

Обзорная статья
УДК 581.143.60
DOI: 10.30901/2658-6266-2024-1-03



Эндемик Алтая *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid.: возможное использование и способы сохранения

М. В. Серафимович, М. В. Ефимова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Марина Васильевна Ефимова, stevmv555@gmail.com

В статье представлен обзор данных об эндемике Алтая, одном из архаичных видов рода *Sibiraea* Maxim – *S. altaiensis* (Laxm.) Schneid. Вид включен в Красные книги Республики Алтай, Алтайского края и Казахстана как редкий, численность которого сокращается, в большей степени, вследствие воздействия антропогенных факторов в местах его обитания. В то же время сибирка алтайская относится к хозяйственно-ценным растениям и ценится за свои декоративные, лечебные и другие полезные свойства. Размножение вида осуществляется семенами, отводками, корневыми и летними черенками, однако данные способы не всегда дают хорошие результаты, а также требуют больших площадей для выращивания растений и приурочены к определенному сезону года.

Перспективным методом размножения и сохранения *S. altaiensis* может стать микрклональное размножение растений, которое заключается в использовании техники *in vitro* для быстрого получения неполовым путем растений, генетически идентичных исходному экземпляру, при заметной экономии времени и пространства, необходимых для выращивания посадочного материала. Применение микрклонового размножения для сохранения и размножения редких и исчезающих видов весьма оправдано, поскольку оно позволяет значительно увеличить коэффициент размножения видов растений, которые трудно или совсем не размножаются вегетативно, или имеют низкую жизнеспособность, или семенную продуктивность.

Используя протоколы *in vitro* размножения сибирки алтайской, из одной боковой почки, которую использовали в качестве экспланта, было получено 10-28 микропобегов при культивировании на модифицированной и классической по составу питательной среде Мурасиге и Скуга (МС), которые были дополнены 1,0 мг/л 6-бензиламинопурина (6-БАП). Данные работы являются подтверждением того, что клонирование *in vitro* обеспечивает высокий коэффициент размножения *S. altaiensis* и, тем самым, позволяет сохранить генофонд вида и получить посадочный материал в коммерческих масштабах без нанесения ущерба естественным популяциям.

Ключевые слова: сибирка алтайская, редкий вид, микрклональное размножение, культура *in vitro*, семенное и вегетативное размножение, интродукция, ресурсные растения

Благодарности: Статья подготовлена при поддержке проекта РНФ (№ проекта 23-44-10019).

Для цитирования: Серафимович М.В., Ефимова М.В. Эндемик Алтая *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid.: возможное использование и способы сохранения. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(1):35-42. DOI: 10.30901/2658-6266-2024-1-03

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Серафимович М.В., Ефимова М.В., 2024

Review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-1-o3

The Altai endemic *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid.: possible use and methods of conservation

Maria V. Serafimovich, Marina V. Efimova

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Corresponding author: Marina V. Efimova, stevmv555@gmail.com

The article provides a review of data on the Altai endemic *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid., one of the archaic species of the genus *Sibiraea* Maxim. The species is included in the Red Books of the Altai Republic, the Altai Territory, and of Kazakhstan as a rare species, whose numbers are decreasing, mostly due to the influence of anthropogenic factors in its habitats. At the same time, *S. altaiensis* belongs to agriculturally important species, which is valued for its decorative, medicinal and other useful properties. The species is reproduced by seed, layering shoots, root and summer stem cuttings; however, these methods do not always give good results, and also require large areas for growing plants and are confined to a certain season of the year. Microclonal propagation of plants can become a promising method for the propagation and conservation of *S. altaiensis*. It consists in the use of *in vitro* techniques of rapid asexual production of plants that are genetically identical to the original specimen, with a significant saving of time and space required for growing planting material. The use of microcloning for the conservation and reproduction of rare and endangered species is highly justified, since it allows a significant increase in the reproduction rate of plant species, which are difficult or impossible to reproduce vegetatively, or those with low viability or seed productivity.

Using *in vitro* protocols for the propagation of *S. altaiensis*, 10-28 microshoots were obtained from one lateral bud, which was used as an explant, when cultivated on a modified and a classic Murashige and Skoog (MS) nutrient media supplemented with 1.0 mgL⁻¹ 6-benzylaminopurine (6-BAP). These works confirm that *in vitro* cloning ensures a high reproduction rate of *S. altaiensis* and, thus, makes it possible to preserve the gene pool of the species and obtain planting material on a commercial scale without causing damage to natural populations.

Keywords: Altai sibirea, rare species, microclonal propagation, *in vitro* culture, seed and vegetative propagation, introduction, resource plants

Acknowledgments: The article was prepared with the support of the RNF Project No. 23-44-10019.

