

## **SCUTELLARIA LATERIFLORA: ПОЛИФЕНОЛЬНЫЙ СЕГМЕНТ МЕТАБОЛОМА НАДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ<sup>1</sup>**

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

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

<sup>2</sup>*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,  
Владивосток, Российская Федерация*

*\*E-mail: mau84@mail.ru*

Данное исследование является продолжением изучения фенольного сегмента метаболома *Scutellaria lateriflora*. В работе представлена структурно-классовая характеристика и анализ распределения полифенольных метаболитов, различающихся по степени метилирования и гликозилирования, в надземной части *S. lateriflora*, интродуцированного в условиях юга Приморского края. Анализ показал, что *S. lateriflora* преимущественно накапливает неметилированные гликозиды, такие как байкалеин, а также метилированные флавоны, включая вогонин и 6-ОМе-вогонин. Фенилэтанол вербаскозид (каффеоил-рутинозид дигидрокситирозол), который в изобилии присутствует в корнях растения, был обнаружен в надземной части *S. lateriflora* в значительно меньших количествах по сравнению с флавоноидами.

*Ключевые слова:* *Scutellaria lateriflora*, вегетативные органы, полифенолы, ВЭЖХ–МС/МС.

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

*Соблюдение этических стандартов.* В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

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

*Вклад авторов в публикацию.* Каждый из авторов внес равнозначный вклад в работу.

*Ссылка цитирования:* Елькин Ю.Н., Маняхин А.Ю. *Scutellaria lateriflora*: полифенольный сегмент метаболома надземных органов // Известия Российской академии наук. Серия биологическая / Biology Bulletin. № 1. С. 26–33. <https://doi.org/10.7868/S3034536726010039>

## ***Scutellaria lateriflora*: polyphenolic segment of metabolome of aerial organs**

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

<sup>1</sup>*G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, Russian Federation*

<sup>2</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*

This study is a continuation of the investigation of the phenolic segment of the *Scutellaria lateriflora* metabolome, previously focused on the plant's root system. The work presents the structural-class characterization and analysis of the distribution of polyphenolic metabolites, differing in the degree of methylation and glycosylation, in the aerial part of *S. lateriflora* introduced in the southern Primorsky

<sup>1</sup> Дополнительные материалы доступны в электронном виде по DOI статьи: 10.7868/S3034536726010039

© Елькин Ю.Н., Маняхин А.Ю., 2026

© Elkin Yu.N., Manyakhin A.Yu., 2026

Krai region. The analysis showed that *S. lateriflora* predominantly accumulates non-methylated glycosides, such as baicalein, as well as methylated flavones, including wogonin and 6-O-methylwogonin. The phenylethanoid verbascoside (caffeoyl-rutinoside dihydroxytyrosol), which is abundantly present in the plant roots, was detected in the aerial part of *S. lateriflora* in significantly lower quantities compared to flavonoids.

**Keywords.** *Scutellaria lateriflora*, vegetative organs, polyphenols, HPLC– MS/MS.

**Funding.** This work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (projects No. 124012200183–8, 075–00398–24–01).

**Ethics declarations.** This article does not contain any studies involving humans or animals as research subjects.

**Conflict of interest.** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Author contributions.** Each of the authors made an equal contribution to the work.

**For Citation:** Elkin Yu.N., Manyakhin A. Yu. *Scutellaria lateriflora*: polyphenolic segment of metabolome of aerial organs. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya / Biology Bulletin*. no. 1, pp. 26–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034536726010039>

## ВВЕДЕНИЕ

Жизнь растений по обе стороны границы почвы и атмосферы обусловила их устойчивость и пластичность в условиях климатических колебаний. Постоянно меняющиеся угрозы в двух различных средах обитания, воздействуя на физиологию и морфологию растений, способствовали формированию механизма химической защиты на основе низкомолекулярных метаболитов. Среди последних полифенолы (ПФ) растений рода *Scutellaria*, и в частности *S. lateriflora*, представляющие научно-практический интерес на протяжении долгого времени [7, 13]. Фенольные соединения упомянутых растений, преимущественно представленные флавонами, играют роль защитников от физико–химических и биологических повреждений, обеспечивая широкий адаптационный потенциал к климатическим изменениям и биоинвазии [12]. Благодаря наличию в их молекулах катехол (1,2-дигидроксибензол) и пирогаллол мотивов (1,2,3-тригидроксибензол), флавоны способствуют повышению толерантности растений к стрессам, индуцирующим выработку активных форм кислорода [5, 8, 10]. Растения, продуцирующие такие молекулы, часто относятся к категории лекарственных [11] или пряных [2] видов. Высокая реакционная способность подобных флавонов нивелируется растением путем метилирования одной или нескольких гидроксильных групп, что помогает предотвратить несвоевременную аутофагию – процесс, при котором клетки разрушают свои собственные компоненты [4, 5, 11]. В некоторых видах *Scutellaria* полифенольный сегмент метаболома корней наряду с флавонами, относящихся к классу фенилпропаноидов, представлен также классом фенилэтаноидов (ФЭ). Так, ранее было установлено, что в корнях и корневых волосках *S. baicalensis* основная доля полифенольных метаболитов приходится на фенилэтаноиды и флавоноиды, которые содержат от двух до пяти метоксильных групп [5, 6]. Среди флавоноидов *S. lateriflora* наиболее распространены вогонин, 6-О-метилвогонин и их гликозиды. Фенилэтаноиды представлены рядом каффеоил-рутинозидов дигидротирозола (КРД), причем их содержание сопоставимо с количеством флавоноидов [1].

