационного потенциала дуба красного как интродуцента указывают на успешность его интродукции к климатическим условиям южных регионов России в зоне сухих степей. Адаптивные способности исследуемых объектов определяют их перспективность при использовании в комплексной агролесомелиорации и защитном лесоразведении.

После оценки степени адаптации исследуемых деревьев для каждого из объектов был проведен анализ пигментного аппарата фотосинтетической системы растений (см. рисунок). Содержание суммы хлорофиллов в листьях деревьев отличалось между дубом черешчатым различной формы и дубом красным ( $p < 0,05$ ). Следует отметить, что наибольшее значение суммы хлорофиллов было у дуба черешчатого типичной формы, которое в 1,2 раза превышало данный показатель у дуба красного. При этом разброс значений суммы хлорофиллов у дуба красного от 34 до 42 мг/см<sup>2</sup> сырой массы, что косвенно может указывать на высокую экологическую пластичность этого вида (см. рисунок А).

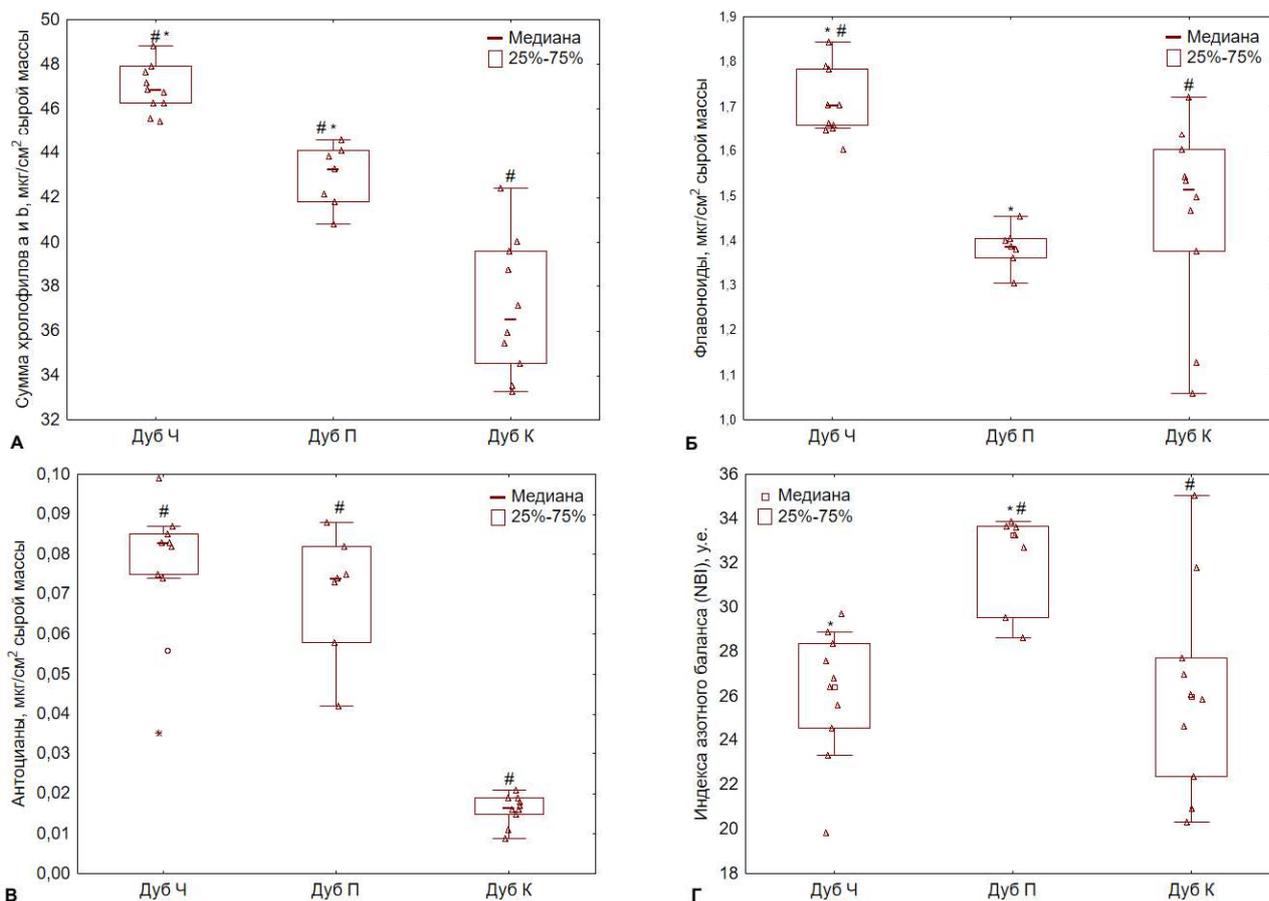
По содержанию флавоноидов были отмечены статистически значимые различия между двумя формами дуба черешчатого ( $p < 0,05$ ), при этом достоверных различий между дубом черешчатым пирамидальной формы и дубом красным обнаружено не было ( $p > 0,05$ ). Зафиксировано, что содержание флавоноидов у двух видов дуба между собой отличается примерно в 1,2 раза ( $p < 0,05$ ), см. рисунок Б.