For citation: Serafimovich M.V., Efimova M.V. The Altai endemic *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid.: possible use and methods of conservation. *Plant biotechnology and breeding*. 2024;7(1):35-42. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-1-o3

Financial transparency: The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Serafimovich M.V., Efimova M.V., 2024

Введение

В настоящее время среди основных экологических проблем особое место занимает сокращение биологического разнообразия, которое в большей степени происходит под воздействием антропогенных факторов. К сокращающимся по численности видам относятся многие дикорастущие хозяйственно-ценные растения, нерациональное использование которых может привести к истощению их естественных популяций и угрозе исчезновения. Одним из таких видов является *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid., ценность которого обуславливается декоративными, лечебными и другими полезными свойствами.

Sibiraea altaiensis (сибирка алтайская) относится к роду *Sibiraea* Maxim. (Сибирка) подсемейства *Spiraeoideae* Agardh. (Спирейные) семейства *Rosaceae* Juss. (Розоцветные). Представляет собой листопадный двудомный энтомофильный кустарник до 1,5 м высотой (рис.), который характеризуется средней скоростью роста, цветет с мая по июль, плодоносит в период с конца июля по первую половину августа (Polozhij, Malyshev, 1988; Krasnoborov, Artemov, 2012; Koropachinskij, Vstovskaya, 2012).

Вид имеет разорванный ареал. В России в естественных условиях произрастает в западной части Русского Алтая, занимая территорию около 74 тыс. км². В Республике Алтай встречается в Усть-Канском, Усть-Коксинском и Шебалинском районах: на хребтах Теректинском, Катунском, Холзун, Семинском, Иолго. В Алтайском крае распространена в Змеиногорском, Краснощёковском

и Чарышском районах. За пределами России встречается в Казахском Алтае (хребты Ивановский, Убинский, Нарымский, Южный Алтай), в нескольких точках Юго-Восточной Европы (Босния, Хорватия), а также в Западном и Центральном Китае. *S. altaiensis* произрастает в лесостепном и лесном поясах, заходит в субальпийский пояс, от 900 до 2100 м над уровнем моря. Растет на лугах, открытых склонах или под пологом лиственных и лиственно-березовых лесов в средней и верхней части горно-лесного пояса. Произрастает небольшими группами, образуя заросли, и единичными экземплярами. Предпочитает почвы с умеренным содержанием элементов минерального питания и может расти в условиях с временно недостаточным увлажнением. Отличается низкой устойчивостью к засолению почв и загазованности воздуха, среднеустойчива к затенению, относится к морозостойким растениям (Polozhij, Malyshev, 1988; Kamelin, Shmakov, 2006; Koropachinskij, Vstovskaya, 2012; Red Data..., 2014; Maneev et al., 2017).

S. altaiensis – редкий вид, включенный в Красные книги Республики Алтай, Алтайского края и Казахстана как реликт Алтайско-Саянской ботанико-географической провинции. Лимитирующими факторами являются пространственная изоляция популяций по всему ареалу, низкая семенная продуктивность и возобновляемость популяций, ослабленный природный генофонд. Численность вида также уменьшается под влиянием хозяйственной деятельности в местах обитания растения. Рубки лиственных и смешанных лесов с подлеском из сибирки и выпас скота, который приводит к гибели всходов, негативно влияют на состояние сообществ и ведут к вытеснению и заме-



Рис. *Sibiraea altaiensis*. Казахстан, Акмолинская область, Щучинск, дендрарий ТОО «КазНИИЛХА им. А.Н. Букейхана» (по Kirillov et al., 2019).

Fig. *Sibiraea altaiensis*. Kazakhstan, Akmola Region, Shchuchinsk, arboretum of the A.N. Bukeikhan KazRIFA LLP (after Kirillov et al., 2019).

не сибирки более устойчивым видом – курильским чаем. В качестве охранных мер вид включен в состав сообществ, занесенных в Зеленую книгу Сибири – сообщество сибирки алтайской и лиственничный лес с подлеском из сибирки. В Республике Алтай *S. altaiensis* произрастает в Катунском заповеднике, в Казахстане – в Западно-Алтайском государственном природном заповеднике и Катон-Карагайском государственном национальном природном парке (Kamelin, Shmakov, 2006; Red Data..., 2014; Maneev et al., 2017; Kotuxov et al., 2017).

Практическое применение сибирки алтайской

S. altaiensis представляет интерес как декоративное растение с красивым габитусом, орнаментальной листвой, окрашивающейся осенью в яркие багряные цвета и долго не опадающей, а также декоративными, многочисленными, крупными метельчатыми соцветиями. Рекомендуются в качестве кустарника для одиночной, групповой и бордюрной посадки, для внутриквартального озеленения крупных парков, где сибирка образует красивые группы с лиственницами. Хорошо переносит стрижку и может быть использована для создания живых изгородей (Kotuxov et al., 2017; Myrzagalieva, 2020).

Вид применяется как лекарственное растение при желтухе – вирусной болезни человека и животных. Отвар, приготовленный на основе ветвей *S. altaiensis*, получивший довольно широкое распространение на Алтае, показан к применению при гепатите, лихорадке и инсульте. Листья этого растения применяют в качестве суррогата чая. Жители Тибета употребляют молодые листья и побеги растений рода *Sibiraea* для улучшения пищеварения в виде чая, под названием «Liucha», долгосрочное употребление которого приводит к снижению веса. Надземная часть сибирки применяется для лечения гипопепсии, гиперлипидемии и расстройств желудка (Попов, 2008; Ailchieva, Syeva, 2015; Kostikova et al., 2019a;b).