На сегодняшний день существует ряд публикаций, отмечающих экспрессию генов, ответственных за синтез определенных полифенолов, в различных органах растений. Наиболее репрезентативными являются работы [9, 14], в которых изучалась экспрессия ключевых генов, ответственных за синтез полифенолов у близкородственного вида — шлемника байкальского (*S. baicalensis*) и непосредственно *S. lateriflora*. В ходе работы авторы выявили, что синтез скутеллярина, а также его предшественников (апигенина и нарингенина), локализован в надземных органах. При этом корни продуцируют значительные количества других характерных метаболитов, таких как вогонин, байкалин и их предшественников. Другим важным аспектом является возможность восходящего транспорта флавоноидов из корней к надземным органам, которая была продемонстрирована в модельных растениях, таких как *Arabidopsis thaliana*, с применением экзогенного введения фенольных метаболитов в корни и последующего обнаружения их в листьях [3]. Эти данные подтверждают гипотезу о перемещении флавоноидов через сосудистую систему растения. В этой связи представляет интерес сопоставление состава полифенольных метаболитов, идентифицированных в надземной части растения, с ранее установленным корневым метаболомом полифенольных соединений [1], а также предположить факторы, влияющие на транспорт в зависимости от условий произрастания и потребностей растительного организма.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Растения *S. lateriflora* были выращены из семян (Prairie moon, США) в условиях южного Приморья, Надеждинский район. Вегетация растения проходила в естественных климатических условиях без внесения дополнительных питательных веществ. В фазе начала цветения собиралась верхняя треть растений, которая затем высушивалась воздушно-теньевым методом и измельчалась до фракции 1–2 мм. Для дальнейшего исследования 5 г растительного материала были разделены на равные части и экстрагировались тремя способами в соотношении сырье:экстракт

1:10. Дихлорметановый (ДХМ) и 70% этанольный экстракты получали путем мацерации в течение 7 суток с ежедневным перемешиванием. Водный экстракт был получен путем экстракции на водяной бане в течение 12 часов при 50°C. ДХМ экстракт упаривали досуха и перерастворяли в 96% этаноле. Перед ВЭЖХ–МС/МС анализом экстракты центрифугировали 3 мин при 15000 об/м и фильтровали через PTFE фильтр (Phenomenex, размер пор 0.45 мкм, диаметр 13 мм). Выбор условий экстракции был обусловлен опытом работы с данным объектом, показывающий отсутствие деградации анализируемых метаболитов при описанных условиях, экстракция производилась в ночное время.

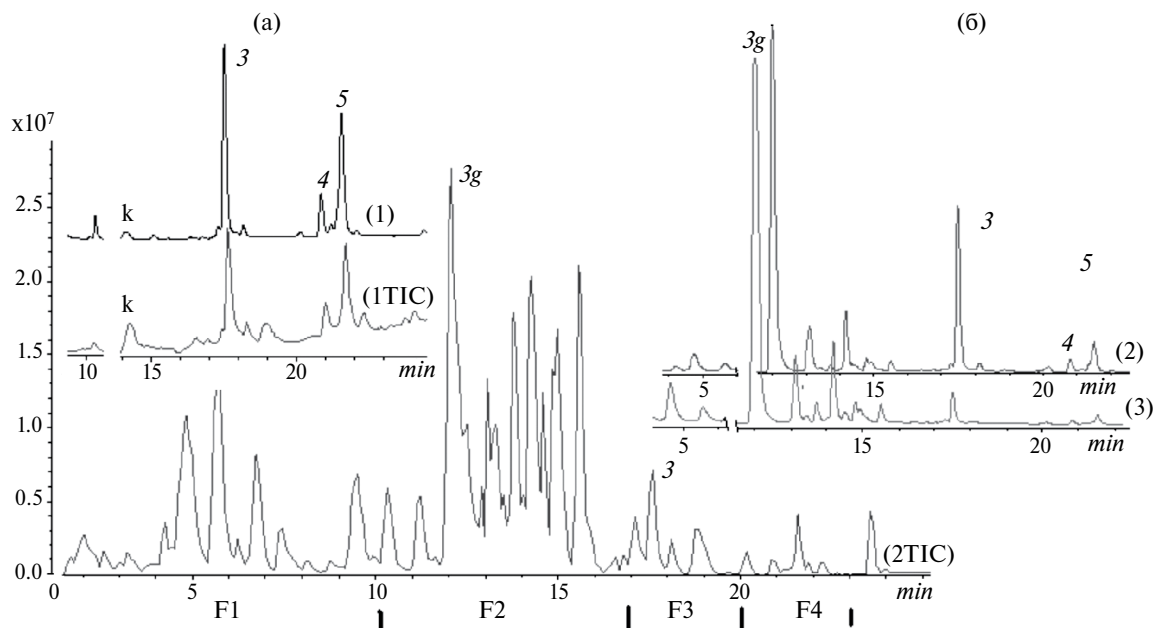
ВЭЖХ–МС-анализы экстрактов *S. lateriflora* были проведены в центре коллективного пользования “Биотехнология и генетическая инженерия” Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН. Условия и параметры использованной ВЭЖХ–МС/МС системы описаны в предшествующем исследовании полифенольного метаболома корней этого растения [1]. Кратко, хроматографическое разделение выполнялось на аналитической колонке (Zorbax C18, 150 mm, i.d 2.1 mm, 3.5 μm part size, Agilent Technologies, USA) при градиентном элюировании 0.1% водным раствором муравьиной кислоты и ацетонитрила. Хроматографическая система была сопряжена с масс-спектрометром (Bruker HCT ultra PTM Discovery System, Bruker Daltonik GmbH, Bremen,

