

***Scutellaria przewalskii*: полифенольные метаболиты  
культуры корневых волосков**

**Ю.Н. Елькин<sup>1</sup>, А.Ю. Степанова<sup>2</sup>, А.Ю. Маняхин<sup>3</sup>, \***

<sup>1</sup>Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова, ДВО РАН,  
Владивосток, Российская Федерация

<sup>2</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, РАН,  
Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН,  
Владивосток, Российская Федерация

\*e-mail: mau84@mail.ru

**Аннотация.** Представители рода *Scutellaria* широко используются в фармакологии благодаря высокому содержанию флавонов — вторичных метаболитов, обладающих выраженной биологической активностью. Несмотря на то, что фармакологические эффекты флавонов и особенности метаболизма видов *S. baicalensis* и *S. lateriflora* изучены достаточно подробно, другие виды шлемника остаются исследованными значительно слабее. В настоящем сообщении впервые представлены результаты исследования полифенольного состава культуры корневых волосков редкого вида *Scutellaria przewalskii* Juz. В результате проведенной работы установлено, что доминирующими полифенольными соединениями корневой культуры *S. przewalskii* являются вербаскозид, а также глюкуроны вогонина (5,7-дигидрокси-6,8-диметоксифлавоны) и 5-гидрокси-6,7,8,2'-тетраметоксифлавоны.

**Ключевые слова:** *Scutellaria przewalskii*, вербаскозид, вогонин, ЖХ МС/МС, культура корневых волосков, флавоноиды

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: (темы № 075-00398-24-01; 126012015839-6; 124012200183-8).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Вклад авторов.** Ю.Н.Е. — концепция статьи; Ю.Н.Е., А.Ю.М., А.Ю.С. — методология; А.Ю.М., Ю.Н.Е., А.Ю.С. — написание статьи; Ю.Н.Е., А.Ю.М. — ВЭЖХ-МС анализ.

**Ссылка для цитирования:** Елькин Ю.Н., Степанова А.Ю., Маняхин А.Ю. *Scutellaria przewalskii*: полифенольные метаболиты культуры корневых волосков. *Физиология растений / Russian Journal of Plant Physiology*. 2026. Т. 73. № 3. С. 272–279. <https://doi.org/10.7868/S3034624X26030072>

**Дополнительная информация.** Онлайн-версия содержит дополнительные материалы, доступные по адресу: <https://doi.org/10.7868/S3034624X26030072>

## *Scutellaria przewalskii*: Polyphenolic Metabolites of the Hairy Root Culture

Yu.N. Elkin<sup>1</sup>, A. Yu. Stepanova<sup>2</sup>, A.Yu. Manyakhin<sup>3</sup>, \*

<sup>1</sup>Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

<sup>2</sup>Timiryazev Institute of Plant Physiology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

\*e-mail: mau84@mail.ru

**Abstract.** Representatives of the genus *Scutellaria* are widely used in pharmacology due to their high content of flavones-secondary metabolites with pronounced biological activity. Although the pharmacological effects of flavones and the metabolic characteristics of *S. baicalensis* and *S. lateriflora* have been studied in considerable detail, other species of skullcap remain much less investigated. This report presents the first results of a study on the polyphenolic composition of hairy root cultures of the rare species *Scutellaria przewalskii* Juz. The work revealed that the dominant polyphenolic compounds in the root culture of *S. przewalskii* are verbascoside, as well as glucuronides of wogonin (5,7-dihydroxy-6,8-dimethoxyflavone) and 5-hydroxy-6,7,8,2'-tetramethoxyflavone.

**Keywords:** *Scutellaria przewalskii*, verbascoside, wogonin, LC-MS/MS, hairy root culture, flavonoids

**Funding.** This research was funded by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Topic No. 075-00398-24-01, No. 126012015839-6, No. 124012200183-8).

**Ethics declarations.** This work does not contain any studies involving human and animal subjects.

**Conflict of interests.** The authors of this work declare that they have no conflicts of interest.

**Authors' contribution.** Y.N.E. developed the concept; Y.N.E., A.Y.M. and A.Y.S. developed the methodology; A.Y.M, Y.N.E., and A.Y.S. wrote the article; Y.N.E. and A.Y.M. carried out the HPLC-MS analyses.

