

Культивирование *Rhodiola rosea* L. и *Atropa belladonna* L. гидропонным методом

✉ Тюлькевич К.В.¹, Зиннер Н.С.¹, Мусабекова К.Е.²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

Томск, Россия

²Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет

информационных технологий, механики и оптики

Санкт-Петербург, Россия

✉ e-mail: kristinatulkevich6@gmail.com

В ходе эксперимента проведена оценка возможности культивирования *Rhodiola rosea* L. и *Atropa belladonna* L. на аэрогидропонной установке с использованием питательных растворов. В качестве объектов исследования использованы семена, собранные с растений, интродуцированных в условиях юга Томской области: *Rh. rosea* – сбор 2022 г., *A. belladonna* – сбор 2023 г. Исследовали готовые питательные растворы отечественного производства «Simplex» («Hydro Vega», «Hydro Bloom») и «Ситифермер» («Цветы», «Зелень», «Ягоды», «Плоды», «Микрозелень и салаты») с различным соотношением макроэлементов (NPK). Оценивали следующие учетные показатели: всхожесть семян, морфометрические параметры растений. Установлена возможность культивирования *Rh. rosea* и *A. belladonna* на аэрогидропонной установке с использованием готовых питательных растворов. Отмечено стимулирующее влияние изучаемых растворов на лабораторную всхожесть семян. Для *Rh. rosea* наибольшая всхожесть (75%) достигнута при использовании растворов «Simplex: Hydro Bloom», «Ситифермер: Зелень» и «Ситифермер: Цветы». Для *A. belladonna* высокие показатели всхожести отмечены при использовании раствора «Ситифермер: Ягоды» (70%). Для *Rh. rosea* наибольшая эффективность по комплексу морфометрических показателей и всхожести зафиксирована в варианте «Ситифермер: Микрозелень и салаты». В свою очередь, раствор «Ситифермер: Зелень» способствовал развитию растений без ростовых аномалий. Раствор «Ситифермер: Ягоды» стимулировал формирование наибольшего числа листьев *A. belladonna*, наибольшие размеры листовой пластинки отмечены при применении «Simplex: Hydro Bloom». Полученные данные свидетельствуют о перспективности методов культивирования на питательных растворах для создания устойчивых агротехнических систем, не зависящих от внешних условий. В связи с тем, что для лекарственных культур ключевым показателем является накопление биологически активных веществ, в дальнейшем требуется проведение дополнительного химического анализа сырья.

Ключевые слова: *Rhodiola rosea*, *Atropa belladonna*, редкие виды, гидропоника, лекарственные растения, питательные растворы

Cultivation of *Rhodiola rosea* L. and *Atropa belladonna* L. using the hydroponic method

✉ Tyulkevich K.V.¹, Zinner N.S.¹, Musabekova K.E.²

¹National Research Tomsk State University

Tomsk, Russia

²Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

Saint Petersburg, Russia

✉ e-mail: kristinatulkevich6@gmail.com

During the experiment, the possibility of cultivating *Rhodiola rosea* L. and *Atropa belladonna* L. on an aeroponic setup using nutrient solutions was assessed. Seeds collected from plants introduced in the south of the Tomsk region were used as objects of the study: *Rh. rosea* – harvest of 2022, *A. belladonna* – harvest of 2023. Ready-made nutrient solutions of domestic production "Simplex" ("Hydro Vega", "Hydro Bloom") and "Cityfarmer" ("Flowers", "Greens", "Berries", "Fruits", "Microgreens and salads") with different ratios of macronutrients (NPK) were studied. The following record indicators were assessed: seed germination, morphometric parameters of plants. The possibility

