



Е.В. Калмыкова ✉
П.А. Кузьмин
Е.С. Лушникова
П.А. Крылов

Федеральный научный центр
агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской
академии наук, Волгоград, Россия

✉ kalmukova-ev@vfanc.ru

Поступила в редакцию: 19.07.2024
Одобрена после рецензирования: 11.11.2024
Принята к публикации: 25.11.2024

© Калмыкова Е.В., Кузьмин П.А., Лушникова Е.С.,
Крылов П.А.



Elena V. Kalmykova ✉
Petr A. Kuzmin
Elizaveta S. Lushnikova
Pavel A. Krylov

Federal Scientific Center for Agroecology,
Integrated Land Reclamation and Protective
Aforestation of the Russian Academy
of Sciences, Volgograd, Russia

✉ kalmukova-ev@vfanc.ru

Received by the editorial office: 19.07.2024
Accepted in revised: 11.11.2024
Accepted for publication: 25.11.2024

© Kalmykova E.V., Kuzmin P.A., Lushnikova E.S.,
Krylov P.A.

Генотипирование родового комплекса *Caragana*, произрастающего на территориях с аридным климатом, с применением ISSR-маркеров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Для повышения продуктивности и устойчивости искусственных защитных насаждений наряду с лесохозяйственными мероприятиями большое внимание уделяется вопросам генетической паспортизации. Генотипирование родового комплекса *Caragana* в настоящее время возможно провести только с помощью неспецифических маркеров, так как геном исследуемых объектов, произрастающих на территории с аридным климатом, не секвенирован.

Цель исследования — генотипирование родового комплекса *Caragana* с использованием ISSR на территории с характерным аридным климатом.

Методы. Для выполнения намеченной программы проводили полевые и лабораторные опыты согласно существующим и вновь разработанным методикам.

Результаты. Исследование показало, что локусы UBC 880 (1100 п. н.) и UBC 818 (450 п. н.) могут являться маркерами *C. arborescens f. pyramidalis* «Несравненная ВНИАЛМИ», *C. arborescens* — UBC 823 (650 п. н.), а для *C. frutex* — UBC 815 (500 п. н.). Полученные результаты подтверждают успех нового сорта, его высокую устойчивость к засухе. *C. arborescens f. Pyramidalis* «Несравненная ВНИАЛМИ» может быть рекомендована для защитного лесоразведения и агролесомелиорации засушливых районов.

Ключевые слова: аридные территории, генотипирование, агролесомелиорация, карагана древо-видная, карагана кустарниковая, ISSR-маркеры, засухоустойчивость

Для цитирования: Калмыкова Е.В., Кузьмин П.А., Лушникова Е.С., Крылов П.А. Генотипирование родового комплекса *Caragana*, произрастающего на территориях с аридным климатом, с применением ISSR-маркеров. *Аграрная наука*. 2024; 389(12): 140–144.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-140-144>

Genotyping of the generic complex *Caragana*, growing in areas with an arid climate, using ISSR markers

ABSTRACT

Relevance. To increase the productivity and sustainability of artificial protective plantings, along with forestry activities, much attention is paid to the issues of genetic certification. Genotyping of the genus *Caragana* complex can currently only be carried out using nonspecific markers, since the genome of the studied objects growing in areas with an arid climate has not been sequenced. The purpose of the study was to genotype the *Caragana* genus complex using ISSR in an area with a characteristic arid climate.

Methods. To implement the planned program, field and laboratory experiments were carried out according to existing and newly developed methods.

Results. The study showed that loci UBC 880 (1100 bp) and UBC 818 (450 bp) may be markers of *C. arborescens f. pyramidalis* “Incomparable VNIALMI”, *C. arborescens* — UBC 823 (650 bp) and for *C. frutex* — UBC 815 (500 bp). The results obtained confirm the success of the new variety and its high resistance to drought. *C. arborescens f. Pyramidalis* “Incomparable VNIALMI” can be recommended for protective afforestation and agroforestry in arid areas.