Максимальное количество антоцианов отмечали у двух форм дуба черешчатого, при этом статистически значимых различий между группами обнаружено не было ( $p > 0,05$ ). Выявлено также, что у дуба черешчатого пирамидальной и типичной форм концентрация антоцианов выше в 3–4 раза, чем у дуба красного ( $p < 0,05$ ), см. рисунок В.

Значения показателя NBI в листьях исследуемых древесных растений указывают на соотношение хлорофиллов и флавоноидов, а также показывают индивидуальные особенности содержания этих веществ, которые характеризуют адаптивные способности древесных растений. В результате было зафиксировано, что данный индекс для дуба черешчатого и дуба красного находится на одном уровне ( $p > 0,05$ ), при этом наибольшее значение NBI выявлено для дуба черешчатого пирамидальной формы, которое выше в 1,5 раза по сравнению с другими исследуемыми древесными растениями ( $p < 0,05$ ), см. рисунок Г.

Важным показателем насаждений интродуцированных древесных растений является их адаптационный потенциал. У особей дуба черешчатого отмечали высокую адаптивную способность. Это связано с тем, что он является аборигенным видом, произрастающим в условиях засушливого климата. При этом у интродуцированного вида дуба красного также наблюдали хорошую адаптивную способность. Он способен выдерживать локальные условия и успешно закрепляться на данных территориях, отличающихся широким набором стрессовых факторов внешней среды.





Содержание в листьях растений: А – сумма хлорофиллов а и б; Б – флавоноидов, В – антоцианов; Г – индекс азотного баланса

Оценка содержания хлорофилла в листьях дубов согласуется с общепринятыми закономерностями работы пигментного аппарата фотосинтетической системы [9]. Нами было обнаружено, что у исследуемых видов содержится повышенное количество флавоноидов в листьях. Это может быть связано с тем, что растения обитают в засушливых условиях (повышенные температуры, низкая влажность воздуха, преобладание испаряемости воды над количеством осадков [8]), и флавоноиды обеспечивают их защиту [7]. Подтверждена их роль в защите от неблагоприятных факторов окружающей среды (бактериальные, вирусные, грибковые инфекции, окислительный стресс) [11].

Низкое содержание антоцианов у дуба красного по сравнению с дубом черешчатым различных форм может быть связано с тем, что у него реализуется иной компенсационный механизм при интродукции в неблагоприятных климатических условиях. Это согласуется с литературными данными о том, что антоцианы являются непластидными пигментами, которые локализуются в вакуолях клеток и способны защищать листья в процессе фотосинтеза за счет абсорбции чрезмерного количества фотонов. Ранее было показано, что антоцианы во многих видах растений снижают частоту фотоингибирования, а также ускоряют восстановление фотосинтетического аппарата [12, 13].