**For Citation:** Elkin Yu.N., Stepanova A.Yu., Manyakhin A.Yu. *Scutellaria przewalskii*: polyphenolic metabolites of the hairy root culture. *Fiziologiya rasteniy / Russian Journal of Plant Physiology*. 2026, vol. 73, no. 3, pp. 272–279. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034624X26030072>

**Additional information.** The online version contains supplementary materials available at <https://doi.org/10.7868/S3034624X26030072>

### ВВЕДЕНИЕ

*Scutellaria* — род многолетних растений, широко распространенных в умеренных широтах [1]. Большинство представителей рода *Scutellaria* обладают лекарственной ценностью благодаря биосинтезу флавонов с выраженной фармакологической активностью. Для ряда видов шлемника, особенно *S. baicalensis*, биосинтез, фармакологические эффекты и метаболизм флавонов уже хорошо изучены

[2–4]. На сегодняшний день хромато-масс-спектрометрия остается единственным эффективным методом нецелевого скрининга соединений в многокомпонентных экстрактах растительного происхождения [5, 6]. Сравнительный анализ полифенольных метаболитов листьев, корней и культур корневых волосков (HRC) еще пяти видов рода *Scutellaria* показал, что их профиль представлен преимущественно пятью флавонами и рядом их гликозидов, для которых

были проведены количественные определения [7]. При этом выявлены выраженные видовые различия в составе основных флавонов рода — байкалеина, вогонина и скутеллареина (4'-гидроксифлавоны), относящегося к альтернативной ветви биосинтеза флавонов [2–4]. Также отмечено, что корни и HRC *S. lateriflora* продуцируют в большей степени фенилэтанойд вербаскозид — кофеноил рутинозида дигидротирозола (CRD).

Многолетние растения накапливают целевые флавоны в корнях в течение нескольких лет, прежде чем становятся пригодными в качестве лекарственного сырья. В этом контексте созданная культура корневых волосков, способная продуцировать целевые флавоны уже в течение 4–5 нед., представляется перспективным и воспроизводимым источником биологически активных метаболитов. Такие культуры представляются продуктивным и возобновляемым источником наземных полифенолов. Показано, что флавоны, синтезируемые HRC ряда видов *Scutellaria*, сопоставимы с флавонами, продуцируемыми корнями интактных растений [7, 8]. При этом культуры корневых волосков формируют качественно идентичный корням профиль флавонов, однако характеризуются выраженными видоспецифичными различиями в эффективности их синтеза. Результаты исследований создают основу для разработки методов оценки потенциала биосинтеза полифенолов у редких и не охарактеризованных видов рода *Scutellaria* без проведения деструктивного анализа корней. Среди них *S. przewalskii* Juz., редкий вид растения, обитающий в условиях горного массива Памир. Фитохимический состав надземной части растения был изучен ранее [9], в то время как данные о химическом составе других его органов (в частности корней) в литературе отсутствуют.

Культура корневых волосков, созданная из семян этого растения, собранных в горах, показала высокую продуктивность в накоплении биомассы и синтезе ряда флавонов [10]. В связи с этим целью настоящего сообщения является определение полифенольного сегмента метаболома культуры корневых волосков *S. przewalskii* и оценка возможностей данного подхода для нецелевого анализа экстрактивных веществ у видов, для которых отсутствуют сведения о фитохимии корней, но которые потенциально могут являться источниками полифенолов с высокой фармакологической значимостью.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Культура корневых волосков *S. przewalskii* из коллекции Института физиологии растений РАН использована для получения биомассы и установления состава полифенолов [10]. Около 100 мг сухой культуры дважды экстрагировали 2 мл 96% этанола в течение 2 ч при 50°C. Объединенный экстракт центрифугировали в течение 3 мин при 15000 об/мин, и супернатант измеряли методом ЖХ-МС. Пробы предварительно фильтровали через шприцевые фильтры (PTFE, Phenomenex, размер пор 0.45 мкм, диаметр 13 мм). ЖХ-МС анализы экстрактов корневых

