

УДК 631.81.033

## МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ *PATRINIA SCABIOSIFOLIA* И *PATRINIA RUPESTRIS*

© *О.Г. Зорикова, А.Ю. Маняхин\**

*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, пр. 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022 (Россия), e-mail: mau84@mail.ru*

Антропогенная деятельность приводит к повышенному содержанию микроэлементов в ресурсах окружающей среды: воздухе, воде, земле и биоте. На аккумуляцию элементов влияют свойства элемента, характеристики окружающей среды, факторы организма-хозяина. Это обуславливает необходимость мониторинга растительного сырья, особенно в регионах, имеющих значительную сырьевую базу лекарственных растений, но активно подвергающимся антропогенному воздействию, к которым в настоящее время относится российский Дальний Восток. В статье приведены результаты изучения элементного состава растительного сырья патринии скальной и патринии скабиозолистной. Установлено, что сырье *P. rupestris* содержит 11–12 элементов, сырье *P. scabiosifolia* – 11–14 элементов в зависимости от района обитания, из них 8 эссенциальных, 4 условно эссенциальных. Однородный элементный состав травы и корней *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* отражает генетическую близость исследуемых видов. Для большинства элементов оба вида проявляют свойства умеренного накопления и сильного захвата. Mn, Cr, Ni сохраняют постоянство концентрации на протяжении ареала, как для *P. rupestris*, так и *P. scabiosifolia*. Отмечено фоллиарное поглощение Co, Vg для обоих видов, и Ba для *P. rupestris*. Для *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* в Приморье отмечается акропетальный тип накопления элементов, в материковых участках ареалов наблюдается обратная стратегия накопления элементов.

*Ключевые слова:* микроэлементы, аккумуляция, *Patrinia scabiosifolia*, *Patrinia rupestris*.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000120-9).*

### **Введение**

В настоящее время в связи с мощным воздействием антропогенного фактора актуальное значение имеет установление содержания элементов в сырье пищевых и лекарственных растений. Микроэлементы (МЭ) в естественной природе встречаются в формах, не доступных для живых организмов, и растения включают элементы в биогенный цикл.

Индивидуальный химический состав, избирательность в поглощении элементов, устойчивость к их избытку или недостатку в среде обитания растения приобрели в результате длительного эволюционного процесса. Ряд исследований показал, что специфичность аккумуляции химических элементов растениями фоновых автономных экосистем наиболее выражена на уровне жизненных форм – экобиоморф. Биогеохимическая специфика определяется региональными закономерностями биогенной миграции элементов, в свою очередь, обуславливая локальные фоновые концентрации элементов в растительности [1].

Почвенный покров Приморья сформирован при действии множества факторов, что определяет разнообразие естественных и антропогенных почвенно-геохимических свойств. Районирование по биогеохимическим зонам и провинциям относит Приморский край, как и Дальний Восток в целом, к провинции с

---

*Зорикова Ольга Геннадьевна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail dvogtslmp@mail.ru

*Маняхин Артем Юрьевич* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории, e-mail mau84@mail.ru

крайне неравномерным распределением элементов, когда соотношение и концентрации МЭ изменяются в широких пределах, проявляя как недостаточность, так и избыток [2].

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Система почва-растение является основным стартовым звеном цепочки, в котором формируется поток минеральных компонентов, потребляемый животными и человеком. Растения являются основным источником эссенциальных и условно-эссенциальных элементов, жизненно необходимых для функционирования организма. Поглощение и связывание МЭ растением происходит в следствие физических, химических, в том числе и многостадийных либо микробиологических модификаций, которые происходят как в почве, так и ризосфере, на поверхности раздела корня и почвы [3].

Значительна биологическая роль МЭ, они выступают как активаторы либо ингибиторы процессов роста и развития растений, влияют на процессы продуктивности, в частности, за счет участия в процессах фотосинтеза; активно связываясь с биологически активными субстратами – гормонами, витаминами, ферментами, выполняют роль ферментов и коферментов [4].

Загрязнение лекарственных растений токсичными металлами – широко распространенное явление. Согласно опубликованным данным, до 32% фитопрепаратов, поступивших на рынок из стран Юго-Восточной Азии, содержат незадекларированные токсичные металлы, в том числе свинец и ртуть в количествах, превышающих ПДК [5].