of cultivating *Rh. rosea* and *A. belladonna* in an aerohydroponic system using ready-made nutrient solutions has been established. The studied solutions demonstrated a stimulating effect on laboratory seed germination. For *Rh. rosea*, the highest germination rate (75%) was achieved with the "Simplex: Hydro Bloom", "Cityfarmer: Greens", and "Cityfarmer: Flowers" solutions. For *A. belladonna*, high germination rates were noted when using the "Cityfarmer: Berries" solution (70%). For *Rh. rosea*, the highest efficiency in terms of a set of morphometric parameters and germination was recorded in the "Cityfarmer: Microgreens and Salads" variant. In turn, the "Cityfarmer: Greens" solution promoted the development of plants without growth anomalies. The solution "Cityfarmer: Berries" stimulated the formation of the largest number of leaves of *A. belladonna*, the largest sizes of the leaf blade were noted when using "Simplex: Hydro Bloom". The obtained data indicate the potential of cultivation methods on nutrient solutions for the creation of sustainable agricultural systems independent of external conditions. However, for medicinal crops, the key indicator is the accumulation of biologically active substances, which requires additional chemical analysis of the raw materials.

Keywords: *Rhodiola rosea*, *Atropa belladonna*, rare species, hydroponics, medicinal plants, nutrient solutions

Для цитирования: Тюлькевич К.В., Зиннер Н.С., Мусабекова К.Е. Культивирование *Rhodiola rosea* L. и *Atropa belladonna* L. гидропонным методом. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2026; 56 (9): 34–40. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2026-9-4>

For citation: Tyulkevich K.V., Zinner N.S., Musabekova K.E. Cultivation of *Rhodiola rosea* L. and *Atropa belladonna* L. using the hydroponic method. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2026; 56 (9): 34–40. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2026-9-4>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2024-0006).

Budgeting

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FSWM-2024-0006).

ВВЕДЕНИЕ

Массовая заготовка дикорастущих лекарственных растений, в том числе *Rhodiola rosea* L. и *Atropa belladonna* L., сопряжена с существенными экологическими рисками, обусловленными ограниченностью их природных популяций [1].

Оба вида относятся к фармакопейным растениям: лекарственным сырьем *Rh. rosea* служат корни и корневища, содержащие салидрозид и гликозиды коричневого спирта¹ [2, 3], у *A. belladonna* используется трава, являющаяся источником атропина и скополамина [4, 5].

Природные популяции *Rh. rosea* и *A. belladonna* имеют естественную невысокую численность, встречаются на ограниченной территории, что послужило основанием для их включения в Красную книгу Российской Федерации с присвоением охрannого статуса^{2, 3} [4, 6], а также запрета различных видов деятельности, ведущих к сокращению их численности или ухудшению среды произрастания⁴. Однако растущий коммерческий спрос на лекарственное растительное сырье требует поиска альтернативных способов культивирования с высокой эффективностью [7, 8].

¹ФС.2.5.0036.15. Родиолы розовой корневища и корни. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/rodioly-rozovoy-kornevishcha-i-korni-rhodiolae-roseae-rhizomata-et-radices/>.

²Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / отв. ред. Д.В. Гельман. М., 2024.

³Об утверждении Перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 23.05.2023 г. № 320. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1301909451>.

⁴Гиренко И.В. Особенности правового регулирования охраны растительного мира по законодательству Российской Федерации. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Право*. 2015; (1): 226–232.

Одним из альтернативных методов растениеводства является гидропонная технология, которая отвечает вызовам XXI в., объединяя продуктивность, адаптивность к изменению климата и возможность внедрения в городское пространство. Значительное преимущество метода заключается в возможности точного контроля условий роста (освещенности, влажности, температуры, pH), что позволяет увеличить урожайность [9–11]. В соответствии с исследованиями, проведенными ООН, гидропонные системы демонстрируют прирост урожайности на 25% по сравнению с традиционными методами земледелия [12]. При четкой организации производственного процесса возможно получение экологически чистого лекарственного сырья без следов гербицидов и тяжелых металлов. Данный подход может обеспечить фармацевтическую отрасль возобновляемым сырьем гарантированно высокого качества без вмешательства в естественные фитоценозы⁵ [13].

Цель исследования – оценка возможности культивирования *Rh. rosea* L. и *A. belladonna* L. на аэрогидропонной установке с использованием питательных растворов с учетом всхожести семян и морфометрических показателей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали семена *A. belladonna* (урожай 2023 г.) и *Rh. rosea* (урожай 2022 г.) репродукции Сибирского ботанического сада Национального исследовательского Томского государственного университета.