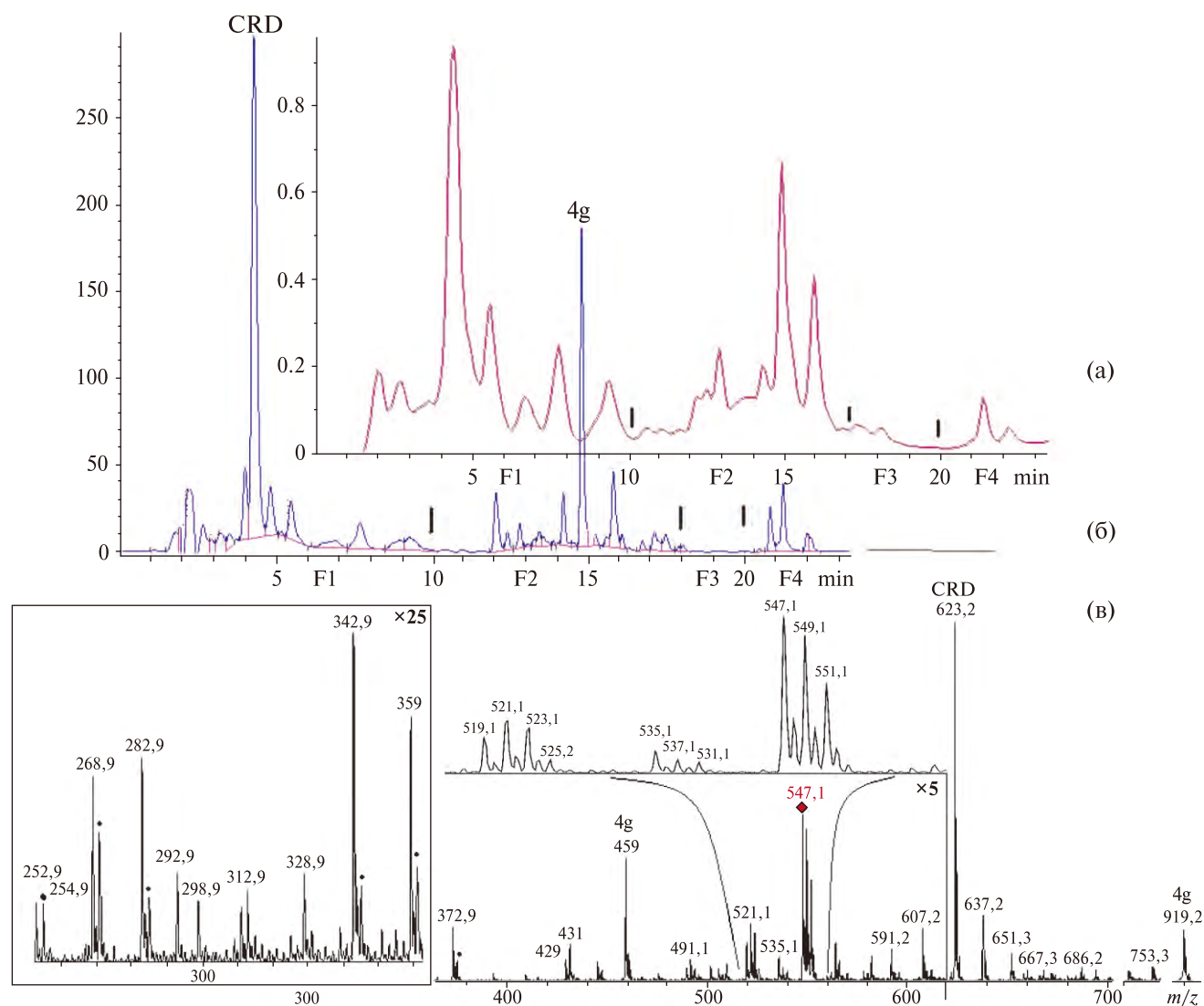
волосков *S. lateriflora* были проведены в центре коллективного пользования “Биотехнология и генетическая инженерия” Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН. Параметры и условия ЖХ-МС описаны нами ранее [11].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Метод ЖХ-МС/МС, широко применяемый для нецелевого анализа растительных метаболитов, в ряде случаев приводит к недоучету соединений, коэлюирующих с доминирующими компонентами, но имеющих иное биосинтетическое происхождение [5]. При изучении полифенольного метаболома или отдельных его сегментов определенные группы метаболитов были скомпилированы согласно их принадлежности к определенному пути синтеза, физическим, химическим, биологическим или иным признакам. В настоящее время результаты ВЭЖХ-МС-анализа чаще всего сводятся в табличную форму, которая не позволяет читателю оценить достоверность идентификации и относительное содержание полифенолов с близкими значениями сечения ионизации и сходными масс-спектральными характеристиками (Дополнительные материалы, рис. S1–S4). В результате накопленного опыта сравнительного исследования фенольного сегмента метаболома корней, надземных органов, культуры корневых волосков *S. baicalensis* и *S. lateriflora* был разработан протокол представления большого массива ЖХ-МС/МС-данных, включающего времена удерживания, УФ-спектральные характеристики, масс-спектры ионов-предшественников и продуктов их фрагментации [8, 11, 12]. Принципиальной особенностью данного подхода является наглядная визуализация относительного содержания метаболитов непосредственно в хроматограммах полного ионного тока (ТИС), при УФ-детектировании и в профиле масс-спектра всех ионов (рис. 1а–в).