Исследуемые виды *Patrinia scabiosifolia* и *P. rupestris* принадлежат к семейству *Caprifoliaceae* (Жимолостные), подсемейству *Valerianoideae* (Валериановые). *P. scabiosifolia* – многолетний летнезеленый травянистый толсто-длиннокорневищный симподиально нарастающий поликарпик с полурозеточным прямостоячим побегом. *P. rupestris* – многолетний летнезеленый травянистый тонко-длиннокорневищный симподиально нарастающий поликарпик с полурозеточным прямостоячим побегом [6].

Род *Patrinia* имеет длительную историю применения в традиционной медицине Китая и в качестве овощного растения в кухне стран дальневосточной Азии. В последние годы увеличилось количество публикаций, посвященных исследованиям биологической активности экстрактов и соединений видов рода *Patrinia in vitro* и *in vivo*. Основными активными ингредиентами рода являются тритерпеноиды, сапонины, иридоиды, флавоноиды и лигнаны [7].

Так, известно применение *P. scabiosifolia*, *P. rupestris* и *P. speciosa* в качестве противоопухолевых трав в китайской медицине для лечения лейкемии, рака матки и шейки матки. В последнее время противоопухолевая активность видов рода *Patrinia* нашла подтверждение во многих исследованиях [8–11].

Известна и экспериментально подтверждена противовоспалительная, антибактериальная и антивирусная активность препаратов растений изучаемого рода, выявлен дозозависимый антиоксидантный эффект [11, 12].

При этом, как справедливо указывает в своем обзоре Х. Не с соавторами [7], не хватает исследований, посвященных стандартизации сырья. Исследований, раскрывающих элементную изменчивость сырья видов рода *Patrinia*, нами не обнаружено, хотя ареалы, занимаемые видами, в частности *P. scabiosifolia*, *P. rupestris*, достаточно обширны как в широтном, так и в долготном протяжении, охватывая зоны с различными рельефными, климатическими, эдафическими условиями.

Цель настоящей работы – изучить содержание элементов в почве обитания и их аккумуляцию сырьем *Patrinia scabiosifolia* Fish ex Link и *Patrinia rupestris* (Pall.) Dufur.

### **Экспериментальная часть**

Пробы почвы и растительного материала отбирали в естественных популяциях на территориях, удаленных от промышленных центров с незначительной антропогенной нагрузкой: Приморский край, 10 км на юго-восток от пос. Врангель, перевал к бухте Тазгоу (1); мыс Каменского, юго-восточный склон  $\approx 70^\circ$ , окрестности п. Врангель (2); Хабаровский край, 12 км на северо-запад от пос. Полярный (3); правый берег р. Амур, склон  $\approx 60\text{--}65^\circ$  (4); Амурская обл. 10 км от пос. Мухинка, правобережная часть долины р. Зея (5); Республика Бурятия, 12 км на юго-восток от пос. Мухоршибирь, правобережная часть долины р. Хилок, склон  $\approx 50^\circ$  (6).

В каждом пункте собирали корневую и надземную (трава) части исследуемых растений *Patrinia scabiosifolia* и *Patrinia rupestris*. Пробы отбирали в фазу полного цветения по 20 индивидуальных растений. Почвенные образцы брали в зоне ризосферы на глубине 5–7 см от поверхности. Индивидуальные растительные пробы объединяли по частям и видам, промывали бидистиллированной водой, высушивали до постоянной массы при температуре  $60^\circ\text{C}$ . Аналитическая проба сырья измельчалась до размера частиц  $\leq 1$  мм. Количественное определение содержания элементов в образцах сырья и почв проводили рентгенофлуоресцентным методом с полным внешним отражением на рентгенофлуоресцентном анализаторе TXRF 8030C ("FEI

Companu", Германия; Центр коллективного пользования института химии ДВО РАН). Время измерения – 500 с, источники возбуждения –  $Mok_{\alpha}$  и  $WL_{\beta}$ , внутренний стандарт –  $Y$  концентрация 5 мкг/мл.