Germany), оснащенным электроспреем ионизирующим источником (ESI). МС-анализы проводились в режиме регистрации отрицательных ионов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ароматическая природа молекул полифенолов позволяет селективно обнаружить их в сложных растительных экстрактах в УФ диапазоне при 275 нм. На вставках (а) и (б) (рис. 1) показаны ВЭЖХ–УФ профили трех экстрактов растения: дихлорметанового (1), водно–спиртового (2) и водного (3). Профили ВЭЖХ–УФ демонстрируют несложный состав наиболее обильных ПФ соединений надземной части растения. Поскольку ПФ корней *S. lateriflora* [1] и его генетически близкого родственника *S. baicalensis* [6, 11] известны, ряд хроматографических пиков идентифицированы по времени удерживания, расшифровка масс–спектрометрических сигналов велась исходя из литературных данных. Полный перечень идентифицированных фенольных метаболитов, включая значения  $[M-H]^-$ , характерные ионы  $MS^2$ , время удерживания и органную локализацию, представлен в Приложении (табл. 1).

Интересный результат экстракции надземной части растения дихлорметаном демонстрируют ВЭЖХ–УФ и профиль полного ионного тока (ПИТ) (рис. 1, вставка (а)). Наличие двух пиков соединений (к) и (3) в обоих профилях свидетельствует об ароматической природе этих молекул, в то же время содержащих



**Рис. 1.** Профиль хроматограмм экстрактов: (2ПИТ) – полного ионного тока 70% этанольного экстракта надземной части *S. lateriflora*. Вставка (а): (1) УФ и (1ПИТ) полного ионного тока дихлорметанового экстракта. Вставка (б): (2) УФ 70% этанольного экстракта, (3) УФ водного экстракта, 3г – 7-D-глюкуроновая кислота-5,6-дигидроксифлавоны (байкалин). (к) – неизвестное соединение. (3) – 5,6,7-три-ОН флавоны (байкалеин), (4) – 5,7-дигидрокси-8-ОМe флавоны (вогонин); (5) – 5,8-ди-ОН-6-ОМe флавоны (ороксилин А). Ф1–Ф4 – условные фракции хроматограммы экстракта.

**Fig. 1.** Chromatogram profiles of the extracts: (TIC-2) total ion current of the 70% ethanol extract of the aerial part of *S. lateriflora*. Inset (a): (1) UV and (TIC-1) total ion current of the dichloromethane extract. Inset (b): (2) UV of the 70% ethanol extract, (3) UV of the aqueous extract; 3g – 7-D-glucuronic acid-5,6-dihydroxyflavone (baicalin). (k) – unknown compound. (3) – 5,6,7-tri-OH flavone (baicalein), (4) – 5,7-dihydroxy-8-OMe flavone (wogonin), (5) – 5,8-di-OH-6-OMe flavone (oroxylin A). F1–F4 – tentative chromatographic fractions of the extract.

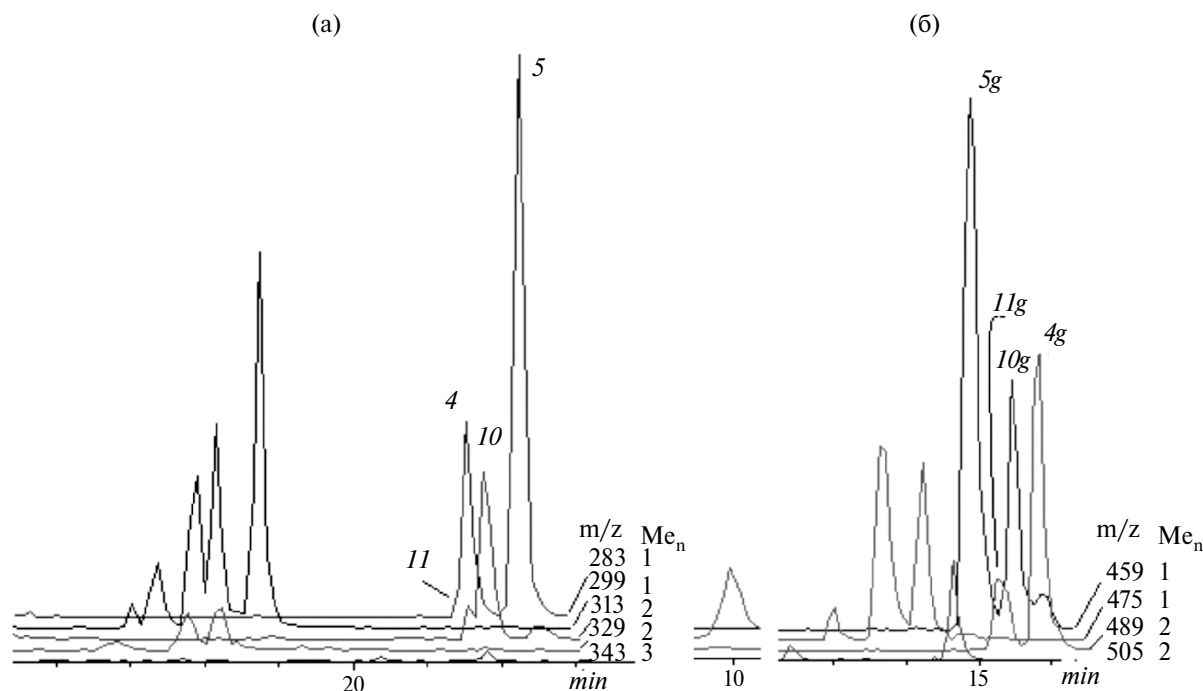
-ОН и/или -COOH группу. Родительский ион с  $m/z$  301 в масс-спектре указывает на молекулярный вес соединения (к) 302 Да (Приложение С1). Продукты его соударительной фрагментации демонстрируют наличие в молекуле неполярного остова массой 122 Да, ацилированного кофейной кислотой. Ее наличие в молекуле соединения (к) характеризует карбоксилат анион с  $m/z$  179 в  $m/z$  спектре (к). Пик соединения (3) на 17.7 мин обоих профилях соответствует соединению с ионом  $m/z$  269, чей  $m/z$  спектр характерен для байкалеина (3) (Приложение С3). Экстракция неполярным дихлорметаном (ДХМ) двух полярных соединений — (к) и (3), содержащих катехол и пирогаллол мотивы в структуре молекул соответственно, требует дальнейшего изучения и объяснения.