Профили ЖХ-УФ и ТИС разделены по полярности метаболитов на четыре условные фракции (F) (рис. 1). Это позволило дифференцировать палитру метаболитов в сложном экстракте и отдельных достаточно сложных ионных фракциях (Дополнительные материалы, рис. S1–S3). Следует отметить, что флавоны, гликозилированные глюкуроновой кислотой, могут дать дополнительный вклад в ионный ток  $[M-H]^-$  за счет карбоксилат-аниона. Эффективность его образования в источнике ионов ожидается выше, чем фенолят-анионов  $[M-H]^-$  полифенолов. Поэтому профиль ТИС, возможно, показывает содержание гликозидов флавонов несколько завышенным.

Профиль полного ионного тока, характеризующийся диффузными пиками, отражает сложный компонентный состав экстракта культуры во фракциях F1, F2 и F4, в которых доминируют три основных ионных сигнала (рис. 1а). Соответствующий УФ-профиль в целом воспроизводит эту картину, при этом узкие пики свидетельствуют о фенольной природе преобладающих соединений. Наиболее интенсивный сигнал зарегистрирован для компонента фракции F1



**Рис. 1.** Хроматограммы полного ионного тока (а) — УФ-ВЭЖХ, (б) — масс-спектр отрицательных ионов соединений в экстракте культуры корневых волосков *S. przewalskii* (в). CRD — вербаскозид. 4g — вогонозид  
**Fig. 1.** Total ion current chromatograms (a) — UV-HPLC, (б) — negative ion mass spectrum of compounds in the extract of *S. przewalskii* hairy root culture (в). CRD — verbascoside. 4g — wogonoside

при времени удерживания 4.3 мин (рис. 1б). Масс-спектр экстракта подчеркивает высокую сложность состава, представленную множеством ионных сигналов, среди которых доминирует ион с  $m/z$  623 вербаскозида (рис. 1в). Последний также доминирует и в HRC *S. lateriflora* [11, 13].