Key words: arid territories, genotyping, agroforestry, caragana tree, caragana shrubby, ISSR markers, drought resistance

For citation: Kalmykova E.V., Kuzmin P.A., Lushnikova E.S., Krylov P.A. Genotyping of the generic complex *Caragana*, growing in areas with an arid climate, using ISSR markers. *Agrarian science*. 2024; 389(12): 140–144 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-140-144>

Введение/Introduction

Основным направлением повышения жизнеспособности и долговечности искусственных насаждений в аридном регионе являются селекционно-генетические приемы их создания [1, 2]. В настоящее время изучение биологического разнообразия и морфологических особенностей родовых комплексов древесно-кустарниковых растений сопровождается оценкой их молекулярно-генетических параметров, на основе которых могут быть созданы «уникальные» биоресурсные коллекции [3, 4].

В связи с необходимостью исключения ошибок в маркировке родословных деревьев на лесосеменных плантациях лесообразующих видов для продолжения селекционного процесса необходимо осуществить генотипирование.

Caragana Lam. относится к семейству бобовых (*Fabaceae*), объединяет более 70 видов, жизненная форма этого рода представляется листопадным кустарником различной высоты со сложными парноперистыми листьями с мелкими листочками [5, 6]. Во время цветения видны ярко-желтые цветочки. Плоды узкие, бурые, линейно-цилиндрические стручки. Когда плод созревает в июле — августе, стручок скручивается и раскрывается, выбрасывая семена в форме боба. Родом кустарник из Алтая, встречается на Южном Урале, в Восточном и Центральном Казахстане, на Кавказе [7–9].

Caragana быстро приспосабливается к климатическим условиям среды произрастания. Является ценным объектом для агролесомелиорации, обладающим всеми нужными характеристиками, такими как длинный и мощный стержневой корень с придаточными корнями, морозоустойчивость и засухоустойчивость [10, 11].

Учеными ФНЦ агроэкологии РАН ранее была выведена новая форма *Caragana arborescens* f. *pyramidalis* «Несравненная ВНИАЛМИ» с более высокой

засухоустойчивостью. Рекомендуется для посадки в зеленых лесных насаждениях различного назначения и в качестве декоративного сорта для озеленения (аллейные и групповые посадки, солитеры).

Для генотипирования родового комплекса *Caragana* в настоящий возможно провести только с помощью неспецифических маркеров, так как геном исследуемых объектов, произрастающих на территории с аридным климатом, не секвенирован [3]. Особенностью маркер-опосредованного анализа является возможность его проведения на любом этапе развития растения [12].

В связи с этим среди неспецифических маркеров наилучшим будет являться ISSR [13, 14]. ISSR-маркеры являются неспецифическими маркерами мультислокового типа, амплифицирующие фрагменты ДНК разных длин пар нуклеотидов. Данные участки находятся в геноме между микросателлитами. ISSR-маркеры лучше всего подходят для генотипирования и эффективны при отсутствии специфических маркеров [15].

Цель исследования — проведение генотипирования родового комплекса *Caragana* с использованием ISSR на территории с характерным аридным климатом.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Оценку жизненного состояния проводили в 2024 г. на 2-пробных площадках на территории Кировского селекционно-семеноводческого комплекса (ССК) (г. Волгоград, Россия) по 5-балльной шкале категорий жизненного состояния по визуальным характеристикам кроны по методике В.А. Алексеева¹. Если выбранная особь соответствует критериям здорового кустарника, то относится к 1-му классу жизненного состояния.

Для генотипирования были взяты по 30 особей *C. arborescens*, *C. frutex* и *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» с каждой площадки в возрасте 23 и 24 лет, соответственно, в начале периода активной вегетации.

В 2004 году сорт прошел сортоиспытание на коллекционном участке Волгоградского лесхоза и был включен в Госреестр по Российской Федерации (№ 9553689)². Авторами данного кустарника выступают С.Н. Крючков и Г.П. Архангельская (авторское свидетельство № 42281)³ (рис. 1).

Образцы листовой пластинки *C. arborescens*, *C. frutex* и *C. arborescens* f. *Pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» сразу же помещались в холод и были транспортированы в лабораторию для хранения при $t = 20^\circ\text{C}$.

Геномную ДНК экстрагировали из образцов листьев массой 50 мг с использованием ЦТАБ с 0,2%-ным β -меркаптоэтанолом. Концентрация и качество (A260/A280) ДНК оценивались с помощью флуориметра Qubit 4.0. (Thermo Fisher Scientific Inc., США) и спектрофотометра SpectrostarNano (BMG Labtech, Германия).

Для проведения ПЦР была использована готовая смесь реагентов для ПЦР с красителями qPCRmix-HS (Евроген) согласно инструкции производителя с ISSR-праймерами (табл. 1).