Полный ионный ток (2ПИТ) водно-спиртового извлечения (рис.1) демонстрирует многообразие продуктов экстракции, однако он не передает в полной мере сложность состава соединений надземной части растения, отмечаемую на ионных хроматограммах (ИХ) с  $m/z$  спектрами, и интегральных масс-спектрах условных фракций экстракта (Приложение С2–С5). Хроматографическое распределение соединений в соответствии с их полярностью, масс-спектрами и уже имеющийся опыт дифференциального анализа метаболитов растений рода *Scutellaria* [1, 4, 6] позволили провести определение ПФ водно-спиртового экстракта надземной части *S. lateriflora*. Так, 2ПИТ профиль условно разделен на 4 фракции (Ф): 1 – углеводы, 2 – гликозиды флавонов, 3 – метилированные флавоны и 4 – метилированные флавоны (рис. 1).

Метилированные флавоны (МФ) представлены вогонином (4) и ороксилином А (5) с преобладанием последнего (рис. 2а). Тогда как в корнях их содержание

имеет обратное соотношение [1]. Условно взяв пик байкалеина (3) за эталон, видно, что относительно него наиболее эффективно МФ извлекаются ДХМ, их присутствие в водном экстракте ожидаемо существенно меньше (рис. 1, вставка (б) профиль (3)). Водно-спиртовый (2) и водный (3) экстракты демонстрируют в УФ профилях сходство в составе соединений.

Профили ионных хроматограмм (ИХ) МФ (рис. 2а), на первый взгляд, подтверждают видоспецифичный характер метилирования по гидроксильной группе у С6 атома флавонов, обнаруженный в корнях растения [1]. Однако учитывая установленные различия в содержании ПФ между органами, а также литературные данные о возможном транспорте флавоноидов [3], не исключается участие механизмов перемещения этих соединений от корней к надземной части как одного из факторов, дополняющих тканеспецифичную экспрессию. Флавоны с одной метильной группой (4) и (5) поднимаются из корней в надземную часть растения с преобладанием ороксилина А (5), у которого ОМе группа расположена также у С6 атома. Это наблюдение справедливо и для диметокси флавонов (10) и (11), где показано преобладание 6-ОМе вогонина (11). Продукты второго эшелона гидроксирования углеродных атомов кольца В молекул флавонов (4) и (5), за исключением атома С4', представлены на ИХ характерной группой пиков ионов с  $m/z$  299. Соотношение охарактеризованных выше метилированных производных сохраняется и в их гликозидах (рис. 2б). Благодаря СОО<sup>-</sup> группе глюкуроновой кислоты гликозидов, в надземную часть заметно поступление не только моно-ОМе флавонов ( $m/z$  459), но и ди-ОМе флавонов ( $m/z$  489,  $m/z$  505).



**Рис. 2.** Ионные хроматограммы наиболее обильных метилированных флавонов (а) и гликозидов (б), 11 – 5,8-ди-ОН-5,7-ди-ОМе флавоны, 4 – вогонин, 10 – 5,7-ди-ОН-6,8-ди-ОМе флавоны, 5 – ороксилин А, г – гликозид.