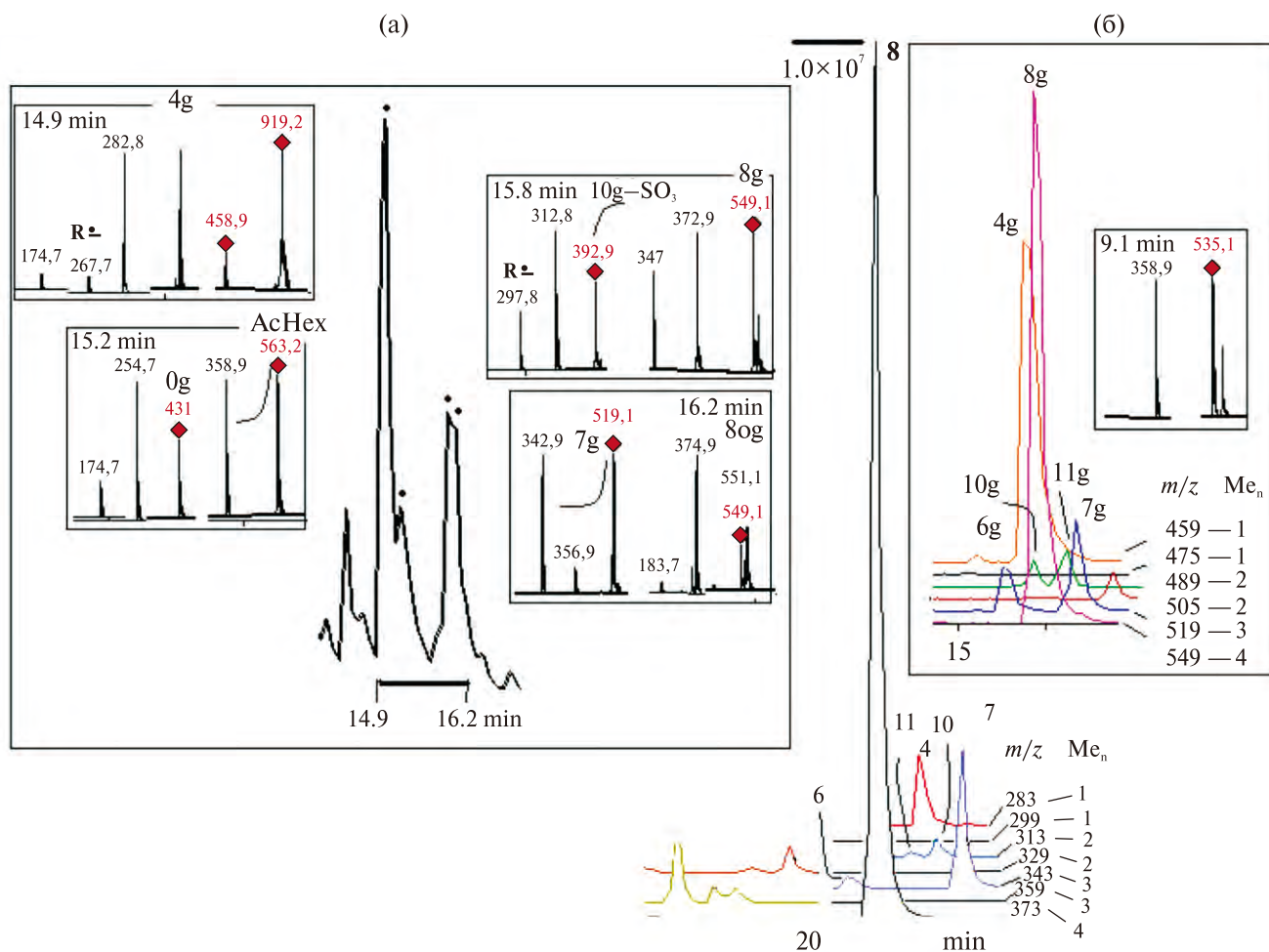
#### Метилированные флавоны

Ионные хроматограммы метилированных флавонов (МФ) представлены в виде 3D-подобной визуализации и упорядочены в последовательности, обратной увеличению числа метильных групп в углеродном остове молекул флавонов и соответствующих значений  $m/z$  ионов  $[M-H]^-$  (рис. 2).

Профили фракции F4 по данным хроматограмм ТИС и МС культуры *S. przewalskii* демонстрируют качественное сходство в составе МФ с *S. baicalensis* [12]

(Дополнительные материалы, рис. S1). Вместе с тем HRC *S. przewalskii* характеризуется существенно более высоким содержанием тетра-ОМe-флавона (8) с  $m/z$  373 (Skullcap flavone II) в сравнении с вогиномом.

Последующее гликозилирование МФ преимущественно происходит в кольце А. В молекуле флавона (8) —ОН-группа в кольце В гликозилируется не так эффективно, как в кольце А. По этой причине профили гликозидов 8g и 4g оказываются сопоставимыми по интенсивности, несмотря на доминирующее содержание агликона (8) (рис. 2, вставка б). В гликозилированной форме метилированные флавоны, например вогонозид, регистрируются в масс-спектре двумя ионными сигналами: мономерным ионом  $[M-H]^-$  с  $m/z$  459 и димерным ионом с  $m/z$  919 ( $m/z^2$ , 14.9 мин) (рис. 1а). В результате столкновений ион мономер  $[M-H]^-$   $m/z$  459 последовательно теряет