Рассчитывали  $A_x$  (коэффициент биологического поглощения) как отношение концентрации элемента в воздушно-сухой пробе к содержанию элемента в почве;  $K_{кб}$  (коэффициент корневого барьера) – как отношение содержания элемента в корне к содержанию его в надземной части растения [13].

### Обсуждение результатов

Результаты элементного анализа проб почв и растительного материала приведены в таблицах 1–6. Содержание валовых форм элементов сравнивали с ПДК и ОДК в почвах на территории РФ [14] и ПДК для почв ДВ [15]. Результаты анализа показали, что в почвенных пробах повышенное содержание отмечено для Cu (в случае б. Тазгоу), где превышение относительно ПДК ДВ составляет 83% и относительно ПДК/ОДК РФ 233 и 180% соответственно. Для остальных элементов превышения допустимых показателей в пробах почв не выявлено.

Элементный состав сырья *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* в Приморье показал наличие в сырье условно-эссенциального элемента первого класса опасности – Pb, концентрация которого не превышает предела допустимого уровня, принятого для биологически активных добавок к пище на растительной основе (сухие формы) [16].

На основе результатов анализа рассчитали  $A_x$  (КБП) и составили ряды биологического накопления. Анализируя ряд *P. rupestris* (целое растение) в условиях морского побережья (1),

$$A_x: Fe (0.02) < Cu (0.07) = Pb (0.07) < Ti (0.20) < Mn (0.28) < Rb (0.6) < Zn (1.51) < Sr (5.66) < Cr (8.28) < Ni (11.1) \quad (1)$$

Выделяя группу элементов накопления, к элементам интенсивного накопления относим Ni, среднего Zn, Sr, Cr и группу элементов захвата: интенсивного Ti, Mn, Rb и слабого Fe, Cu, Pb.

Аналогичный ряд для *P. scabiosifolia* (целое растение) (2)

$$A_x: Fe (0.03) < Pb (0.08) < Ti (0.19) < Mn (0.27) < Rb (0.94) < Zn (2.12) < Cu (2.87) < Cr (3.85) < Sr (4.55) < Ni (8.45) \quad (2)$$

позволяет отнести к элементам среднего накопления Ni, Sr, Cr, Cu, Zn, элементам интенсивного захвата – Rb, Ti, Mn и слабого – Pb, Fe.

Для этого вида отмечается присутствие Cu в группе элементов среднего накопления, при этом показатели концентрации металла в сырье как *P. rupestris*, так и *P. scabiosifolia* имеет близкие значения (12.345 и 9.57 мг/кг соответственно), что объясняется значительной (в 55 раз) разницей содержания Cu в почвах (табл. 1) исследуемых площадок. Можно предположить, что выявленный уровень концентрации металла в сырье обоих видов является в условиях морского побережья физиологически необходимым.

Максимальный  $A_x$  в упомянутых условиях для обоих видов показал Ni, что возможно объясняется фазой заготовки сырья, как отмечено, этот элемент принимает активное участие в процессе цветения [4, 17].

Оценить распределение элементов в растении и выявить присутствие функционального барьера на границе корень-стебель позволяет коэффициент корневого барьера ( $K_{кб}$ ), отраженный в таблице 2. В целом, для рассматриваемых элементов наблюдается безбарьерное поглощение и акропетальный тип накопления для обоих рассматриваемых видов. Корневой барьер у *P. rupestris* выявлен для Mn и Fe; у *P. scabiosifolia* для Ti, Fe, Ni, Cu, при этом  $K_{кб}$  у рассматриваемых видов варьирует от 1.04 до 1.76, исключение наблюдается для Fe в случае *P. scabiosifolia*, где  $K_{кб}=4.49$ , чего не наблюдается у *P. rupestris*. Возможно, это объясняется значительным превышением содержания элемента в почве м. Каменского (в 3.5 раза).

Обращает на себя внимание Co, обнаруженный в сырье обоих видов и в корне, и в траве, причем как для *P. rupestris*, так и *P. scabiosifolia* содержание элемента в надземной части несколько превышало таковое в корне (в 1.96 и 1.42 раз соответственно), при этом в почвенных образцах присутствие Co не выявлено даже в следовых количествах, что позволяет предположить фолитарное поступление элемента в растения.