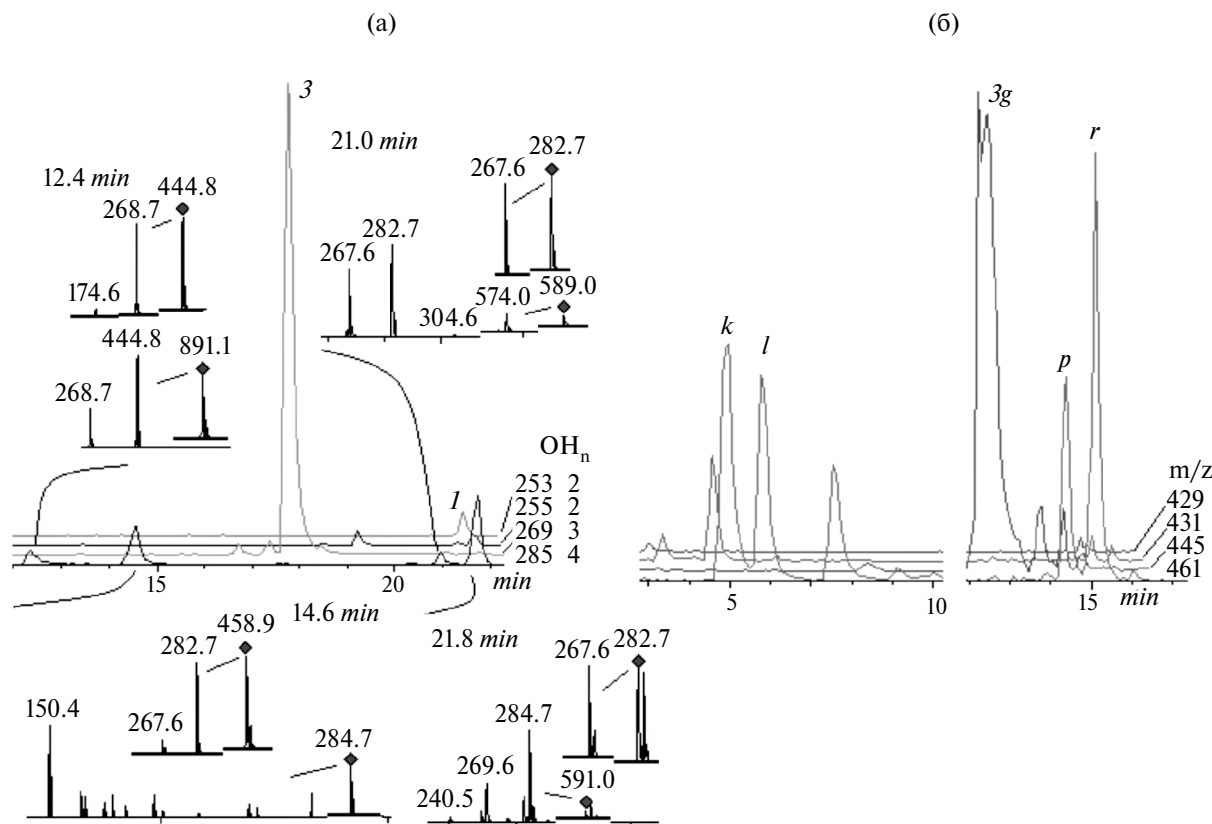
**Fig. 2.** Ion chromatograms of the most abundant methylated flavones (a) and glycosides (b). 11 – 5,8-di-OH-5,7-di-O-Me flavone; 4 – wogonin; 10 – 5,7-di-OH-6,8-di-O-Me flavone; 5 – oroxylin A; (g) – glycoside.

Неметилированные флавоны, продукты род специфического 6- и 8-гидроксилирования хризина (1), представлены практически одним байкалеином (3) – как видно из профиля ИХ ионов  $m/z$  445, (рис. 3а). Пики ИХ с  $m/z$  285, по номинальной массе соответствуют тетра-ОН флавонам, однако их  $m/z$  спектры свидетельствуют о соединениях иной природы. Например, низкоэффективный пик на 12.4 мин – байкалеин (3), тогда как вещество элюируется на 17.7 минуте. Причина этого в частичном ионно-фазном гидролизе в источнике ионизации обильного гликозида байкалина и его димера, ион  $m/z$  891. Пик при 14.6 мин соответствует ион  $m/z$  285, но в паре с обильным ионом  $m/z$  459 гликозида ороксилина А (5г), что позволяет отнести его к агликону флаванон-ороксилина А [1], в силу типичной флаванонам обильной фрагментации. Пики на 21.0 и 21.8 мин также связаны с флаванонами, идя следом плечом за флаванонами (4) и (5) и отчасти с  $^{13}\text{C}$  изотопными молекулами.

Ионные хроматограммы гликозидов неметилированных флавонов демонстрируют аналогичную картину также с явным преобладанием байкалина (3г), пик  $m/z$  445, (рис. 3б). Однако форма диффузного дублета пика ставит вопрос о причине ее возникновения. Скрининг  $m/z$  спектров по контуру пика ИХ  $m/z$  445 свидетельствует о совместном элюировании байкалина (3г) с дисахаридом,

предположительно, стерина с молекулярным весом 582 Да, элюируемым следом на 12.6 мин (Приложение С4). Аргументом в пользу не ароматической природы агликона дисахарида является симметричная форма пика байкалина (3г) ВЭЖХ–УФ (2), (рис. 1, вставка (б)). Пики (л) и (к) на профиле ионов  $m/z$  461, судя по  $m/z$  спектрам и временам удерживания, следует относить к группе гликозидов тетра-ОН флавонов второго эшелона гидроксилирования (Приложение С5). Сами флавоны, предположительно, дают очень слабые ионные сигналы  $m/z$  269 показанные на ИХ до и после пика байкалеина (3), (рис 3а). Пики ионов  $m/z$  461 (п) и (р) обусловлены флавонон-спутниками и отчасти  $^{13}\text{C}$  изотопными молекулами гликозида ороксилина А (5г) и вогонина (4г). Ион  $m/z$  461 на 7.7 мин, судя по  $m/z$  спектру, имеет другую природу (Приложение С5). Итоговую картину спектра элюируемых флавоноидов надземной части *S. lateriflora* наглядно иллюстрирует интегральный масс-спектр (рис. 4). В сумме их гликозиды доминируют над самими флавоно-агликонами, однако доля последних остается достаточно заметной и вопрос об особенностях транспорта водой из корней слабо полярных метилированных флавонов остается открытым.