**Рис. 2.** Ионные хроматограммы 7 наиболее обильных метилированных флавонов. (а) Сегмент ТИС фракции 2 и  $m/z$  спектры; (б) — метилированные флавоны и их гликозиды. g — Гликозид; og — гликозид пиноцембрина; 4 — 5,7-ди-ОН-8-ОМе флаво (вогонин); 6 — 6'-ОМе вогонин; 7 — 2',5-ди-ОН-6',7,8-три-ОМе флаво; 8 — 2',5-ди-ОН-6,7,8,6'-флаво; 8og — гликозид флавонон, подобный 8; 10 — 6-ОМе вогонин; 10 — SO<sub>3</sub>-сульфат MF 10; 11 — 2,6-ди-ОН-7,8-ди-ОМе-флаво; R<sup>•</sup> — четно-электронный ион; AcHex — ацетилированная гексоза

**Fig. 2.** Ion chromatograms of the 7 most abundant methylated flavones. (a) Segment of TIC of fraction 2 and  $m/z$  spectra; (b) — methylated flavones and their glycosides. g — Glycoside; og — pinocembrin glycoside; 4 — 5,7-di-OH-8-Ome flavone (wogonin); 6 — 6'-Ome wogonin; 7 — 2',5-di-OH-6',7,8-tri-Ome flavone; 8 — 2',5-di-OH-6,7,8,6' flavone; 8og — flavonone glycoside similar to 8; 10 — 6-Ome wogonin; 10 — SO<sub>3</sub>-sulfate of MF 10; 11 — 2,6-di-OH-7,8-di-Ome-flavone; R<sup>•</sup> — even-electron ion; AcHex — acetylated hexose

молекулу глюкуронида (176 Да) и метил-радикал с образованием четно-электронного иона R<sup>•</sup>  $m/z$  468 [12].

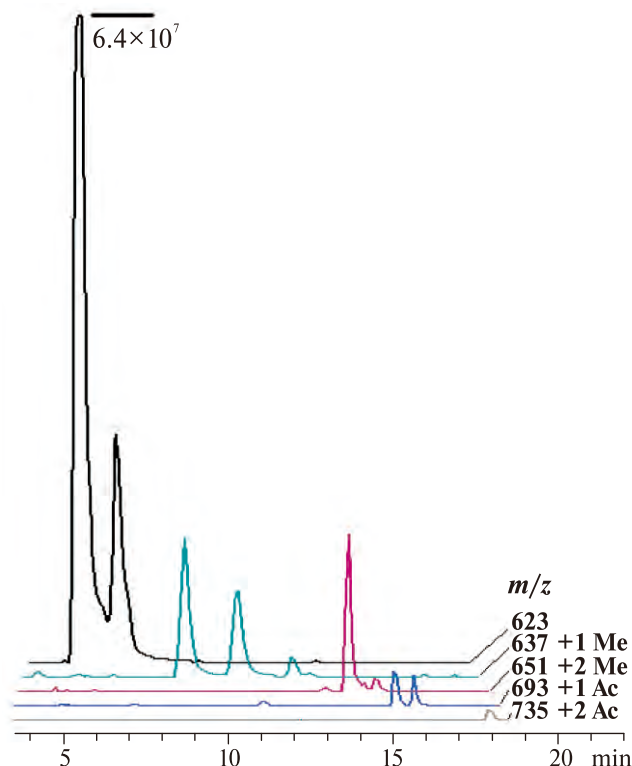
Продукт-ионы ( $m/z$ ) соединений данного сегмента, извлеченные из ионной хроматограммы ТИС фракции F2 (Дополнительные материалы, рис. S3) в интервале элюирования немного более одной минуты, демонстрируют выраженное наложение гликозидов целевых МФ с другими производными флавонов. В частности, в этом интервале регистрируются ацетилгексозид (204 Да) три-ОН-три-ОМе-флавона с  $m/z$  563 ( $m/z$ , 15.2 мин) и сульфат ди-ОН-ди-ОМе-флавона с ионом  $m/z$  393 ( $m/z$ , 15.8 мин), оба из которых ранее были идентифицированы в HRC *S. baicalensis* [8]. В культуре корневых волосков процессы дегидрирования протекают недостаточно быстро, в результате чего флавононные предшественники и их

производные элюируются вблизи соответствующих флавонов, часто с частичным перекрытием хроматографических пиков. Так, сигнал при 16.2 мин с ионом  $m/z$  375 и характерным набором продукт-ионов указывает на присутствие флавонона 8og.