Исследовали готовые питательные растворы «Simplex» («Hydro Vega», «Hydro Bloom») и «Ситифермер» («Цветы», «Зелень», «Ягоды», «Плоды», «Микрозелень и салаты») с различным соотношением макроэлементов (NPK). В рамках реализации политики импортозамещения для эксперимента были выбраны питательные растворы отечественного производства, показавшие хорошие результаты в предварительных исследованиях.

Эксперимент проводили на аэрогидропонной установке «Здоровья клад». Семена подвергали предпосевной обработке: стерилизация 3%-м раствором пероксида водорода и стимуляция прорастания в 0,01%-й гиббереллиновой кислоте. Растворы готовили в соответствии с инструкцией производителя. Замену питательных растворов проводили еженедельно. Уровень pH питательной среды корректировали с использованием регуляторов «Terra Aquatica pH– Powder» и «Terra Aquatica pH+ Powder». Фотопериод составлял 16 ч, температура в помещении поддерживалась в диапазоне 22–25 °С. Освещение обеспечивали люминесцентными лампами OSRAM L 36W/765 (световой поток 2500 лм).

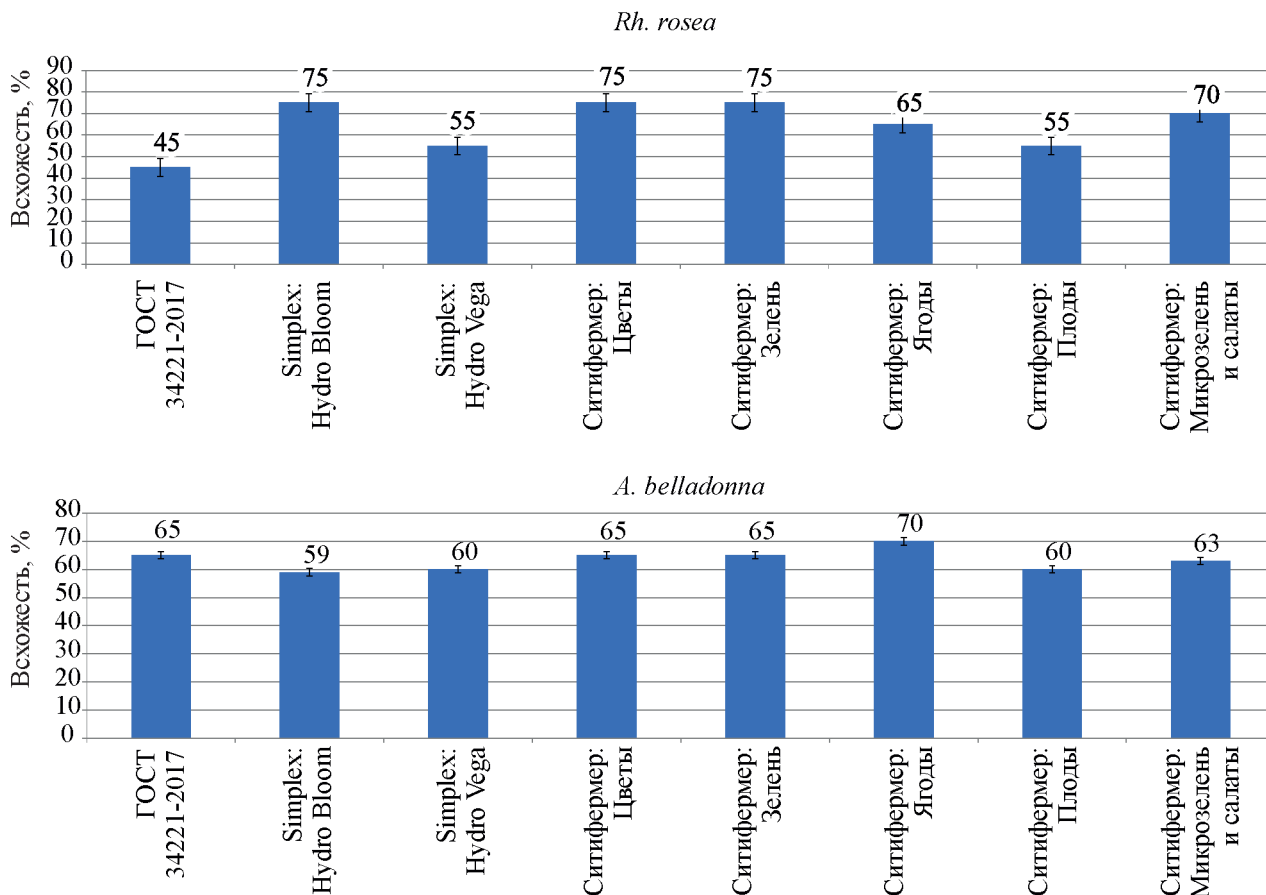
Учетные показатели определяли в следующие сроки: всхожесть семян – на 10-е сутки, морфометрические параметры растений *Rh. rosea* – на 34-е сутки, *A. belladonna* – на 69-е сутки. Показатели всхожести сравнивали с требованиями к сортовым и посевным качествам для репродукционных семян, представленным в ГОСТ 34221–2017.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования установлено увеличение лабораторной всхожести семян *Rh. rosea* при использовании аэрогидропонного метода в сравнении с требованиями к сортовым и посевным качествам для репродукционных семян. Наибольший показатель всхожести (75%) зафиксирован в вариантах с применением питательных растворов «Simplex: Hydro Bloom», «Ситифермер: Цветы» и «Ситифермер: Зелень» (см. рисунок).