Таблица 1. Накопление элементов и КБП ( $A_x$ ) в сырье *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* в условиях морского побережья Приморского края, мг/кг сух. массы

Элемент	Почва (перевал б. Тазгоу)	<i>P. rupestris</i> (растение целое)	$A_x$	Почва (м. Каменского)	<i>P. scabiosifolia</i> (растение целое)	$A_x$
Ti	118.11±5.996	25.787±1.129	0.2	790.513±158.103	151.679±3.235	0.19
Cr	2.383±0.303	19.719±2.376	8.28	5.021±0.485	19.33±1.366	3.85
Mn	185.58±8.69	51.008±0.753	0.28	400.962±3.208	107.31±31.621	0.27
Fe	14094.44±183.201	291.817±2.258	0.02	14355.737±2750.988	378.692±2.406	0.03
Ni	2.985±0.523	36.18±1.376	12.12	2.09±0.324	23.107±0.826	11.1
Cu	183.27±0.418	12.345±1.367	0.07	3.331±0.132	9.57±1.281	2.87
Zn	21.97±1.152	33.135±1.180	1.51	18.972±6.324	40.183±2.478	2.12
Rb	12.57±0.681	7.359±0.376	0.6	7.589±2.213	7.145±0.399	0.94
Sr	12.173±0.261	68.896±1.505	5.66	18.489±2.637	84.163±1.830	4.55
Pb	22.569±1.178	1.631±0.753	0.07	25.296±6.324	1.9391±0.978	0.08
Co	–	2.837±0.376	...	–	2.11±0.032	...
Hg	–	–	...	<3.162	–	...

Таблица 2. Накопление элементов в надземной и корневой частях сырья *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* в условиях морского побережья Приморского края, мг/кг сух. массы

Элемент	<i>P. rupestris</i> (трава)	<i>P. rupestris</i> (корни)	Ккб	<i>P. scabiosifolia</i> (трава)	<i>P. scabiosifolia</i> (корни)	Ккб
Ti	27.091±1.129	24.483±0.802	0.90	148.523±3.235	154.834±2.208	1.04
Cr	19.760±2.306	19.678±2.296	0.99	19.78±1.452	18.880±1.319	0.96
Mn	48.538±0.753	57.478±0.732	1.18	152.964±31.621	61.049±1.726	0.40
Fe	236.483±2.258	394.114±3.451	1.67	137.931±2.406	619.425±8.259	4.49
Ni	47.095±1.646	25.254±1.968	0.54	34.237±1.089	28.771±0.989	0.84
Cu	21.736±0.367	2.954±0.345	0.14	6.935±0.281	12.198±0.366	1.76
Zn	52.724±2.305	10.823±2.296	0.2	54.462±3.631	25.638±0.802	0.47
Rb	8.273±0.376	6.445±0.460	0.78	7.474±0.399	6.816±0.401	0.91
Sr	73.372±1.505	64.419±1.156	0.88	87.728±1.830	80.597±1.203	0.92
Pb	1.881±0.753	1.381±0.646	0.73	2.301±0.978	1.576±0.604	0.69
Co	3.753±0.376	1.920±0.403	–	2.478±0.032	1.741±0.315	–

*P. rupestris* и *P. scabiosifolia* проявляют свойства сильных накопителей следующих элементов: Ni, Zn, Sr, Cr. Для обоих рассматриваемых видов наблюдается акропетальный тип накопления и безбарьерное поглощение элементов.

В пробах почвы и растительного сырья Хабаровского края в сравнении с Приморьем были дополнительно выявлены такие элементы, как As, Br, Ba. Из них Ba относится ко второму классу опасности. Содержание валовых форм элементов сравнивали с ПДК и ОДК в почвах на территории РФ и ДВ. Анализ проб Хабаровского края показал, что превышения допустимых показателей в почве не отмечено. В обеих почвенных пробах Хабаровского края отмечаются сопоставимые концентрации исследованных элементов, что может свидетельствовать об отсутствии локальных загрязнений.