Ожидалось, что в силу растворимости в воде, вербаскозид, найденный ранее в значительном количестве среди ПФ корней, также будет преобладать

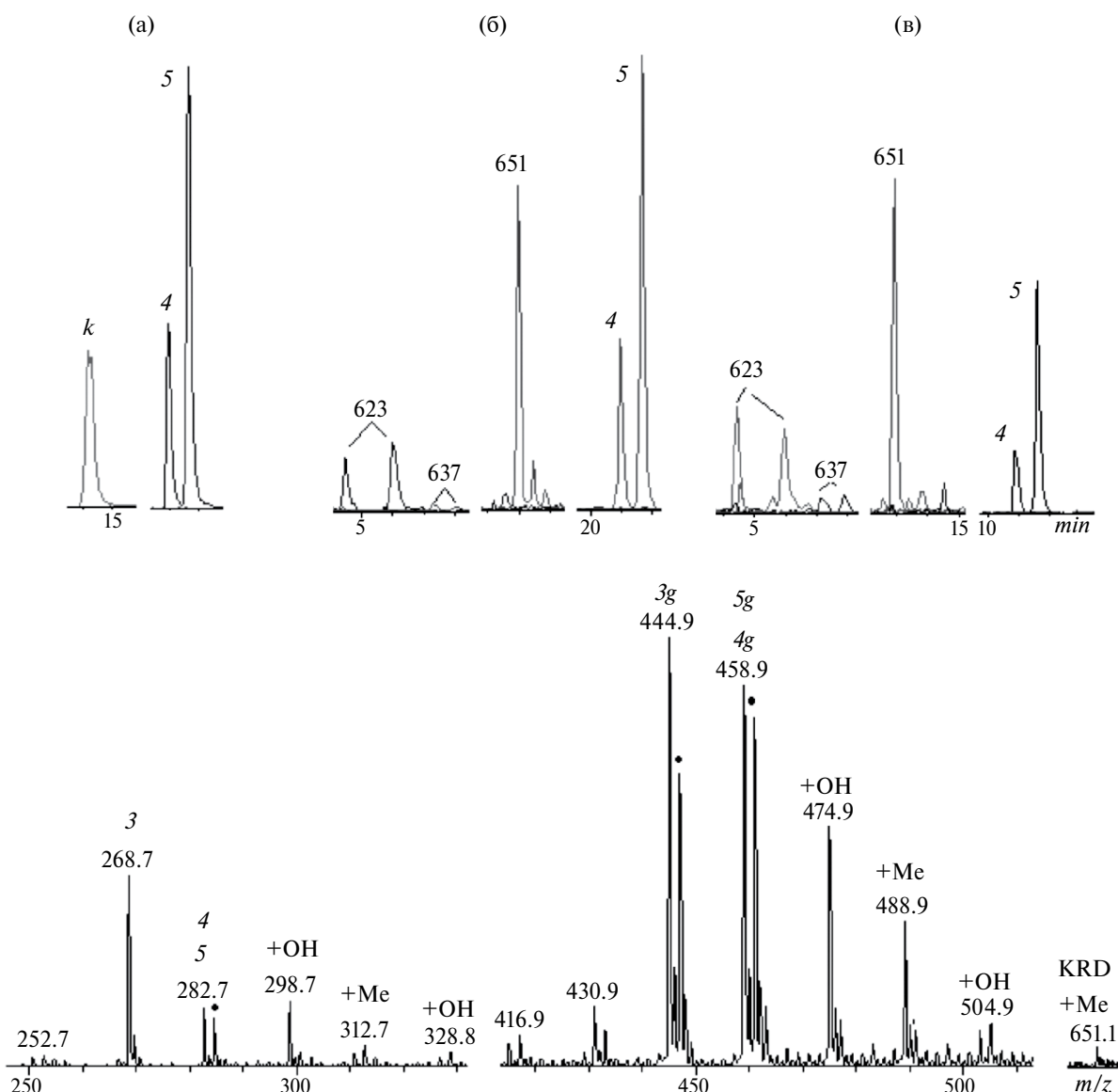


**Рис. 3.** Ионные хроматограммы неметилированных флавонов (а) и их гликозидов (б), 3 – байкалеин, 1 – хризин, к, л – гликозиды тетра-ОН флавонов, 3г – байкалин, п –  $^{13}\text{C}$  изотопный пик гликозида ороксилина А, р – форма гликозида флавонон-вогонина (4ог).

**Fig. 3.** Ion chromatograms of unmethylated flavones (a) and their glycosides (b), 3 – baicalin; 1 – chrysin; (k,l) – glycosides of tetra-OH flavones; 3g – baicalin; (p) –  $^{13}\text{C}$  isotope peak of the oroxylin A glycoside; (r) – glycoside form of the flavanone-wogonin (4og).

и в надземной части растения [15], однако в интегральном масс-спектре фракции 1 (Приложение С5) ионов  $[M-H]^-$   $m/z$  623 не найдено. В корнях растения кроме самих КРД, продуцируется спектр их производных: метилированных, ацетилированных и гликозилированных, с преобладанием ди-О-Ме эфиров, ион  $m/z$  651 [1]. Используя селективные ионные хроматограммы изомеров КРД трех экстрактов надземной части растения, показано присутствие в небольшом количестве двух их изомеров, а также заметное содержание ди-О-Ме эфиров, ион

$m/z$  651, (рис. 4, вставки (б) и (в)). Интересным представляется сопоставимое содержание изомеров КРД. Изо-вербасказид – ион  $m/z$  623 на 6 мин (ацилирован по С-6 атому глюкозы кофейной кислотой) имеет сопоставимое содержание с вербаскозидом. В корнях доля изомера в несколько раз меньше. Является ли это наблюдение эффектом изменения структуры молекулы, остается не ясным. Более интересным является причина, по которой полярный растворимый в воде вербаскозид не поднимается из корней в надземную часть растения.



**Рис. 4.** Интегральный масс-спектр полифенолов водно-спиртового экстракта надземной части *S. lateriflora*. Сектор  $m/z$  250–330: неметилированные и сектор  $m/z$  420–510 метилированные гликозиды флавонов, КРД – ион  $m/z$  651 ди-О-Ме вербаскозида. (•) – ионы с заметной долей флавононов. +ОН и +ОМе ионы последующего окисления и метилирования флавонов (3), (4) и (5). Вставки: 2D– ионные хроматограммы фенолэтаноидов (номинальные массы ионов  $[M-H]^-$  623, 637, 651) с ЖХ-УФ пиками соединений (к), (4), (5) в экстрактах надземной части *S. lateriflora*: (а) дихлорметан, (б) 70% этиловый спирт, (в) вода.