#### Свободные флавоны

Путь биосинтеза флавонов начинается дегидрированием пиноцембрина (0) ферментом FNSII-2 с образованием хризина (1) [4]. В масс-спектре экстракта присутствуют ионы [M-H]<sup>-</sup> с  $m/z$  255 и 253, соответствующие пиноцембрину и хризину соответственно (рис. 1в). Последующее гидроксилирование хризина приводит к образованию нор-вогонина (2) и байкалина (3), для которых в масс-спектрах корней растений рода *Scutellaria* характерен ион [M-H]<sup>-</sup> с  $m/z$  269.





**Рис. 4.** Ионные хроматограммы фенолэтанойдов корневых волосков *S. przewalskii*, вербаскозидов  $m/z$  623 и их производных: Me — метилированных, Ac — ацетилированных

**Fig. 4.** Ion chromatograms of phenylethanoids from *S. przewalskii* hairy roots, verbascozides  $m/z$  623 and their derivatives: Me — methylated, Ac — acetylated

Аналогично флавонам — другому основному классу растительных полифенолов — вербаскозид подвергается последующим химическим модификациям, что ранее было показано для корней *S. lateriflora* [11]. В соответствии с этим 3D-сборка селективных

ионных хроматограмм демонстрирует спектр производных вербаскозида, включающий метилированные, ацетилированные и гликозилированные формы (рис. 4).

В структуре молекул вербаскозидов присутствуют два катехольных мотива, что обеспечивает сопоставимую с флавоноидами эффективность ионизации в отрицательном режиме. Это позволяет проводить сравнительную оценку их относительного содержания в экстрактах по интенсивности ионов фенолят-аниона  $[M-H]^-$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружение доминирующего синтеза вербаскозида и гликозидов метилированных флавонов (4g) и (8g) в культуре корневых волосков *S. przewalskii* позволяет предположить приоритетное накопление этих соединений в корнях растения в природных условиях как компонентов защитного метаболизма. Примечательно, что эти же гликозиды доминируют также в корнях дикого растения Даурии *S. baicalensis* и в их корневой культуре, за исключением вербаскозида. Обилие вербаскозида в корнях *S. przewalskii*, вероятно, способствует поддержанию устойчивости клеток в условиях водной среды культуральной жидкости. С учетом экологических условий обитания вида — почв горных склонов, потенциально подверженных переувлажнению вследствие таяния ледников, можно ожидать, что в корнях интактных растений будет накапливаться как вербаскозид, так и метилированные флавоны, обеспечивающие дополнительную гидрофобную защиту тканей. Таким образом, исследования культур корневых волосков как продуцентов вторичных фенольных метаболитов и как экспериментальных моделей для анализа путей растительного биосинтеза создают предпосылки как для углубления знаний в области физиологии растений, так и для разработки прикладных биотехнологических подходов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Shang X., He X., He X., et al. The genus *Scutellaria* an ethnopharmacological and phytochemical review. *J. Ethnopharmacol.* 2010. Vol. 128. No. 2. P. 279–313. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.01.006>
2. Zhao Q., Yang J., Cui M., et al. The Reference genome Sequence of *Scutellaria baicalensis* provides insights into the evolution of wogonin biosynthesis. *Mol. Plant.* 2019. Vol. 12. No. 7. P. 935–950. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2019.04.002>
3. Qiao X., Li R., Song W., et al. A targeted strategy to analyze untargeted mass spectral data: Rapid chemical profiling of *Scutellaria baicalensis* using ultra-high performance liquid chromatography coupled with hybrid quadrupole orbitrap mass spectrometry and key ion filtering. *J. Chrom. A.* 2016. Vol. 1441. P. 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.02.079>
4. Pei T., Yan M., Huang Y., et al. Specific flavonoids and their biosynthetic pathway in *Scutellaria baicalensis*. *Front. Plant Sci.* 2022. Vol. 13. P. e866282. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.866282>
5. Hu L., Liu J., Zhang W., et al. Functional metabolomics decipher biochemical functions and associated mechanisms underlie small-molecule metabolism. *Mass Spectrom.* 2020. Vol. 39. No. 5–6. P. 417–433. <https://doi.org/10.1002/mas.21611>
6. Fu Q., Tong C., Guo Y., et al. Flavonoid aglycone-oriented data-mining in high-performance liquid chromatography–quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry: efficient and targeted profiling of flavonoids in *Scutellaria barbata*. *Anal. Bioanal. Chem.* 2020. Vol. 412. P. 321–333. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-02238-7>