Наибольшая всхожесть семян *A. belladonna* отмечена при использовании раствора «Ситифермер: Ягоды» (70%). При этом другие растворы, эффективные для *Rh. rosea* («Ситифермер: Цветы» и «Ситифермер: Зелень»), в случае с *A. belladonna* показали всхожесть, соответствующую требованиям ГОСТ 34221–2017 (65%), но не превышающую их.

⁵Тихомирова Л.И., Базарнова Н.Г., Ильичёва Т.Н., Сысоева А.В. Способ получения лекарственного растительного сырья лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) в условиях гидропоники. *Химия растительного сырья*. 2016; (3): 59–66.



Всхожесть семян *Rh. rosea* и *A. belladonna* (по вариантам опыта)

Germination of *Rh. rosea* and *A. belladonna* seeds (by experience options)

Повышенная засоленность субстрата при использовании питательных растворов «Simplex: Hydro Vega» и «Ситифермер: Плоды» вызвала гибель растений *Rh. rosea*, в связи с чем эти варианты были исключены при дальнейшем проведении эксперимента.

При сравнении с вариантом «Ситифермер: Ягоды» видно, что практически все питательные растворы имеют статистически значимые различия по большинству исследуемых

параметров. Согласно данным табл. 1, при применении питательных растворов «Ситифермер: Микрозелень и салаты» и «Ситифермер: Зелень» установлены статистически значимые различия в числе листьев относительно варианта «Ситифермер: Ягоды» (выше на 22 и 11%).

Что касается параметров листовой пластинки, то вариант «Ситифермер: Микрозелень и салаты» характеризовался наиболь-

Табл. 1. Морфометрические показатели *Rh. rosea* при культивировании на различных питательных растворах

Table 1. Morphometric parameters of *Rh. rosea* when cultivating on different nutrient media

Показатель	Simplex	Ситифермер			
	Hydro Bloom	Ягоды	Цветы	Зелень	Микрозелень и салаты
Высота растений, см	24 ± 1,9*	11 ± 1,1	11 ± 1,8	15 ± 1,0*	21 ± 2,1*
Ширина листа, мм	7 ± 0,9*	6 ± 1,1	7 ± 0,9*	6 ± 0,7	8 ± 0,8*
Длина листа, мм	8 ± 0,8*	7 ± 0,9	7 ± 0,9	8 ± 0,8*	11 ± 0,7*
Число листьев, шт./раст.	9 ± 0,8	9 ± 0,8	8 ± 1,0*	10 ± 0,5*	11 ± 0,7*

*Статистически значимые различия при $p < 0,05$ относительно варианта «Ситифермер: Ягоды».