ПЦР проводили с помощью системы Applied Biosystems QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific, США) со следующим режимом: предварительная денатурация при $t = 95^\circ\text{C}$ (10 мин.); 40 циклов амплификации:

Рис. 1. Сортообразцы караганы пирамидальной формы сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» на опытных участках ФНЦ агроэкологии РАН

Fig 1. Samples of pyramidal caragana variety variety "Incomparable VNIALMI" on experimental plots of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences



¹ Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989; 4: 51–57.

² Крючков С.Н., Архангельская Г.П. Акация древовидная «Несравненная ВНИАЛМИ». Авторское свидетельство от 04.10.2005 № 42281. Госреестр селекционных достижений РФ, допущенных к использованию. Москва, 2005.

³ Авторское свидетельство № 42281 Российской Федерации. Акация древовидная «Несравненная ВНИАЛМИ»: заявл. 09.12.2004; опубл. 04.10.2005 / Г.П.Архангельская, С.Н.Крючков; заявитель ГПУ ВНИИ агролесомелиорации.

денатурация при $t = 95^{\circ}\text{C}$ (30 с.), отжиг при $t = 50^{\circ}\text{C}$ (30 с.), элонгация при $t = 72^{\circ}\text{C}$ (60 с.), финальная элонгация при $t = 72^{\circ}\text{C}$ (10 мин.).

Электрофорез полученных ампликонов проводили в 2%-ном агарозном геле с последующим окрашиванием бромистым этидием. Для определения длины фрагментов ДНК использовался ДНК-маркер, Step50 plus («Биолабмикс», Россия).

Для визуализации результатов реакции после электрофореза использовали гель-документирующую систему iBright CL1500 (Thermo Fisher Scientific Inc., США).

Частоту полиморфизмов и количество полос, образуемых каждым праймером, рассчитывали индивидуально с учетом 3-кратной амплификации каждого выбранного ISSR-маркера. Локусы ПЦР на основе ISSR оценивались как присутствующие 1 или отсутствующие 0, каждый из которых рассматривался как независимый.

Полученные бинарные матрицы использовались для расчета характеристик связывания праймеров в программе POPGENE версии 1.31⁴.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

C. arborescens L. — многоствольный кустарник (8–15 побегов) высотой около $3,5 \pm 0,2$ м с выраженной эллиптической формой проекции кроны. Цветение хорошее, плодоношение массовое. Жизнеспособность — 1-й класс.

C. frutex L. — многоствольный кустарник с тонкими побегами высотой около $1,7 \pm 0,3$ м с выраженной округлой яйцевидной формой проекции кроны. Цветение хорошее, плодоношение массовое. Жизнеспособность — 1-й класс.

C. arborescens f. *Pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» представляет собой быстрорастущее многоствольное дерево (7–12 побегов) средней величины (до 5,0 м) с узкопирамидальной ажурной кроной (проекция кроны $4,0 \times 4,0$ м). Цветение слабое, плодоношение единичное. Жизнеспособность — 1-й класс. Сорт характеризуется комплексной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

Для генотипирования родового комплекса *Caragana* были использованы 12 ISSR-праймеров. На первом этапе было оценено их жизненное состояние. В ходе оценки *Caragana* двух форм кустарниковой и древовидной и *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» не было обнаружено внешних повреждений кроны. Не выявлено болезней и вредителей. Мертвые или усыхающие ветви не обнаружены.

Прохождение фенологических фаз развития — в пределах многолетних среднестатистических наблюдений. В связи с этим жизненное состояние растений было оценено на 5 баллов.

Выделенная ДНК из листовых пластинок представителей родового комплекса *Caragana* обладала высокими качественными показателями при длинах волн $\lambda 260/280$ и $\lambda 260/230$ и достаточной концентрации для проведения ПЦР.

Для выявления внутривидового генетического разнообразия *Caragana* были протестированы 12 ISSR-праймеров у исследуемых форм.

Для детализации эффективности примененных ISSR-праймеров была проведена оценка частоты встречаемости по каждому локусу у трех форм *Caragana*, полученных с помощью электрофореза ампликонов.