На основе результатов анализа рассчитали  $A_x$  (КБП) и составили ряды биологического накопления. Анализируя ряд *P. rupestris* (растение целое) (3),

$$A_x: Fe (0.1) < Ti (0.19) < Mn (0.22) < Br (0.28) < Cu (0.29) < As (0.47) < Zn (0.59) < Rb (0.62) < Cr (1.17) < Ni (3.48) \quad (3)$$

Элементы среднего накопления: Ni, Cr; группа элементов интенсивного захвата: Fe, Ti, Mn, Br, Cu, As, Zn, Rb.

Для указанного вида как в Приморье, так и в Хабаровском крае  $min A_x$  отмечается для Fe, а  $max A_x$  – для Ni, приблизительно равные коэффициенты отмечены для Ti, Mn, Rb.

Необходимо отметить, что при значительном расхождении  $A_x$  для Cu и Cr в обоих регионах концентрация элементов в сырье приблизительно равна (табл. 1, 3).

Наблюдается фолитарное поглощение Co и Ba, что также частично совпадает с пробами из Приморья. Для *P. scabiosifolia* (растение целое) получен следующий ряд (4).

$$A_x: \text{Fe (0.21)} < \text{Cu (0.27)} < \text{Ti (0.30)} < \text{Mn (0.46)} < \text{As (0.73)} < \text{Rb (0.75)} < \text{Hg (0.9)} < \text{Pb (0.94)} < \text{Cr (1.67)} < \text{Sr (1.78)} < \text{Zn (1.94)} < \text{Ni (2.02)} \quad (4)$$

Рассматривая ряд коэффициента  $A_x$  (4), элементы можно разделить на две группы: интенсивного захвата (Fe–Pb) и среднего накопления (Cr–Ni).

В западных точках отбора почвенных проб также не выявлено превышения ПДК (табл. 5).

Рассматривая накопление элементов, можно отметить, что сохраняется приблизительно постоянное постоянство концентрации в сырье таких элементов, как Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn (для *P. scabiosifolia*) для всех обследованных районов (табл. 1, 3, 5).

Ряды биологического накопления (5, 6) показали, что наименьшие значения  $A_x$  показаны Fe, Mn, As, Ti для обоих видов и соответствуют группе интенсивного захвата. Также к этой группе относятся Zn, Cu, Rb, Cr в сырье *P. rupestris*, и Rb, Pb, Cr в сырье *P. scabiosifolia*. К элементам среднего накопления относятся Ni в обоих случаях и Zn, Ba, Cu, Sr для сырья *P. scabiosifolia*.

$$P. \text{ rupestris } A_x: \text{Fe (0.1)} = \text{Mn (0.1)} < \text{As (0.3)} < \text{Ti (0.4)} < \text{Zn (0.5)} < \text{Cu (0.7)} < \text{Rb (0.8)} = \text{Cr (0.8)} < \text{Ni (2.2)} \quad (5)$$

$$P. \text{ scabiosifolia } A_x: \text{Fe (0.2)} < \text{As (0.3)} = \text{Mn (0.3)} = \text{Ti (0.3)} = \text{Rb (0.3)} < \text{Pb (0.33)} < \text{Cr (0.8)} < \text{Zn (1.4)} < \text{Ba (2.2)} < \text{Ni (2.6)} < \text{Cu (2.83)} < \text{Sr (2.9)} \quad (6)$$

Таблица 3. Накопление элементов в сырье и КБП ( $A_x$ ) *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* в Хабаровском крае, мг/кг сух. массы

Элемент	Почва (р. Амур)	<i>P. rupestris</i> (в целом)	$A_x$	Почва (п. Полярный)	<i>P. scabiosifolia</i> (в целом)	$A_x$
Ti	863.15±59.53	161.257±6.471	0.19	692.946±7.82	208.480±3.16	0.3
Cr	16.79±2.98	19.699±2.301	1.17	11.394±2.36	19.059±1.885	1.67
Mn	226.21±17.857	49.825±2.465	0.22	254.068±23.12	116.627±2.06	0.46
Fe	12411.45±982.24	1285.866±98.667	0.1	13968.814±831.448	2934.979±67.276	0.21
Ni	10.423±2.077	36.225±1.807	3.48	12.142±1.532	24.476±1.02	2.02
Cu	42.304±4.644	14.343±1.403	0.29	35.287±1.924	9.367±0.874	0.27
Zn	28.278±2.686	16.773±2.301	0.59	25.581±2.140	49.649±2.970	1.94
Rb	4.466±2.375	2.795±0.821	0.62	14.203±1.178	10.619±1.506	0.75
Sr	19.943±1.786	–	...	31.643±2.14	56.434±2.126	1.78
Pb	–	–	...	<2.621	2.457±1.043	0.94
Hg	<1.488	–	...	4.021±1.217	<3.631	0.9
As	5.655±1.191	2.634±0.301	0.47	4.499±1.135	<3.297	0.73
Br	7.143±0.893	<1.971	0.28	–	–	...
Ba	–	26.004±1.425	...	–	–	...
Co	–	<3.279	...	–	8.502±2.408	...