Химический состав вегетативных органов растений *S. altaiensis*

Лечебные свойства *S. altaiensis* обусловлены ее богатым химическим составом. Имеются данные о наличии алкалоидов, дубильных веществ, флавоноидов и хинонов в надземной части данного вида, в листьях – урсоловой кислоты, в корнях, ветвях и плодах – синильной кислоты (Sokolov, 1987). Из надземных частей (листья, стебли, соплодия) растений были выделены монотерпены, монотерпеновые гликозиды, протокатеховая, 4-гидроксимасляная, феруловая и кофейная кислоты, гидроксикумарин, эфир фталевой кислоты, лигнаны, стерины, обладающие выраженной гиполипидемической, противоопухолевой и антиоксидантной активностью (Zhao et al., 2016; 2017; Deng et al., 2017; Kostikova et al., 2018a;b;d). Исследования состава фенольных соединений в листьях *S. altaiensis* позволили идентифицировать шесть флавоноидов – квер-

цетин и его гликозиды (гиперозид, изокверцитрин, рутин, авикулярин), гликозид кемпферола – астрагалин и пять кислот – хлорогеновую, кофейную, п-кумаровую, эллаговую и коричную. Значительных различий в составе фенольных соединений между мужскими и женскими растениями, а также дикорастущими и интродуцированными экземплярами, обнаружено не было. Преобладающими веществами в экстрактах из листьев *S. altaiensis*, произрастающей в природных популяциях, являлись гиперозид, эллаговая кислота, флавонол и фенолокислоты, в условиях интродукции дополнительно к вышеперечисленным соединениям – астрагалин и флавонол (Kostikova et al., 2018a;b;d). Однако в листьях интродуцированных растений не были обнаружены кемпферол, феруловая и протокатеховая кислоты, идентифицированные другими авторами (Deng et al., 2017; Zhao et al., 2017). Изучены содержание биологически активных веществ и уровень антиоксидантной активности в надземных органах *S. altaiensis* разных половых форм в течение вегетационного сезона. Установлено, что максимальное содержание биологически активных соединений варьировало в зависимости от стадии развития и органа растения, а также половой принадлежности. В листьях мужских растений в фазу бутонизации содержалось наиболее высокое количество флавоноидов и дубильных веществ, в соцветиях женских растений – катехинов, в бутонах мужских растений – пектинов, в листьях мужских растений в фазу бутонизации и в листьях женских растений в фазу плодоношения – протопектинов, в листьях мужских и женских растений в фазу плодоношения – каротиноидов. В стеблях было обнаружено достаточно высокое содержание дубильных веществ, пектинов, протопектинов и каротиноидов. Самая высокая антиоксидантная активность выявлена в водных и водно-этанольных экстрактах из листьев мужских растений *S. altaiensis* (Kostikova, 2019a;b).

Имеются сведения, что в листьях *S. altaiensis* содержатся эфирные масла, основной состав которых – тритерпеновые кислоты, в частности урсоловая кислота (Kirillov et al., 2014). Исследование компонентного состава эфирного масла из листьев, собранных в Алтайском ботаническом саду (Восточно-Казахстанская область), показало, что основными его компонентами являлись метилкетон – 2-пентадеканон, насыщенный предельный углеводород – тетрадекан и ненасыщенный кетон – *транс*- β -ионон (Kirillov et al., 2016). Были изучены состав и антиоксидантная активность эфирного масла надземной части растений (Lai et al., 2016).

Размножение интродуцируемых растений сибирки алтайской

Размножается *S. altaiensis* семенами, не требующими предварительной обработки, отводками, корневыми и летними черенками. Данные методы часто применяются в ботанических садах и дендрариях при интродук-

ции и для размножения редких видов растений с целью сохранения их генофонда. Был проведен эксперимент с проращиванием семян *S. altaiensis*, собранных в двух местонахождениях: первое – в 1,5 км южнее города Риддер в Восточно-Казахстанской области, второе – «Западно-Алтайский государственный природный заповедник» Республики Казахстан. Всхожесть семян была достаточно высокой (66% и 82%, соответственно), при этом всходы не подвергались болезням и имели умеренную морозоустойчивость (Orazaeva, 2018). Рост и развитие интродуцированных в условиях Горно-Алтайского ботанического сада растений *S. altaiensis*, выращенных из семян, в первые годы проходили быстрыми темпами; за вегетационный год высота растений в среднем прибавлялась на 9-26 см. На третий год выращивания растения *S. altaiensis* еще не достигли генеративного состояния, но имели декоративные свойства. На четвертый год отдельные растения достигли 35 см в высоту. Растения не подвергались болезням, были теневыносливы, нетребовательны к почве, морозоустойчивы (Syeva, Ailchieva, 2014; Ailchieva, 2016).