**Заключение.** Проведенное исследование позволило выявить особенность адапционного числа у представителей рода *Quercus*. Аборигенные представители исследуемых древесных растений проявили полную степень адаптации, интродуцированный вид дуб красный имел хорошую степень адаптации. Стоит отметить, что количественное и качественное содержание пигментов фотосинтетической системы было выше в 2–4 раза у двух форм дуба черешчатого по сравнению с дубом красным. Это свидетельствует о том, что пигменты фотосинтетической системы оказывают влияние на адапционную способность как древесных растений в целом, так и в частности интродуцированных представителей рода *Quercus*.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00273, <https://rscf.ru/project/23-26-00273/>

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаптация фотосинтетической функции пустынно-степного кустарника *Caragana bungei* Ledeb. к условиям лиственничного леса горных склонов Хангая в Монголии / Л. А. Иванов [и др.] // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22. № 3(68). С. 63–75.
2. Влияние фитопатогенов на содержание пластидных пигментов и интенсивность процессов перекисного окисления липидов в листьях древесных растений / С. Ю. Огородникова [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-084-092>.



3. Гнаткович П. С. Комплексная оценка адаптивной способности и перспективности древесных интродуцентов в условиях Восточной Сибири (на примере г. Братска) // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 3(23). С. 197–205. EDN: <https://www.elibrary.ru/syqvgt>.

4. Иозус А. П., Завьялов А. А., Крючков С. Н. Фенологические формы *Quercus robur* L. В насаждениях Волгоградской области // Успехи современного естествознания. 2021. № 12. С. 21–26. DOI: 10.17513/use.37730. – EDN GJUJLV.

5. Иозус А. П., Завьялов А. А., Крючков С. Н. Биоэкологическая характеристика древесных видов в условиях выращивания в сухой степи // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 10. С. 131–134. EDN VLPRLQ.

6. Кохно Н. А. К методике оценки успешности интродукции лиственных древесных растений // Теория и методы интродукции растений и зеленого строительства. Киев: Наукова думка, 1980. С. 129–135.

7. Накопление фотосинтетических пигментов и вторичных метаболитов в листьях галеги (*Galega orientalis* Lam.) сорта Гале в зависимости от возраста травостоя и агротехнологии при интродукции в зоне средней тайги Западной Сибири / Е. А. Моисеева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 1. С. 44–65. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.44rus>.

8. Причины распределения, особенности и прогноз выпадения осадков на территории Волгоградской области / С. Ю. Турко [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3(55). С. 198–207. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-03-25>.

9. Сауткина М. Ю. Особенности содержания фотосинтетических пигментов дуба черешчатого лесных полос Каменной Степи // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 1(60). С. 73–76. EDN CMTPVY.

10. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях древесных интродуцентов Алтайского ботанического сада / Т. А. Вдовина [и др.] // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2022. № 21-1. С. 20–24. DOI: <https://doi.org/10.14258/pbssm.2022004>.

11. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях «здоровых» и «ослабленных» деревьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), произрастающих в условиях промышленного загрязнения (Республика Башкортостан, Стерлитамакский промышленный центр) / Р. Х. Гиниятуллин [и др.] // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11. № 1. С. 43–48. DOI: <https://doi.org/10.55355/snv2022111104>.

12. High anthocyanin accumulation in poinsettia leaves is accompanied by thylakoid membrane unstacking, acting as a photoprotective mechanism, to prevent ROS formation / J. Moustaka et al. // Environ Exp Bot. 2018. No. 154. P. 44–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.01.006>.

13. Sautkina M. Yu. Dynamics of the content of chlorophylls in the leaves of the English oak (*Quercus robur* L.) of the forest-steppe zone // Journal of Agriculture and Environment. 2021. No. 1(17). DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2021.1.17.11>.

14. Solomentseva A. S. Adaptive Potential and Phenotypic Variability of Ribes Species in the Lower Volga Region // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14. No. 6. P. 338–355. DOI: <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-338-355>.