Табл. 2. Морфометрические показатели *A. belladonna* при культивировании на различных питательных растворах

Table 2. Morphometric parameters of *A. belladonna* when cultivating on different nutrient media

Показатель	Simplex		Ситифермер				
	Hydro Bloom	Hydro Vega	Ягоды	Цветы	Зелень	Плоды	Микрозелень и салаты
Высота растений, см	15 ± 1,0*	14 ± 0,7*	16 ± 1,9*	19 ± 1,8*	16 ± 1,2*	14 ± 1,4*	9 ± 0,2
Ширина листа, мм	40 ± 0,9	28 ± 0,9*	32 ± 1,1*	32 ± 0,9*	28 ± 0,7*	32 ± 0,9*	40 ± 0,8
Длина листа, мм	86 ± 8,1*	54 ± 4,7*	64 ± 9,0*	64 ± 7,1*	56 ± 5,3*	70 ± 3,8	72 ± 6,7
Число листьев, шт./раст.	7 ± 0,8*	7 ± 1,0*	10 ± 0,5*	7 ± 0,8*	7 ± 0,9*	6 ± 0,9*	8 ± 0,8

*Статистически значимые различия при $p < 0,05$ относительно варианта «Ситифермер: Микрозелень и салаты».

шим значением длины и ширины ($11 \pm 0,7$ и $8 \pm 0,8$ мм соответственно) и достоверно отличался от значений, полученных при использовании питательного раствора «Ситифермер: Ягоды» (на 57 и 33% соответственно).

Для оптимального вегетативного развития выделен раствор «Ситифермер: Зелень», который обеспечивает получение растений без ростовых аномалий ($10 \pm 0,5$ листьев при высоте $15 \pm 1,0$ см). Раствор «Simplex: Hydro Bloom» показал наибольший прирост показателя высоты (на 118,2% относительно варианта «Ситифермер: Ягоды»). На основании невысоких значений остальных исследуемых параметров можно предположить, что наблюдаемый эффект является результатом этиоляции.

При морфометрическом анализе *A. belladonna* установлены достоверные различия по изучаемым показателям в зависимости от применяемого питательного раствора (табл. 2).

При использовании раствора «Ситифермер: Микрозелень и салаты» наблюдалась наименьшая высота растений ($9 \pm 0,2$ см). Наибольший прирост отмечен в варианте «Ситифермер: Цветы» (на 111,1% относительно варианта «Ситифермер: Микрозелень и салаты»). Затем идут варианты «Ситифермер: Ягоды» и «Ситифермер: Зелень» (по 77,8%).

Раствор «Ситифермер: Ягоды» обеспечил формирование максимального числа листьев – $10 \pm 0,5$ шт./раст. (на 25% больше, чем в варианте «Ситифермер: Микрозелень и салаты»). Минимальное значение показателя отмечено для раствора «Ситифермер:

Плоды» – $6 \pm 0,9$ шт./раст. (на 25% меньше, чем в варианте «Ситифермер: Микрозелень и салаты»).

Что касается размеров листовой пластинки, то максимальная длина зафиксирована в варианте «Simplex: Hydro Bloom» ($86 \pm 8,1$ мм), что на 19,4% больше, чем в варианте «Ситифермер: Микрозелень и салаты». Ширина листовой пластинки при использовании растворов «Ситифермер: Микрозелень и салаты» и «Simplex: Hydro Bloom» не различается ($40 \pm 0,8$ и $40 \pm 0,9$ мм соответственно).

ВЫВОДЫ

1. Установлена возможность культивирования *Rh. rosea* и *A. belladonna* на аэрогидропонной установке с использованием питательных растворов. Однако реакция растений видоспецифична, в связи с чем необходимы предварительные эксперименты и поиск оптимальной питательной среды.