Было изучено применение ростовой пудры (100 г талька на 100 мг гетероауксина) и пчелиного меда в качестве стимуляторов корнеобразования зеленых черенков *S. altaiensis*. Результаты показали, что при использовании ростовой пудры процент укореняемости черенков составил 64%, при использовании пчелиного меда – 78% по сравнению с необработанными черенками (52%). Оптимальным сроком черенкования был июнь (Balabushka, 1985). Однако традиционные методы размножения *S. altaiensis* не всегда дают хорошие результаты, а также требуют больших площадей для выращивания растений и приурочены к определенному сезону года (Khlebova et al., 2020).

Микроклональное размножение *S. altaiensis*

Перспективным методом размножения и сохранения данного редкого хозяйственно-ценного вида может стать микроклональное размножение растений. Этот метод считается наиболее надежным с точки зрения генетической стабильности размножаемых форм, и за достаточно короткий срок позволяет получить высокий коэффициент размножения даже таких видов, которые трудно размножаются вегетативно или имеют низкую семенную продуктивность. К преимуществам микроклонального размножения растений также относятся способность размножать растительный материал в любое время года и планировать выпуск растений к определенному сроку; миниатюризация процесса, приводящая к экономии площадей, занятых маточными и размножаемыми растениями; возможность хранения экземпляров в условиях минимального роста, позволяющая избежать затрат на ежегодное оздоровление растений, и обменивать его в международном масштабе без риска заражения карантинными вредителями и болезнями (Bonga, Durzan, 1987).

Первые работы по микроклональному размноже-

нию *S. altaiensis* были проведены в 2016 году. На начальном этапе были подобраны тип экспланта и режим стерилизации для введения сибирки алтайской в культуру *in vitro* (Serafimovich et al., 2016; 2017). Далее коллективом авторов (Kirillov et al., 2019) были проведены экспериментальные исследования, на основании которых были определены состав питательной среды, тип и концентрация биологически активных веществ и режим культивирования для эффективного микроклонального размножения и укоренения в культуре *in vitro* эксплантов *S. altaiensis*. Также были рекомендованы условия для улучшения приживаемости растений-регенерантов в условиях *ex vitro*. Согласно полученным данным (Kirillov et al., 2019), в качестве первоначальных эксплантов использовали боковые почки растений *S. altaiensis*, интродуцированных в дендрарии Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана (Щучинск, Казахстан). Для освобождения эксплантов от контаминации применяли ступенчатую стерилизацию, где основными стерилизующими агентами являлись 0,025% тимерозал (мертиолят) в сочетании с 7% водным раствором коммерческого отбеливателя гипохлорита натрия (Белизна). На всех этапах микроклонального размножения экспланты культивировали на агаризованной (0,35%) модифицированной питательной среде МС. Высокий коэффициент размножения *S. altaiensis*, который составил 28 побегов на эксплант, был достигнут на 10-ом пассаже при чередовании циклов культивирования на безгормональной модифицированной питательной среде МС в течение 3 недель и модифицированной питательной среде МС, дополненной 1,0 мг/л 6-БАП, в течение трёх недель. Лучше всего побеги укоренялись в условиях *in vitro* на модифицированной питательной среде МС без регуляторов роста растений в течение четырёх недель. Для адаптации к нестерильным условиям среды укорененных *in vitro* растений эффективным был субстрат из торфа, песка и вермикулита в соотношении 1:1:1. Приживаемость *ex vitro* растений в культуральной камере по истечении двух месяцев составляла 83%, а при переносе в открытый грунт через два месяца снижалась до 50%. Согласно полученным данным (Serafimovich et al., 2019), в открытом грунте на второй год был отмечен интенсивный рост в высоту и ветвление растений-регенерантов, на третий год наблюдалось их цветение.

При введении в культуру *in vitro* растений *S. altaiensis* из природных популяций Онгудайского района Республики Алтай также были использованы пазушные почки (Khlebova et al., 2020). Однако протокол микроклонального размножения был несколько модифицирован по сравнению с опубликованным ранее (Kirillov et al., 2019). В работе (Khlebova et al., 2020) наиболее эффективным стерилизующим агентом для получения асептической культуры являлся 30% пероксид водорода при обработке в течение 25 мин. Экспланты культивировали на агаризованной (0,5%) питательной среде МС, дополненной 30 г/л сахарозы и различными концентрациями цитокининов –

6-БАП, кинетина и тиадазурина. Высокий коэффициент размножения (10-12 побегов на эксплант) был достигнут чередованием циклов культивирования микропобегов на безгормональной питательной среде МС и питательной среде МС, содержащей 1,0 мг/л 6-БАП.

Заключение

Таким образом, редкий эндемичный вид *S. altaiensis* является перспективным растением для практического использования благодаря декоративным и лечебным свойствам. Получение посадочного материала растений *S. altaiensis* возможно традиционными способами, преимущественно семенами и летним черенкованием. Перспективным методом размножения и сохранения данного вида является микроклональное размножение, эффективность которого обуславливается возможностью получения оздоровленного, генетически однородного посадочного материала. Использование разработанных протоколов (Kirillov et al., 2019; Khlebova et al., 2020), позволяющих получать высокий коэффициент микроклонального размножения *S. altaiensis*, предоставляет возможность размножения данного вида в коммерческих масштабах и сохранения его генофонда без нанесения ущерба его естественным популяциям.