Таблица 4. Накопление элементов в надземной и корневой частях сырья *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* в условиях Хабаровского края, мг/кг сух. массы

Элемент	<i>P. rupestris</i> (трава)	<i>P. rupestris</i> (корни)	Ккб	<i>P. scabiosifolia</i> (трава)	<i>P. scabiosifolia</i> (корни)	Ккб
Ti	160.199±6.382	162.316±6.559	1.01	186.187±3.31	230.772±3.08	1.24
Cr	19.719±2.305	19.678±2.296	0.997	18.380±1.45	19.738±2.31	1.07
Mn	66.196±2.635	33.454±2.298	0.51	86.645±2.26	146.609±1.73	1.69
Fe	1882.985±131.735	688.747±65.598	0.37	1452.327±36.308	4417.631±98.244	3.04
Ni	43.571±1.646	29.224±1.968	0.67	23.237±1.089	25.715±0.989	1.11
Cu	25.026±1.646	4.101±1.068	0.16	6.535±1.089	12.198±0.659	1.87
Zn	22.724±2.305	10.823±2.296	0.48	54.462±3.631	44.836±2.308	0.82
Rb	3.293±0.658	2.296±0.984	0.697	10.529±1.815	10.219±1.319	0.97
Sr	–	–	...	38.032±1.615	74.836±2.637	1.97
Pb	–	–	...	1.389±0.118	2.824±0.637	2.03
Hg	–	–	...	–	3.631	...
As	1.44	1.763	1.22	2.852	3.778	1.32
Br	1.317	2.624	1.99	–	–	...
Ba	28.334±1.173	–	...	–	–	...
Co	2.471	1.013	–	9.802±2.637	7.262±2.178	–

Таблица 5. Накопление элементов в сырье *P. rupestris* (Бурятия) и *P. scabiosifolia* (Амурская обл.), мг/кг сух. массы

Элемент	Почва (Бурятия)	<i>P. rupestris</i> (растение в целом)	A <sub>x</sub>	Почва (п. Мухинка)	<i>P. scabiosifolia</i> (растение в целом)	A <sub>x</sub>
Ti	504.440±6.548	115.84±6.613	0.2	516.522±23.317	145.348±9.836	0.3
Cr	18.529±2.509	15.442±2.619	0.8	19.986±3.331	16.460±2.651	0.8
Mn	413.05±5.121	47.251±2.464	0.1	333.111±33.311	101.962±8.061	0.3
Fe	14835.219±808.818	2088.020±64.698	0.1	11059.293±1099.267	1817.641±113.381	0.2
Ni	29.988±1.572	36.422±1.617	1.2	10.527±1.504	26.825±2.368	2.6
Cu	19.365±1.387	12.447±1.408	0.7	3.331	9.436±2.457	2.83
Zn	45.348±2.821	22.488±0.871	0.5	29.980±3.331	43.050±1.591	1.4
As	8.428±1.149	2.458±0.327	0.3	6.329±1.665	1.847±0.404	0.3
Rb	10.83±0.84	8.216±1.436	0.8	15.656±1.998	4.150±0.656	0.3
Sr	15.92±1.08	–	...	16.648±2.998	47.482±2.905	2.9
Hg	–	1.393 –	...	–	2.106	...
Pb	6.896±1.637	–	...	5.662±2.332	1.877±0.935	0.33
Br	–	1.960	...	–	0.629	...
Ba	–	22.344±9.709	...	2.665±1.002	5.907±0.332	2.2