2. Отмечено стимулирующее влияние растворов «Ситифермер» и «Simplex» на лабораторную всхожесть семян. Для *Rh. rosea* высокая всхожесть семян (75%) наблюдалась при применении растворов «Simplex: Hydro Bloom», «Ситифермер: Зелень» и «Ситифермер: Цветы», в то время как для *A. belladonna* наибольшее значение всхожести отмечено при использовании раствора «Ситифермер: Ягоды» (70%).

3. Для *Rh. rosea* оптимальная эффективность по комплексу морфометрических показателей и всхожести семян зафиксирована при использовании раствора «Ситифермер:

Микрозелень и салаты». Раствор «Ситифермер: Зеленый» способствовал развитию растений без ростовых аномалий. Для формирования листьев *A. belladonna* оптимальными были растворы «Ситифермер: Ягоды» и «Simplex: Hydro Bloom».

4. Полученные данные свидетельствуют о перспективности гидропонных технологий для создания устойчивых агротехнических систем, не зависящих от внешних условий. Однако следует учитывать, что так как данные культуры являются лекарственными, их ценность определяется содержанием биологически активных веществ. В связи с этим дальнейшие исследования необходимо дополнить проведением химического анализа сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цицилин А.Н., Ковалев Н.И. Лекарственное растениеводство России в XXI веке (вызовы и перспективы развития). *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2021; (1): 42–54. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-1-42-54>
2. Panossian A.G., Efferth T., Shikov A.N., Pozharitskaya O.N. Evolution of the adaptogenic concept from traditional use to medical systems: pharmacology of stress-and aging-related diseases. *Medicinal Research Reviews*. 2021; (41-1): 630–703. <https://doi.org/10.1002/med.21743>
3. Жданов Д.А., Рязанова Т.К., Куркин В.А., Куркина А.В., Браславский В.Б. Биотехнологические способы получения биологически активных соединений родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) (обзор). *Химия растительного сырья*. 2023; (3): 5–25. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230312550>
4. Темирова Х.М. Беладонна красавка (*Atropa belladonna* L.) – перспективная лекарственная культура. *Вестник магистратуры*. 2022; (10-1): 7–8.
5. Sharma S., Lishika B., Shahi A., Kaushal S., Kaushal S. Hydroponics: the potential to enhance sustainable food production in non-arable areas. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2023; (42): 13–23. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2023/v42i394253>
6. Прокопьев А.С., Ямбуров М.С., Катаева Т.Н., Чернова О.Д., Прокопьева Е.С. Репродуктивная биология *Rhodiola rosea* в природ-

ных условиях Горного Алтая. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2023; (64): 52–80. <https://doi.org/10.17223/19988591/64/3>

7. Ajdert P., Jan L., Burman R. Liquid chromatographic method for the quantification of salidroside and cinnamyl alcohol glycosides for quality control of golden root (*Rhodiola rosea* L.). *Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 2022; (26): 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100364>
8. Савченко О.М., Кроль Т.А., Аксенов А.А., Балеев Д.Н. Содержание розавина в сырье родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.). *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2024; (3): 45–50. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-3-45-50>
9. Серегин М.В. Соблюдение технологических требований для выращивания растений методом гидропоники в условиях сити-фермерства. *E-Scio*. 2022; (3): 264–268.
10. Jansen L., Karel J.K. Exploration of efficient water, energy and nutrient use in aquaponics systems in northern latitudes. *Cleaner and Circular Bioeconomy*. 2022; (2): 100012. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100012>
11. Евлоева М.Р., Саркенова С.Б., Седунова Н.С., Тлеуова З.Ш. Гидропоника как способ выращивания растений без почвы. *Вестник науки*. 2023; 3 (12): 1274–1281.
12. Тихомирова В.А. Инновации в агропромышленном производстве как драйвер повышения устойчивости национальных продовольственных систем. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика*. 2021; 29 (4): 773–784. <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2021-29-4-773-784>
13. Егинбай А.М., Бурабаев А.А., Натиров А.К. Выращивание аронника Королькова (*Arum korolkowii*) в малообъемной гидропонике. *Природные системы и ресурсы*. 2022; 12 (3): 13–19. <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.3.2>