References/Литература

- Ailchieva A.O., Syeva S.Ya. A study of the endemic Altai sibirea in culture (Izuchenie endemika sibirki altaiskoy v kulture). *Eurasian Union of Scientists*. 2015;9(18):5-8. [in Russian] (Аильчиева А.О., Сыева С.Я. Изучение эндемика сибирки алтайской в культуре. *Евразийский Союз Ученых*. 2015;9(18):5-8).
- Ailchieva A.O. Some indicators of rare and endangered species in culture (Nekotorye pokazateli redkikh i ischezayushchikh vidov v kulture). *Novaya nauka: strategii i vektory razvitiya = New Science: Strategies and Vectors of Development*. 2016;2-2(64):3-8. [in Russian] (Аильчиева А.О. Некоторые показатели редких и исчезающих видов в культуре. *Новая наука: стратегии и векторы развития*. 2016;2-2(64):3-8).
- Balabushka V.K. Stimulation of vegetative propagation of woody introduced species using growth powder and bee honey (Stimulyatsiya vegetativnogo razmnzheniya drevesnykh introdutsentov s pomoshchyu rostovoy pudry i pchelinogo myoda). *Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoj zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 1985;(6):118-119. [in Russian] (Балабушка В.К. Стимуляция вегетативного размножения древесных интродуцентов с помощью ростовой пудры и пчелиного меда. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 1985;(6):118-119).
- Bonga J.M., Durzan D.J. (eds.) Cell and tissue culture in forestry. General principles and biotechnology. Dordrecht: Springer; 1987. DOI: 10.1007/978-94-017-0994-1
- Deng Y., Zhao J.-Q., Mei L.-J., Tao Y.-D. Two new monoterpenes from *Sibiraea laevigata*. *Journal of Asian Natural Products Research*. 2017;19(9):877-883. DOI: 10.1080/10286020.2016.1258064
- Kamelin R.V., Shmakov A.I. (eds.) Red Book of the Altai Territory. Rare and endangered plant species (Krasnaya kniga Altaiskogo Kraya. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rastenii). Barnaul: Publishing and Printing Enterprise Altai; 2006. [in Russian] (Красная книга Алтайского края. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений / под ред. Р.В. Камелина, А.И. Шмакова. Барнаул: ИПП Алтай; 2006).
- Kirillov V.Yu., Stikhareva T.N., Serafimovich M.V., Terekhova S.V. *Sibiraea altaiensis* is a promising object for forest biotechnology and phytochemistry in Kazakhstan (*Sibiraea altaiensis* – perspektivnyj ob'ekt dlya lesnoj biotekhnologii i fitohimii v Kazahstane). In: *Biotechnological methods in conservation of biodiversity and plant breeding: Proceeding of the International Scientific Conference; 2014 August 18-20; Minsk, Republic of Belarus*. Minsk; 2014. p.105-107. [in Russian] (Кириллов В.Ю., Стихарева Т.Н., Серафимович М.В., Терехова С.В. *Sibiraea altaiensis* – перспективный объект для лесной биотехнологии и фитохимии в Казахстане. В кн.: *Биотехнологические приемы в сохранении биоразнообразия и селекции растений: сборник статей Международной научной конференции; 18-20 августа 2014 г.; Минск, Республика Беларусь*. Минск; 2014. С.105-107). URL: https://microklon.ru/uploads/pages/441/proceedings-cbg.biotech-2014_.pdf [дата обращения: 05.09.2023].
- Kirillov V.Yu., Stikhareva T.N., Mukanov B.M., Serafimovich M.V., Mukasheva F.T., Gering A.V., Sarsenbaeva L.A., Atazhanova G.A., Adekenov S.M. Chemical composition of essential oil from *Sibiraea altaiensis*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2016;52(5):941-942. DOI: 10.1007/s10600-016-1826-x
- Kirillov V., Serafimovich M., Stikhareva T., Mukanov B. *In vitro* micropropagation of ornamental rare species *Sibiraea altaiensis*: An endemic of Altai. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2019;21(5):997-1003. DOI: 10.17957/IJAB/15.0985
- Khlebova L.P., Mironenko O.N., Brovko E.S. Features of introduction into *in vitro* culture of *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. (Osobennosti vvedeniya v kul'turu *in vitro* *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid.). In: A.Yu. Prosekov (ed.). *Modern biotechnology: topical issues, innovations and achievements: Collection of abstracts of the All-Russian online conference with international participation; 2020 October 21; Kemerovo, Russia (Sovremennaya biotekhnologiya: aktual'nye voprosy, innovacii i dostizheniya: sbornik tezisev Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem onlajn-konferencii; 21 oktyabrya 2020; Kemerovo, Rossiya)*. Kemerovo: Kemerovo State University; 2020. p.262-264. [in Russian] (Хлебцова Л.П., Мироненко О.Н., Бровко Е.С. Особенности введения в культуру *in vitro* *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. В кн.: *Современная биотехнология: актуальные вопросы, инновации и достижения: сборник тезисов Всероссийской с международным участием онлайн-конференции; 21 октября 2020 г.; Кемерово, Россия* / под общ. ред. А.Ю. Просекова. Кемерово; 2020. С.262-264). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44300378_49409005.pdf [дата обращения: 05.09.2023].
- Koropachinskij I.Yu., Vstovskaya T.N. Woody plants of the Asian part of Russia (Drevesnye rasteniya Aziatskoj Rossii). Novosibirsk: «Geo» Academic Publishers; 2012. [in Russian] (Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Академическое издательство «Гео»; 2012).
- Kostikova V.A., Xramova E.P., Syeva S.Ya. The content of phenolic compounds in the leaves of *Sibiraea altaiensis* (Rosaceae) during introduction and in nature (Soderzhanie fenolnykh soedinenii v listyakh *Sibiraea altaiensis* (Rosaceae) pri introdutsii i v prirode). *Rastitelnye resursy*. 2018a;54(3):409-419. [in Russian] (Костикова В.А., Храмова Е.П., Сыева С.Я. Содержание фенольных соединений в листьях *Sibiraea altaiensis* (Rosaceae) при интродукции и в природе. *Растительные ресурсы*. 2018a;54(3): 409-419).
- Kostikova V.A., Xramova E.P., Syeva S.Ya. The composition of phenolic compounds of *Sibiraea altaiensis* (Rosaceae). In: N.V. Zagoskin (ed.). *Phenolic compounds: properties, activity, innovations: a collection of scientific articles based on the materials of the X International Symposium «Phenolic compounds: fundamental and applied aspects»; 2018 May 14-19; Moscow, Russia*. Moscow: Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences; 2018b. p.306-310. [in Russian] (Костикова В.А., Храмова Е.П., Сыева С.Я. Состав фенольных соединений *Sibiraea altaiensis* (Rosaceae). В кн.: *Фенольные соединения: свойства, активность, инновации: сборник научных статей по материалам X Международного*