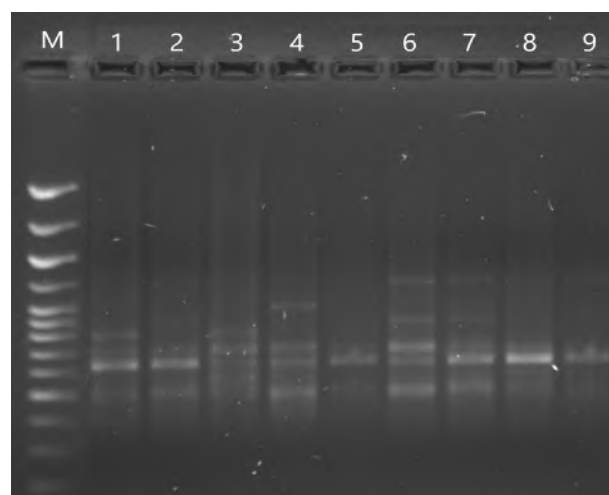
Таблица 1. Используемые ISSR-маркеры

Table 1. ISSR markers used

Название	Последовательность '5–3'	Температура отжига праймера (T_m , $^{\circ}\text{C}$)
UBC811	GAG AGA GAG AGA GAG AC	54,2
UBC815	CTC TCT CTC TCT CTC TG	50,0
UBC818	CACACACACACACAG	53,0
UBC823	TCT CTC TCT CTC TCT CC	50,7
UBC826	ACA CAC ACA CAC ACA CC	54,7
UBC834	AGA GAG AGA GAG AGA GY	51,5
UBC835	AGA GAG AGA GAG AGA GYC	54,0
UBC836	AGA GAG AGA GAG AGA GYA	51,5
UBC840	GAG AGA GAG AGA GAG AYT	51,5
UBC841	GAG AGA GAG AGA GAG AYC	54,0
UBC880	GGA GGG AGG GAG GGA G	62,4
UBC890	VHV GTG TGT GTG TGT GT	50,0

Рис. 2. Примеры электрофореграмм продуктов амплификации у *C. arborescens* с ISSR-праймером — UBC 823, Std маркер молекулярного веса (50–1500 п. н.)

Fig 2. Examples of electropherograms of amplification products in *C. arborescens* with an ISSR primer — UBC 823, Std molecular weight marker (50–1500 bp)



Каждый анализируемый локус ISSR-маркера формировал специфичный спектр продуктов амплификации особей *C. frutex*, *C. arborescens* и *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» (рис. 2, 3).

В ходе анализа электрофореграмм было выявлено наличие однотипных локусов при использовании 811, 890 ISSR-праймеров между особями *C. frutex*, *C. arborescens* и *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ». Остальные 10 ISSR-маркеров показали наличие отличий между исследуемыми формами *Caragana*. В частности, у *C. frutex* был отмечен уникальный локус 500 п. н. при использовании UBC 815. Для *C. arborescens* был обнаружен уникальный локус 650 п. н. при использовании UBC 823. Локусы у трех форм *Caragana* при использовании UBC 840 были высокополиморфными между всеми особями.

Далее была произведена оценка параметров генетической изменчивости особей *C. frutex*, *C. arborescens* и *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» (табл. 2).

У особей *C. arborescens* показатели среднего абсолютного числа аллелей были выше в 1,2 раза по сравнению с другими формами, при этом наименьшим значением обладала *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ». Эффективное число

⁴ <https://www.scienceopen.com/document?vid=094a9876-8644-439b-9ce0-940bb59991de>

Рис. 3. Примеры электрофореграмм продуктов амплификации у двух форм *Caragana* с ISSR-праймером: А — UBC 811, Б — UBC 815, Std маркер молекулярного веса (50–1500 п. н.), 2–10 — *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ», 11–18 — *C. frutex*

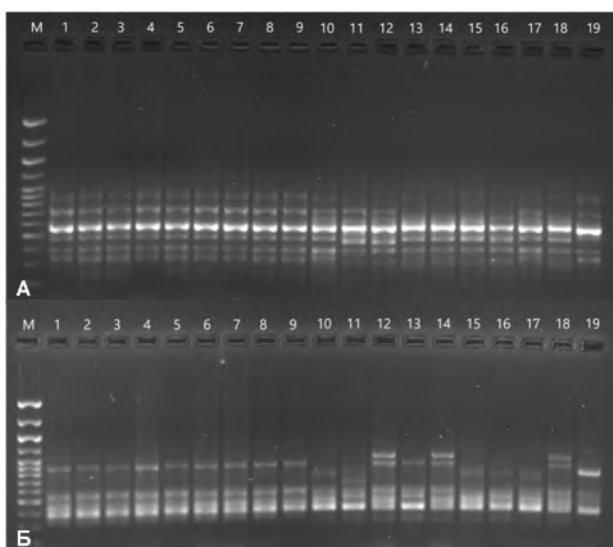


Таблица 2. Показатели генетического разнообразия представителей родового комплекса *Caragana*
Table 2. Indicators of genetic diversity of representatives of the generic complex *Caragana*