**Fig. 4.** Integral mass spectrum of polyphenols of the aqueous–ethanolic extract of the aerial part of *S. lateriflora*. Sector  $m/z$  250–330: unmetylated flavones; sector  $m/z$  420–510: methylated flavone glycosides; КРД – ion  $m/z$  651 of the di-О-Ме verbascoside. (•) – ions with a noticeable proportion of flavanones. +ОН and +ОМе ions represent subsequent oxidation and methylation products of flavones (3), (4), and (5). Insets: 2D ion chromatograms of phenylethanoids (nominal  $[M-H]^-$  ions 623, 637, 651) with HPLC-UV peaks of compounds (k), (4), (5) from extracts of the aerial part of *S. lateriflora*: (a) dichloromethane, (b) 70% ethanol, (c) water.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дифференциальная оценка полифенольных метаболитов вегетативной части растения *S. lateriflora* по типам производных показывает высокое содержание неметилированных гликозидов (байкалеин) и метилированных (вогонин и 6-ОМе вогонин) флавонов. Потребность растения в байкалеине может быть связана с необходимостью неотложно противостоять опасности биоинвазии. Метилированные флавоны выполняют как минимум двойную функцию, создание гидрофобного барьера и стабилизацию крайне реакционноспособных катехольных и пирогаллольных фрагментов молекул флавоноидов до момента, когда их активность станет необходимой для защиты растения от повреждающих факторов. Среди множества производных фенолэтаноидов, водорастворимые вербаскозиды, обнаруживаются в надземных частях растений в меньших концентрациях по сравнению с флавоноидами. Причины такого

распределения еще не вполне ясны с точки зрения физиологии растений, учитывая, что в корневой системе вербаскозиды представлены в значительном количестве. Полученные данные подтверждают, что распределение полифенольных метаболитов у *S. lateriflora* определяется как органоспецифичным синтезом, так и вероятным транспортом метаболитов, что согласуется с ранее опубликованными данными для этого и родственных видов. Характерный состав метаболитов надземных органов, включая преобладание 6-ОМе флавонов, вероятно, отражает активность специфических О-метилтрансфераз, функционирующих преимущественно в данной ткани. Полученные результаты дают основание предположить, что состав полифенольных метаболитов *S. lateriflora*, интродуцированной в южном Приморье, может отражать влияние региональных условий на регуляцию транспорта и локального синтеза флавоноидов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елькин Ю.Н., Маняхин А.Ю. Фенольный сегмент метаболома корня *Scutellaria lateriflora*. Изв. РАН. Сер. биол., 2025, том, 52, № 1, сс. 24–34. <https://doi.org/10.31857/S1026347025010033>
2. Bolton J.L., Dunlap T.L., Dietz B.M. Formation and biological targets of botanical o-quinones. Food Chem. Tox., 2018, vol., 120, Pp. 700–707. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.050>
3. Buer C.S., Muday G.K., Djordjevic M.A. Flavonoids are differentially taken up and transported long distances in Arabidopsis. Plant Physiol., 2007, vol., 145(2), Pp. 478–490. <https://doi.org/10.1104/pp.107.101824>
4. Elkin Y.N., Kulesh N.I., Stepanova A.Y. et al. Methylated flavones of the hairy root culture *Scutellaria baicalensis*. J. Plant Phys., 2018, vol., 231, Pp. 277–280. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.10.009>
5. Elkin Y.N., Stepanova A.Y., Pshenichnyuk S.A. et al. Root specific methylated flavones protect of *Scutellaria baicalensis*. Khim. Rast. Syr'ja, 2023, № 4, Pp. 241–248. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230411877>
6. Elkin Y.N., Manyakhin, A.Y., Stepanova, A. Y. *Scutellaria baicalensis* Georgi: projection of root metabolome on hairy root culture. Russ. J. Plant. Physiol., 2023, vol., 70, 171. <https://doi.org/10.1134/S1021443723603166>
7. Li J., Wang Y.H., Smillie T.J. et al. Identification of phenolic compounds from *Scutellaria lateriflora* by liquid chromatography with ultraviolet photodiode array and electrospray ionization tandem mass spectrometry. J. Pharm. Biomed. Anal., 2012, vol., 63, Pp. 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.01.027>
8. Modelli A., Pshenichnyuk S.A. Gas–phase dissociative electron attachment to flavonoids and possible similarities to their metabolic pathways. Phys. Chem. Chem. Phys., 2013, vol., 15, Pp. 1588–1600. <https://doi.org/10.1039/C2CP43379F>
9. Pei T, Yan M, Huang Y. et al. Specific flavonoids and their biosynthetic pathway in *Scutellaria baicalensis*. Front. Plant Sci., 2022, vol., 13, P. 866282. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.866282>
10. Pshenichnyuk S.A., Elkin Y.N., Kulesh N.I. et al. Low–energy electron interaction with retusin extracted from *Maackia amurensis*: towards a molecular mechanism of the biological activity of flavonoids. Phys. Chem. Chem. Phys., 2015, vol., 17, Pp. 16805–16812. <https://doi.org/10.1039/C5CP02890F>
11. 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, Pp. 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.02.079>
12. Salam U., Ullah S., Tang Z.H. et al. Plant metabolomics: An overview of the role of primary and secondary metabolites against different environmental stress factors. Life, 2023, vol., 13, p. 706. <https://doi.org/10.3390/life13030706>
13. Sherman S.H., Joshee N. Current status of research on medicinal plant *Scutellaria lateriflora*: A review. Journal of medicinally active plants, 2022, vol., 11(1), Pp. 22–38. <https://doi.org/10.7275/shxv-wb39>
14. Tuan P.A., Kim Y.S., Kim Y. et al. Molecular characterization of flavonoid biosynthetic genes and accumulation of baicalin, baicalein, and wogonin in plant and hairy root of *Scutellaria lateriflora*. Saudi J. Biol., 2018, vol., 25(8), Pp. 1639–1647. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.08.011>
15. Yang Y., Xi, D., Wu Y. et al. Complete biosynthesis of the phenylethanoid glycoside verbascoside. Plant Comm., 2023, vol., 4(4), Pp. 100592. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100592>