7. Zheng M., Fang Y., Zhao Q. Comparative analysis of flavones from six commonly used *Scutellaria* species. *Med. Plant Bio.* 2023. Vol. 2. P. e12. <https://doi.org/10.48130/MPB-2023-0012>
8. Elkin Yu.N., Manyakhin A. Yu., Stepanova A. Yu. *Scutellaria baicalensis* Georgi: Projection of root metabolome on hairy root culture. *Russ. J. Plant Physiol.* 2023. Vol. 70. P. e171. <https://doi.org/10.1134/S1021443723603166>
9. Denikeeva M.F., Litvinenko V.I., Borodin L.I. Flavonoids comhounds of *Scutellaria przewalskii*. *Chem. Nat. Comp.* 1970. Vol. 6. P. 552–555. <https://doi.org/10.1007/BF00563438>
10. Stepanova A.Y., Solov'eva A.I., Malunova M.V., et al. Hairy roots *Scutellaria* spp. (Lamiaceae) as promising producers of antiviral flavones. *Molecules.* 2021. Vol. 26. No. 13. P. e3927. <https://doi.org/10.3390/molecules26133927>
11. Elkin Y.N., Manyakhin A.Y. The Phenolic Segment of the Metabolome of the Roots of *Scutellaria lateriflora*. *Biol. Bull.* 2025. Vol. 52. P. e3. <https://doi.org/10.1134/S1062359024608620>
12. Elkin Y.N., Stepanova A.Y., Pshenichnyuk S.A., Manyakhin A.Y. Root specific methylated flavones protect of *Scutellaria baicalensis*. *Khim. Rast. Syr'ja.* 2023. No. 4. P. 241–248. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230411877>
13. Marsh Z., Yang T., Nopo-Olazabal L., et al. Effect of light, methyl jasmonate and cyclodextrin on production of phenolic compounds in hairy root cultures of *Scutellaria lateriflora*. *Phytochem.* 2014. Vol. 107. P. 50–60. <https://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.08.020>
14. Yang Y., Xi D., Wu Y., Liu T. Complete biosynthesis of the phenylethanoid glycoside verbascoside. *Plant Comm.* 2023. Vol. 4. No. 4. P. e100592. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100592>
15. Elkin Y.N., Manyakhin A.Y., Stepanova A.Y. Polyphenolic metabolites of *Scutellaria lateriflora* hairy root culture. *Chem. Methodol.* 2025. Vol. 9. No. 9. P. 751–757. <https://doi.org/10.48309/chemm.2025.517133.1947>

*Сведения об авторах*

Елькин Юрий Николаевич — канд. хим. наук, старший научный сотрудник ФГБУН Тихоокеанского института биорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация,  
e-mail: yurielkin@list.ru,  
<https://orcid.org/0000-0003-2825-2704>

Степанова Анна Юрьевна — канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Российская Федерация,  
e-mail: step\_ann@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0002-0745-2611>

Маняхин Артем Юрьевич — канд. биол. наук, старший научный сотрудник ФГБУН Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация,  
e-mail: mau84@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0002-0682-2801>

Поступила в редакцию 20.04.2026  
После доработки 21.05.2026  
Принята к публикации 21.05.2026

*About the authors*

Elkin, Yuri N. — PhD in Chemistry, Senior Researcher Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation,  
e-mail: yurielkin@list.ru,  
<https://orcid.org/0000-0003-2825-2704>

Stepanova, Anna Yu. — PhD in Biology, Leading Researcher, Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russian Federation,  
e-mail: step\_ann@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0002-0745-2611>

Manyakhin, Artem Yu. — PhD in Biology, Senior Researcher, Federal scientific center of the East Asia terrestrial biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation,  
e-mail: mau84@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0002-0682-2801>

Received April 20, 2026  
Revised May 21, 2026  
Accepted May 21, 2026