Родовой комплекс <i>C. arborescens</i>	n_a	n_e	I	% полиморфных локусов
<i>C. frutex</i>	1,36 ± 0,48	1,24 ± 0,35	0,21 ± 0,28	36,08
<i>C. arborescens</i>	1,57 ± 0,50	1,30 ± 0,34	0,28 ± 0,28	56,70
<i>C. arborescens</i> f. <i>pyramidalis</i> сорта «Несравненная ВНИАЛМИ»	1,27 ± 0,45	1,18 ± 0,34	0,15 ± 0,26	27,84

Примечание: n_a — абсолютное число аллелей на локус;
 n_e — эффективное число аллелей на локус; I — генетическая дистанция по Нейю; I — индекс Шеннона (у всех вышеуказанных параметров в скобках даны стандартные отклонения)

аллелей на локус было очень близко между формами родового комплекса *Caragana*. Это в свою очередь демонстрирует большую вариабельность генетической структуры. Расчетный индекс Шеннона был выше в 1,8 раза и 1,3 раза у особей *C. arborescens*

по сравнению с *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» и *C. frutex* соответственно. Высокое значение полиморфизма локусов было зафиксировано у особей *C. arborescens*, в то время как наименьший показатель — у *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ», что подтверждает ее моноклональность. Высокий полиморфизм может быть связан с устойчивостью и большей пластичностью особей *C. arborescens* по сравнению с *C. frutex* и *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ».

Полученные результаты с высокой вероятностью указывают на моноклональность насаждений *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ», для которых уникальными локусами являются UBC 880 (1100 п. н.) и UBC 818 (450 п. н.). Для *C. arborescens* — UBC 823 (650 п. н.), у *C. frutex* — UBC 815 (500 п. н.).

Таким образом, из 12 протестированных праймеров только 2 могут быть использованы для выявления особей с характерными фенотипическими признаками *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» от других представителей родового комплекса.

Проведенное исследование подтверждает теорию о том, что *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» является моноклональным растением и при этом обладает устойчивостью к засухе, как и *C. arborescens*. В связи с вышесказанным *C. arborescens* f. *pyramidalis* сорта «Несравненная ВНИАЛМИ» является перспективным объектом для селекции и решения задач агролесомелиорации и защитного лесоразведения на территориях с засушливым климатом.

Выводы/Conclusion

Исследование показало, что локусы UBC 880 (1100 п. н.) и UBC 818 (450 п. н.) могут являться маркерами *C. arborescens* f. *pyramidalis* «Несравненная ВНИАЛМИ», для *C. frutex* — UBC 815 (500 п. н.), для *C. arborescens* — UBC 823 (650 п. н.). Полученные результаты подтверждают успех данного сорта, его высокую устойчивость к засухе. *C. arborescens* f. *Pyramidalis* «Несравненная ВНИАЛМИ» может быть рекомендована для защитного лесоразведения и агролесомелиорации засушливых районов.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00273 «Создание биоресурсной коллекции видов растений для борьбы с деградацией аридных регионов России».

FUNDING

The materials were prepared as part of the grant the Russian Science Foundation No. 23-26-00273 «Creation of a bioresource collection of plant species to combat the degradation of arid regions of Russia».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Крючков С.Н., Солонкин А.В., Соломенцева А.С., Егоров С.А., Романенко А.К., Горбушова Д.А. Подбор селекционно значимых признаков древесных видов для агролесомелиорации и защитного лесоразведения. *Научно-агрономический журнал*. 2024; (2): 6–15. <https://doi.org/10.34736/FNC.2024.125.2.001.06-15>
- Иозус А.П., Завьялов А.А., Крючков С.Н. Селекционное семеноводство перспективных интродуцентов в сухой степи. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019; (1): 141–145. <https://www.elibrary.ru/yxdlsh>
- Беляев А.И., Крылов П.А., Пугачева А.М., Деревшикова Л.В. Анализ наличия геномов древесно-кустарниковых растений, используемых в агролесомелиорации южных регионов России. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2023; (2): 30–42. <https://www.elibrary.ru/ttkjca>