## REFERENCES

1. Elkin Yu.N., Manyakhin A. Yu. Phenolic segment of the metabolome of the root of *Scutellaria lateriflora*. *Izv. RAN. Ser. Biol.*, 2025, vol., 52, N., 1, Pp. 24–34. (In Russ). <https://doi.org/10.31857/S1026347025010033>
2. Bolton J.L., Dunlap T.L., Dietz B.M. Formation and biological targets of botanical o-quinones. *Food Chem. Tox.*, 2018, vol., 120, Pp. 700–707. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.050>
3. Buer C.S., Muday G.K., Djordjevic M.A. Flavonoids are differentially taken up and transported long distances in Arabidopsis. *Plant Physiol.*, 2007, vol., 145(2), Pp. 478–490. <https://doi.org/10.1104/pp.107.101824>
4. Elkin Y.N., Kulesh N.I., Stepanova A.Y. et al. Methylated flavones of the hairy root culture *Scutellaria baicalensis*. *J. Plant Phys.*, 2018, vol., 231, Pp. 277–280. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.10.009>
5. Elkin Y.N., Stepanova A.Y., Pshenichnyuk S.A. et al. Root specific methylated flavones protect of *Scutellaria baicalensis*. *Khim. Rast. Syr'ja*, 2023, № 4, Pp. 241–248. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230411877>
6. Elkin Y.N., Manyakhin, A.Y., Stepanova, A. Y. *Scutellaria baicalensis* Georgi: projection of root metabolome on hairy root culture. *Russ. J. Plant. Physiol.*, 2023, vol., 70, 171. <https://doi.org/10.1134/S1021443723603166>
7. Li J., Wang Y.H., Smillie T.J. et al. Identification of phenolic compounds from *Scutellaria lateriflora* by liquid chromatography with ultraviolet photodiode array and electrospray ionization tandem mass spectrometry. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 2012, vol., 63, Pp. 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.01.027>
8. Modelli A., Pshenichnyuk S.A. Gas–phase dissociative electron attachment to flavonoids and possible similarities to their metabolic pathways. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2013, vol., 15, Pp. 1588–1600. <https://doi.org/10.1039/C2CP43379F>
9. Pei T, Yan M, Huang Y. et al. Specific flavonoids and their biosynthetic pathway in *Scutellaria baicalensis*. *Front. Plant Sci.*, 2022, vol., 13, P. 866282. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.866282>
10. Pshenichnyuk S.A., Elkin Y.N., Kulesh N.I. et al. Low-energy electron interaction with retusin extracted from *Maackia amurensis*: towards a molecular mechanism of the biological activity of flavonoids. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2015, vol., 17, Pp. 16805–16812. <https://doi.org/10.1039/C5CP02890F>
11. 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, Pp. 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.02.079>
12. Salam U., Ullah S., Tang Z.H. et al. Plant metabolomics: An overview of the role of primary and secondary metabolites against different environmental stress factors. *Life*, 2023, vol., 13, p. 706. <https://doi.org/10.3390/life13030706>
13. Sherman S.H., Joshee N. Current status of research on medicinal plant *Scutellaria lateriflora*: A review. *Journal of medicinally active plants*, 2022, vol., 11(1), Pp. 22–38. <https://doi.org/10.7275/shxv-wb39>
14. Tuan P.A., Kim Y.S., Kim Y. et al. Molecular characterization of flavonoid biosynthetic genes and accumulation of baicalin, baicalein, and wogonin in plant and hairy root of *Scutellaria lateriflora*. *Saudi J. Biol.*, 2018, vol., 25(8), Pp. 1639–1647. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.08.011>
15. Yang Y., Xi, D., Wu Y. et al. Complete biosynthesis of the phenylethanoid glycoside verbascoside. *Plant Comm.*, 2023, vol., 4(4), Pp. 100592. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100592>

## Сведения об авторах

Юрий Николаевич Елкин – старший научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г. Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация;  
E-mail: yurielkin@list.ru;  
<https://orcid.org/0000-0003-2825-2704>

Артём Юрьевич Маняхин – старший научный сотрудник лаборатории лекарственных растений 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>

## About the authors

Yuri Nikolaevich Elkin – Senior Researcher at the Laboratory of Physical and Chemical Research Methods, Pacific Institute of Bioorganic Chemistry FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation;  
E-mail: yurielkin@list.ru;  
<https://orcid.org/0000-0003-2825-2704>

Artem Yurievich Manyakhin – Senior Researcher at the Laboratory of Medicinal Plants, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation;  
E-mail: mau84@mail.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-0682-2801>

Поступила в редакцию 07.03.2025  
После доработки 21.09.2025  
Принята к публикации 21.09.2025

Received March 7, 2025  
Revised September 21, 2025  
Accepted September 21, 2025