- симпозиума; 14-19 мая 2018 г.; Москва, Россия / отв. ред. Н.В. Загоскина. 2018b. С.306-310). URL: <http://biophenols.ru/2018/FenSympMoscow2018-Sbornik-tom1.pdf> [дата обращения: 05.09.2023].
- Kostikova V.A., Vysochina G.I., Khramova E.P., Syeva S.Ya. The specificity of the composition of phenolic compounds in the leaves *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. In: A.P. Belanova (ed.). *Prospects for the development and problems of modern botany: Materials of the IV (VI) All-Russian Youth Conference with the participation of foreign scientists; 2018 October 08-12; Novosibirsk, Russia*. Novosibirsk: Akademizd; 2018d. p.120-122. [in Russian] (Костикова В.А., Высочина Г.И., Храмова Е.П., Сыева С.Я. О специфичности состава фенольных соединений в листьях *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. В кн.: *Перспективы развития и проблемы современной ботаники: материалы IV (VI) Всероссийской молодежной конференции с участием иностранных ученых; Новосибирск, 08-12 октября 2018 г.; Новосибирск, Россия* / отв. ред. А.П. Беланова. Новосибирск: Академиздат; 2018d. С.120-122). URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36863887_58920419.pdf [дата обращения: 05.09.2023].
- Kostikova V.A., Kukushkina T.A., Shaldaeva T.M., Khramova E.P., Syeva S.Y. Biological active substances and antioxidant activity of *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. (*Rosaceae*). *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya* = *Chemistry of plant raw material*. 2019a;4:181-190. [in Russian] (Костикова В.А., Кукушкина Т.А., Шалдаева Т.М., Храмова Е.П., Сыева С.Я. Биологически активные вещества и антиоксидантная активность *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. (*Rosaceae*). *Химия растительного сырья*. 2019a;4:181-190). DOI: 10.14258/jcprm.2019045376
- Kostikova V.A., Kukushkina T.A., Shaldaeva T.M., Khramova E.P., Syeva S.Ya. Biologically active substances and antioxidant activity of *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. (*Rosaceae*). In: *Forest resources protection and rational use: Materials of the X International Forum; 2019 June 5-6; Blagoveshchensk, Russia*. Blagoveshchensk: Publishing House of Far Eastern State Agrarian University; 2019b. Pt 2. p.259-261. [in Russian] (Костикова В.А., Кукушкина Т.А., Шалдаева Т.М., Храмова Е.П., Сыева С.Я. Биологически активные вещества и антиоксидантная активность *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. (*Rosaceae*). В кн.: *Охрана и рациональное использование лесных ресурсов: материалы X международного форума; 05-06 июня 2019 г.; Благовещенск, Россия*. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного государственного аграрного университета; 2019b. Ч. 2. С.259-261). URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38429053_95445840.pdf [дата обращения: 05.09.2023].
- Kotukhov Yu.A., Danilova A.N., Anufrieva O.A. Altai sibiraea (*Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid.) as a rare species in the flora of Kazakhstan (*Sibirka altaiskaya* (*Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid.) – redkii vid flory Kazakhstana). *Botanical research of Siberia and Kazakhstan*. 2017;23:50-74. [in Russian] (Котухов Ю.А., Данилова А.Н., Ануфриева О.А. Сибирка алтайская (*Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid.) – редкий вид флоры Казахстана. *Ботанические исследования Сибири и Казахстана*. 2017;23:50-74).
- Krasnoborov I.M., Artemov I.A. (eds.). Key to plants of the Republic of Altai (Opredelitel rasteniy Respubliki Altay). Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2012. [in Russian] (Определитель растений Республики Алтай / под ред. И.М. Красноборова, И.А. Артемова. Новосибирск: Издательство СО РАН; 2012).
- Lai P.-X., Zhang X.-M., Tian Z.-H., Liu X. Composition and antioxidant activity of the essential oil from aerial parts of *Sibiraea laevigata*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2016;52(3):525-526. DOI: 10.1007/s10600-016-1698-0
- Maneev A.G., Achimova A.A., Sedelnikova N.V., Gorbunova I.A. (eds.). Red Book of the Republic of Altai (plants) (Krasnaya kniga Respubliki Altay (rasteniya)). Gorno-Altaysk; 2017. [in Russian] (Красная книга Республики Алтай (растения) / под ред. А.Г. Манеева, А.А. Ачимовой, Н.В. Седельниковой, И.А. Горбуновой. Горно-Алтайск; 2017).