REFERENCES

- Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S., Egorov S.A., Romanenko A.K., Gorbushova D.A. Selection of Breeding-Significant Features of Tree Species for Agroforestry and Protective Afforestation. *Scientific Agronomy Journal*. 2024; (2): 6–15 (in Russian). <https://doi.org/10.34736/FNC.2024.125.2.001.06-15>
- Iozus A.P., Zavyalov A.A., Kryuchkov S.N. Breeding seeding perspective introduced in dry steppe. *International journal of applied and fundamental research*. 2019; (1): 141–145 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yxdlsh>
- Belyaev A.I., Krylov P.A., Pugacheva A.M., Derevshchikova L.V. Analysis of the presence of the genomes of wood and shrubs plants used in agro-forest-melioration in the southern regions of Russia. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2023; (2): 30–42 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ttkjca>

4. Zolkin A.L., Matvienko E.V., Chistyakov M.S., Suchkov D.K., Ryabkova G.V. Biodiversity and ecosystem stability based on molecular and genetic technologies in plant breeding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development*. IOP Publishing Ltd. 2022; 1112: 012102.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1112/1/012102>
5. Montile A., Tishkina E., Filisteev A. Characterization of the size and spatiotemporal structure of the coenopopulation *Caragana arborescens* lam. in the forest park of Yekaterinburg. *II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023)*. Les Ulis. 2023; 392: 02012.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339202012>
6. Пакшинцева А.А., Карпукхин М.Ю. Роль караганы (*Caragana* Lam.) в озеленении. *Достижения аграрной науки — в производство*. Сборник тезисов научной конференции. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2020; 47–48.
<https://www.elibrary.ru/ichejv>
7. Залывская О.С., Бабич Н.А. Зимостойкость и морозоустойчивость интродуцентов. *Лесной вестник*. 2014; 18(1): 105–109.
<https://www.elibrary.ru/rwxhmx>
8. Трещевская Э.И., Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Трещевская С.В., Князев В.И. Карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.) как кустарниковая порода при биологической рекультивации техногенных ландшафтов. *Лесотехнический журнал*. 2021; 11(3): 31–44.
<https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/3>
9. Новикова А.А., Шейкина О.В., Новиков П.С., Доронина Г.У. Оценка возможности применения ISSR-маркеров для систематизации и генетической паспортизации растений рода *Rhododendron*. *Научный журнал КубГАУ*. 2012; 82: 79–89.
<https://www.elibrary.ru/pgkyiv>
10. Abd-dada H., Bouda S., Khachtib Y., Bella Y.A., Haddioui A. Use of ISSR markers to assess the genetic diversity of an endemic plant of Morocco (*Euphorbia resinifera* O. Berg). *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2023; 21(1): 91.
<https://doi.org/10.1186/s43141-023-00543-4>
11. Ramzan F., Kim H.T., Younis A., Ramzan Y., Lim K.-B. Genetic assessment of the effects of self-fertilization in a *Lilium* L. hybrids using molecular cytogenetic methods (FISH and ISSR). *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021; 28(3): 1770–1778.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.019>
12. Крючков С.Н., Морозова Е.В., Иоус А.П. Основные направления и результаты селекции древесных видов для защитного лесоразведения в засушливых условиях юго-востока Европейской России. *Успехи современного естествознания*. 2018; (3): 65–69.
<https://www.elibrary.ru/yvgcym>
13. Luo C., Chen D., Cheng X., Liu H., Li Y., Huang C. SSR Analysis of Genetic Relationship and Classification in Chrysanthemum Germplasm Collection. *Horticultural Plant Journal*. 2018; 4(2): 73–82.
<https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.01.003>
14. Solomentseva A.S. *et al.* Tree-shrub species promising for protective afforestation and planting in the Volgograd region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 579: 012056.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/579/1/012056>
15. Ma F., Na X., Xu T. Drought responses of three closely related *Caragana* species: implication for their vicarious distribution. *Ecology and Evolution*. 2016; 6(9): 2763–2773.
<https://doi.org/10.1002/ece3.2044>

ОБ АВТОРАХ

Елена Владимировна Калмыкова

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией биоэкологии древесных растений
kalmukova-ev@vfanc.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>