REFERENCES

1. Tsitsilin A.N., Kovalev N.I. Medicinal plant production in Russia in the 21st century (challenges and development prospects). *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021; (1): 42–54. (In Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-1-42-54>

2. Panossian A.G., Efferth T., Shikov A.N., Pozharitskaya O.N. Evolution of the adaptogenic concept from traditional use to medical systems: pharmacology of stress-and aging-related diseases. *Medicinal Research Reviews*. 2021; (41-1): 630–703. <https://doi.org/10.1002/med.21743>
3. Zhdanov D.A., Ryazanova T.K., Kurkin V.A., Kurkina A.V., Braslavsky V.B. The obtaining *Rhodiola rosea* L. biologically active compounds by biotechnological methods (overview). *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*. 2023; (3): 5–25. (In Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230312550>
4. Temirova H.M. Belladonna belladonna (*Atropa belladonna* L.) – a promising medicinal culture. *Vestnik magistratury = Vestnik Magistratury*. 2022; (10-1): 7–8. (In Russian).
5. Sharma S., Lishika B., Shahi A., Kaushal S., Kaushal S. Hydroponics: the potential to enhance sustainable food production in non-arable areas. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2023; (42): 13–23. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2023/v42i394253>
6. Prokopyev A.S., Yamburov M.S., Kataeva T.N., Chernova O.D., Prokopyeva E.S. Reproductive biology of *Rhodiola rosea* under wild conditions of the Altai Mountains. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2023; (64): 52–80. (In Russian). <https://doi.org/10.17223/19988591/64/3>
7. Ajdert P., Jan L., Burman R. Liquid chromatographic method for the quantification of salidroside and cinnamyl alcohol glycosides for quality control of golden root (*Rhodiola rosea* L.). *Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 2022; (26): 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100364>
8. Savchenko O.M., Krol T.A., Aksenov A.A., Baileev D.N. Rosavin content in the golden root raw material (*Rhodiola rosea* L.). *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of KrasSAU*. 2024; (3): 45–50. (In Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-3-45-50>
9. Seregin M.V. Compliance with technological requirements for growing plants using hydroponics in urban farming. *E-Scio = E-Scio*. 2022; (3): 264–268. (In Russian).
10. Jansen L., Karel J.K. Exploration of efficient water, energy and nutrient use in aquaponics systems in northern latitudes. *Cleaner and Circular Bioeconomy*. 2022; (2): 100012. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100012>
11. Evloeva M.R., Sarkenova S.B., Sedunova N.S., Tleuova Z.S. Hydroponics as a way of growing plants without soil. *Vestnik nauki = Vestnik Nauki*. 2023; 3 (12): 1274–1281. (In Russian).
12. Tikhomirova V.A. Innovations in agro-industrial production as a driver of increasing the resilience of national food systems. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekonomika = RUDN Journal of Economics*. 2021; 29 (4): 773–784. (In Russian). <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2021-29-4-773-784>
13. Eginbai A.M., Burabaev A.A., Natyrov A.K. Cultivation of arum in low-volume hydroponics. *Prirodnye sistemy i resursy = Natural Systems and Resources*. 2022; 12 (3): 13–19. (In Russian). <https://doi.org/10.15688/nsr.jvol-su.2022.3.2>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Тюлькевич Кристина Викторовна, младший научный сотрудник; SPIN-код 8468-1032; адрес для переписки: Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 36; e-mail: kristinatulkevic6@gmail.com

Зиннер Надежда Сергеевна, доцент кафедры, кандидат биологических наук, доцент; SPIN-код 3878-5235

Мусабекова Карина Ербалатовна, магистрант

AUTHOR INFORMATION

✉ Kristina V. Tyulkevich, Junior Researcher; SPIN-code 8468-1032; address: 36, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia; e-mail: kristinatulkevic6@gmail.com

Nadezhda S. Zinner, Assistant Professor, Candidate of Science in Biology, Associate Professor; SPIN-code 3878-5235

Karina E. Musabekova, Post-graduate Student

Дата поступления статьи / Received by the editors 28.05.2026
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 23.07.2026
Дата публикации / Published 12.10.2026