- Myrzagalieva A.B. Endemic rare and endangered useful plants of East Kazakhstan. In: V.A. Agafonov (ed.). *Problems of botany: history and modernity: Proceedings of the International scientific conference dedicated to the 130th anniversary of the birth of prof. B.M. Kozo-Polyansky, the 80th anniversary of the birth of prof. K.F. Khmelev, IX scientific meeting «Flora of Central Russia»; 2020 February 03-07; Voronezh, Russia (Problemy botaniki: istoriya i sovremennost': materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii, posvyashchennoj 130-letiyu so dnya rozhdeniya prof. B.M. Kozo-Polyanskogo, 80-letiyu so dnya rozhdeniya prof. K.F. Hmelyova, IX nauchnogo soveshchaniya «Flora Srednej Rossii»; 3-7 fevralya 2020; Voronezh, Rossiya)*. Voronezh: Digital typography; 2020. p.268-273. [in Russian] (Мырзагалиева А.Б. Эндемичные редкие и исчезающие полезные растения Восточного Казахстана. В кн.: *Проблемы ботаники: история и современность: материалы Международной научной конференции, посвященной 130-летию со дня рождения проф. Б.М. Козо-Полянского, 80-летию со дня рождения проф. К.Ф. Хмельва, IX научного совещания «Флора Средней России»; 3-7 февраля 2020 г.; Воронеж, Россия* / под ред. В.А. Агафонова. Воронеж: Цифровая полиграфия; 2020. С.268-273). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_42369589_92945077.pdf [дата обращения: 05.09.2023].
- Orazaeva M.K. Experimental study of the germination of planted seeds and cuttings of the endemic of the West Altai State Nature Reserve *Sibiraea altaiensis* (Eksperimentalnoe izuchenie vshkozhnosti posazhennykh semyan i cherenkov endemika Zapadno-Altayskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika *Sibiraea altaiensis*). *Biosfernoe khozyaistvo: teoriya i praktika* = *Biosphere economy: theory and practice*. 2018;1(4):43-46. [in Russian] (Оразаева М.К. Экспериментальное изучение всхожести посаженных семян и черенков эндемика Западно-Алтайского государственного природного заповедника *Sibiraea altaiensis*. *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2018;1(4):43-46).
- Polozhij A.V., Malyshev L.I. (eds.). Flora Sibiriae: Rosaceae. Novosibirsk: Science, Siberian branch; 1988. [in Russian] (Флора Сибири: Rosaceae / под ред. А.В. Положий, Л.И. Малышева. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение; 1988).
- Popov P.L. Plant species, using against viroscopic infections of man and animals: regularities of the distribution in the phylogenetic classification system. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 2008;4(3):17-64. [in Russian] (Попов П.Л. Виды растений, применявшиеся при вирусных болезнях человека и животных: закономерности распределения в филогенетической классификационной системе. *Журнал физиологии стресса и биохимии*. 2008;4(3):17-64).
- Red Data Book of Kazakhstan. 2nd edition revised and enlarged. Vol. 2. Plants (Krasnaya kniga Kazakhstana. Izdanie 2-e, pererabotannoe i dopolnennoe. T. 2. Rasteniya). Astana: ArtPrint XXI; 2014. [in Russian] (Красная книга Казахстана. Издание 2-е, переработанное и дополненное. Т. 2. Растения. Астана: ArtPrint XXI; 2014).
- Serafimovich M.V., Kirillov V.Yu., Stikhareva T.N., Manabaeva A.U. The selection of sterilization mode and type of explant for propagation in *in vitro* culture of *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) C.K. Schneid (Podbor rezhima sterilizatsii i tipa eksplanta dlya vvedeniya v kul'turu *in vitro* sibirki altaiskoy (*Sibiraea altaiensis* (Laxm.) C.K. Schneid)). *Bulletin of the Shakarima State University of Semey = Vestnik gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semej*. 2016;1(73):111-114. [in Russian] (Серафимович М.В., Кириллов В.Ю., Стихарева Т.Н., Манабаева А.У. Подбор режима стерилизации и типа экспланта для введения в культуру *in vitro* сибирки алтайской (*Sibiraea altaiensis* (Laxm.) C.K. Schneid). *Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей*. 2016;1(73):111-114).
- Serafimovich M.V., Kirillov V.Yu., Stikhareva T.N., Manabaeva A.U., Daulenova M.Zh. Recommendations on the technology of *in vitro* propagation of Altai sibiraea (Rekomendatsii po tekhnologii razmnozheniya metodom *in vitro* sibirki altaiskoy). Kokshetau: World of Printing, IE "Ustyugova"; 2017. [in Russian] (Серафимович М.В., Кириллов В.Ю., Стихарева Т.Н., Манабаева А.У., Дауленова М.Ж. Рекомендации по