#### REFERENCES

1. Adaptation of the photosynthetic function of the desert-steppe shrub *Caragana bungei* Ledeb. to the conditions of the larch forest on the mountain slopes of Khangai in Mongolia / L. A. Ivanov et al. *Arid ecosystems*. 2016;22; 3(68):63–75. (In Russ.).

2. The influence of phytopathogens on the content of plastid pigments and the intensity of lipid peroxidation processes in the leaves of woody plants / S. Yu. Ogorodnikova et al. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022;(2):84–92. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-084-092>. (In Russ.).

3. Gnatkovich P. S. Comprehensive assessment of the adaptive capacity and prospects of tree introduced plants in the conditions of Eastern Siberia (on the example of Bratsk). *Systems. Methods. Technologies*. 2014;3(23):197–205. EDN: <https://www.elibrary.ru/syqvgt>. (In Russ.).

4. Iozus A. P., Zavyalov A. A., Kryuchkov S. N. Phenological forms of *Quercus robur* L. In plantings of the Volgograd region. *Advances in modern natural science*. 2021;(12):21–26. DOI: 10.17513/use.37730. EDN GJUJLV. (In Russ.).

5. Iozus A. P., Zavyalov A. A., Kryuchkov S. N. Bioecological characteristics of tree species under growing conditions in the dry steppe. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018;(10):131–134. EDN VLPRLQ. (In Russ.).

6. Kokhno N. A. Towards a methodology for assessing the success of the introduction of deciduous woody plants. Theory and methods of plant introduction and green construction. Kyiv: Naukova Dumka; 1980. P. 129–135. (In Russ.).

7. Accumulation of photosynthetic pigments and secondary metabolites in the leaves of galega (*Galega orientalis* Lam.) variety Gale depending on the age of the grass stand and agricultural technology during introduction in the middle taiga zone of Western Siberia / E. A. Moiseeva et al. *Agricultural biology*. 2022;57(1): 44–65. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.44rus>. (In Russ.).

8. Reasons for the distribution, features and forecast of precipitation on the territory of the Volgograd region / S. Yu. Turko et al. *News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education*. 2019; 3(55):198–207. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-03-25>. (In Russ.).

9. Sautkina M. Yu. Features of the content of photosynthetic pigments of pedunculate oak in the forest belts of the Kamennaya Steppe. *Bulletin of the Michurinsky State Agrarian University*. 2020;1(60):73–76. EDN CMTPVY. (In Russ.).

10. The content of chlorophylls and carotenoids in the leaves of introduced woody plants of the Altai Botanical Garden / T. A. Vdovina et al. *Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia*. 2022;(21-1):20–24. DOI: <https://doi.org/10.14258/pbssm.2022004>. (In Russ.).

11. The content of photosynthetic pigments in the leaves of “healthy” and “weakened” balsam poplar trees (*Populus balsamifera* L.), growing in conditions of industrial pollution (Republic of Bashkortostan, Sterlitamak industrial center) / R. Kh. Giniyatullin et al. *Samara Scientific Bulletin*. 2022;11(1):43–48. DOI: <https://doi.org/10.55355/snv2022111104>. (In Russ.).

12. High anthocyanin accumulation in poinsettia leaves is accompanied by thylakoid membrane unstacking, acting as a photoprotective mechanism, to prevent ROS formation / J. Moustaka et al. *Environ Exp Bot*. 2018;(154):44–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.01.006>.

13. Sautkina M. Yu. Dynamics of the content of chlorophylls in the leaves of the English oak (*Quercus robur* L.) of the forest-steppe zone. *Journal of Agriculture and Environment*. 2021;1(17). DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2021.1.17.11>.

14. Solomentseva A. S. Adaptive Potential and Phenotypic Variability of Ribes Species in the Lower Volga Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022;14(6):338–355. DOI: <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-338-355>.

Статья поступила в редакцию 01.06.2023; одобрена после рецензирования 03.07.2023; принята к публикации 26.07.2023.  
The article was 01.06.2023; approved after 03.07.2023; accepted for publication 26.07.2023.