Пётр Анатольевич Кузьмин

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией молекулярной селекции
kuzmin-p@vfanc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1303-765X>

Елизавета Сергеевна Лушников

лаборант-исследователь лаборатории молекулярной селекции
lushnikova-e@vfanc.ru

Павел Андреевич Крылов

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник — заведующий лабораторией геномных и постгеномных технологий
krylov-p@vfanc.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9587-5886>

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Университетский пр-т, 97, Волгоград, 400062, Россия

4. Zolkin A.L., Matvienko E.V., Chistyakov M.S., Suchkov D.K., Ryabkova G.V. Biodiversity and ecosystem stability based on molecular and genetic technologies in plant breeding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development*. IOP Publishing Ltd. 2022; 1112: 012102.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1112/1/012102>
5. Montile A., Tishkina E., Filisteev A. Characterization of the size and spatiotemporal structure of the coenopopulation *Caragana arborescens* lam. in the forest park of Yekaterinburg. *II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023)*. Les Ulis. 2023; 392: 02012.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339202012>
6. Pakshintseva A.A., Karpukhin M.Yu. The role of karagana (*Caragana* lam.) in landscaping. *The achievements of agricultural science are being put into production*. Collection of abstracts of the scientific conference. Ekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2020; 47–48.
<https://www.elibrary.ru/ichejv>
7. Zalyvskaya O.S., Babich N.A. Winter hardiness and frost resistance of introduced species. *Forestry bulletin*. 2014; 18(1): 105–109 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/rwxhmx>
8. Treshchevskaya E.I., Tikhonova E.N., Golyadkina I.V., Treshchevskaya S.V., Knyazev V.I. *Caragana arborescens* Lam. as a shrub species for biological reclamation of post-technogenic areas. *Forest Engineering journal*. 2021; 11(3): 31–44 (in Russian).
<https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/3>
9. Novikova A.A., Sheikina O.V., Novikov P.S., Doronina G.U. Estimation of the ISSR-markers application for systematization and genetic certification of genus *Rhododendron*. *Scientific Journal of KubSAU*. 2012; 82: 79–89 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/pgkyiv>
10. Abd-dada H., Bouda S., Khachtib Y., Bella Y.A., Haddioui A. Use of ISSR markers to assess the genetic diversity of an endemic plant of Morocco (*Euphorbia resinifera* O. Berg). *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2023; 21(1): 91.
<https://doi.org/10.1186/s43141-023-00543-4>
11. Ramzan F., Kim H.T., Younis A., Ramzan Y., Lim K.-B. Genetic assessment of the effects of self-fertilization in a *Lilium* L. hybrids using molecular cytogenetic methods (FISH and ISSR). *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021; 28(3): 1770–1778.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.019>
12. Kryuchkov S.N., Morozova E.V., Ioys A.P. The main directions and results of varietal plant breeding of the types of trees and shrubs for protective afforestation in the dry conditions of the south-east of Europe Russia. *Advances in current natural sciences*. 2018; (3): 65–69 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/yvgcym>
13. Luo C., Chen D., Cheng X., Liu H., Li Y., Huang C. SSR Analysis of Genetic Relationship and Classification in Chrysanthemum Germplasm Collection. *Horticultural Plant Journal*. 2018; 4(2): 73–82.
<https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.01.003>
14. Solomentseva A.S. *et al.* Tree-shrub species promising for protective afforestation and planting in the Volgograd region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 579: 012056.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/579/1/012056>
15. Ma F., Na X., Xu T. Drought responses of three closely related *Caragana* species: implication for their vicarious distribution. *Ecology and Evolution*. 2016; 6(9): 2763–2773.
<https://doi.org/10.1002/ece3.2044>

ABOUT THE AUTHORS

Elena Vladimirovna Kalmykova

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Ecology of Woody Plants
kalmukova-ev@vfanc.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>

Petr Anatolevich Kuzmin

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Molecular Breeding
kuzmin-p@vfanc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1303-765X>

Elizaveta Sergeevna Lushnikova

Laboratory Assistant Researcher at the Laboratory of Molecular Breeding
lushnikova-e@vfanc.ru

Pavel Andreevich Krylov

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher — Head of the Laboratory of Genomic and Postgenomic Technologies
krylov-p@vfanc.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9587-5886>

Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 97 Universitetskii Ave., Volgograd, 400062, Russia