- технологии размножения методом *in vitro* сибирки алтайской (*Sibiraea altaensis*). Кокшетау: Мир печати, ИП Устюгова; 2017).
- Serafimovich M.V., Kirillov V.Yu., Stikhareva T.N. Adaptation of *Sibiraea altaensis* plants obtained *in vitro* to open ground conditions (Adaptatsiya poluchennyh *in vitro* rastenij sibirki altajskoj k usloviyam otkrytogo grunta). *Conservation of Forest Genetic Resources: Proceedings of the 6th International Conference; 2019 September 16-20; Shchuchinsk, Kazakhstan*. Kokshetau: World of Printing, IE "Ustyugova"; 2019. p.201-202. [in Russian] (Серафимович М.В., Кириллов В.Ю., Стихарева Т.Н. Адаптация полученных *in vitro* растений сибирки алтайской к условиям открытого грунта. *Сохранение лесных генетических ресурсов: материалы 6-ой Международной конференции-совещания; 16-20 сентября 2019 г.; Щучинск, Казахстан*. Кокшетау: Мир печати, ИП Устюгова; 2019. С.201-202). URL: http://kazniiha.kz/public/files/2019/9/20/200919_095838_sbornik-mat-6-meghd-konf-sovesch-sohranenie-lesnyh-geneticheskikh-resur.pdf [дата обращения: 05.09.2023].
- Sokolov P.D. (ed.). Plant resources of the USSR: flowering plants, their chemical composition, use. Families *Hydraginaceae-Haloragaceae*. Leningrad: Science; 1987. [in Russian] (Растительные ресурсы СССР: цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства *Hydraginaceae-Haloragaceae* / под ред. П.Д. Соколова. Ленинград: Наука; 1987).
- Syeva S.Ya., Ailchieva A.O. Growth and development features of the Altai mountains' endemic *Sibiraea altaensis* in culture. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014;9(119):55-59. [in Russian] (Сыева С.Я., Аильчиева А.О. Особенности роста и развития эндемика алтая *Sibiraea altaensis* в культуре. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2014;9(119):55-59).
- Zhao J.-Q., Wang Y.-M., Lv J.-J., Wang S., Mei L.-J., Tao Y.-D. New monoterpenes from stalks and infructescence of *Sibiraea leavigata*. *Phytochemistry Letters*. 2016;18:1-4. DOI: 10.1016/j.phytol.2016.08.016
- Zhao J.-Q., Wang Y.-M., Wang Q.-L., Shao Y., Shib Y.-P., Mei L.-J., Tao Y.-D. Three new monoterpene glycosides from *Sibiraea laevigata* (L.) Maxim. *Phytochemistry Letters*. 2017;19:176-180. DOI: 10.1016/j.phytol.2017.01.002

Информация об авторах

Мария Вячеславовна Серафимович, младший научный сотрудник, лаборатория биохимии и молекулярной биологии, Биологический Институт, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050 Россия, Томск, проспект Ленина, 36, masha_serafimovich@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4409-7162>

Марина Васильевна Ефимова, кандидат биологических наук, доцент, кафедра физиологии растений, биотехнологии и биоинформатики, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050 Россия, Томск, проспект Ленина, 36, stevmv555@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9703-9304>

Information about the authors

Maria V. Serafimovich, Junior Researcher, Laboratory of Biochemistry and Molecular Biology, the Biological Institute, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050 Russia, masha_serafimovich@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4409-7162>

Marina V. Efimova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Department of Plant Physiology, Biotechnology and Bioinformatics, Biological Institute, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050 Russia, stevmv555@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9703-9304>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 08.09.2023; одобрена после рецензирования 28.02.2024; принята к публикации 21.03.2024.

The article was submitted on 08.09.2023; approved after reviewing on 28.02.2024; accepted for publication on 21.03.2024.