Таблица 6. Накопление элементов и коэффициент корневого барьера в сырье *P. rupestris* (Бурятия) и *P. scabiosifolia* (Амурская обл.), мг/кг сух. массы

Элемент	<i>P. rupestris</i> (трава)	<i>P. rupestris</i> (корни)	Ккб	<i>P. scabiosifolia</i> (трава)	<i>P. scabiosifolia</i> (корни)	Ккб
Ti	48.523±3.235	183.162±9.991	3.8	120.315±9.024	170.382±10.648	1.42
Cr	14.233±1.941	16.651±3.297	1.17	12.332±2.707	20.587±3.195	1.67
Mn	44.641±2.264	49.860±6.660	1.1	102.267±9.024	81.641±7.099	0.8
Fe	1711.674±64.698	2464.366±266.418	1.44	1739.316±106.488	1897.965±120.315	1.09
Ni	29.998±1.617	36.422±3.297	1.2	10.527±2.998	26.825±1.775	2.6
Cu	14.908±1.617	9.963±3.297	0.66	2.485±1.419	7.058±0.637	2.84
Zn	18.334±2.264	26.642±3.298	1.45	27.672±1.406	18.458±1.775	0.67
As	<1.617	<3.298	2.04	<1.504	<2.129	1.42
Rb	7.440±1.204	8.992±1.665	1.21	5.715±0.602	2.485±0.709	0.44
Sr	–	–	...	54.142±3.008	40.821±2.839	0.75
Hg	1.318	–	...	2.106	–	...
Pb	–	–	...	1.328±1.504	1.749±0.365	1.32
Br	1.941	–	...	0.632	–	...
Ba	21.804±4.233	–	...	9.625±1.203	2.349±0.370	0.24

Обращает на себя внимание предположительно фолитарное накопление Ba в случае *P. rupestris*, Hg и Br для обоих видов (табл. 6).

Рассматривая накопление эссенциальных и условно-эссенциальных элементов в почвах по ареалу, можно выделить элементы различной степени захвата и накопления.

Для Mn наблюдается некоторое возрастание концентрации от Хабаровского края к Бурятии (от 226.21 до 413.047 мг/кг), тогда как в Приморье аналогичный перепад концентрации (185.58 – 400.96 мг/кг) наблюдается практически в одном районе. В сырье *P. rupestris* концентрация элемента приблизительно равна во всех пробах (47.25–51.01 мг/кг), независимо от концентрации в почве. В сырье *P. scabiosifolia* концентрация Mn несколько выше (101.962–116.627 мг/кг), но также сохраняет постоянство на протяжении ареала. КБП элемента для обоих видов не превышал 1 и, соответственно, Mn для каждого вида на протяжении всего ареала является элементом среднего накопления.

Показатели концентраций для Fe близки во всех пробах почвы (11059.293–14835.219 мг/кг), тогда как концентрация элемента в сырье изучаемых видов значительно расходится по ареалу. Для Приморского края отмечены минимальные концентрация и КБП (0.02–0.03 мг/кг) для обоих видов, что характеризует Fe как элемент слабого захвата. В Хабаровском крае концентрация Fe в сырье *P. scabiosifolia* более чем в 2 раза превосходит аналогичный показатель *P. rupestris*, что отражает КБП: 0.2 и 0.1 соответственно; также концентрации элемента в 4.4 раза для *P. rupestris* и 7.8 раз для *P. scabiosifolia* превосходят аналогичные показатели Приморья. Западные пробы почв и сырья показали результаты близкие к данным Хабаровского края.

Рассматривая концентрации и КБП для Cr, необходимо отметить низкое содержание элемента в почве Приморского края – в усредненной пробе 3.68 мг/кг – и возрастание его концентрации в более западных

регионах: 14.1 мг/кг – в усредненной пробе Хабаровского края, 19.98 и 16.8 – в пробах Амурской области и Бурятии. В сырье *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* содержание Сг в Приморье и Хабаровском крае было приблизительно равным (19.059–19.719 мг/кг), несколько понижаясь к западным местообитаниям до 15.44 мг/кг в случае *P. rupestris* и 16.46 мг/кг – *P. scabiosifolia*. Колебания концентрации элемента в почвах и относительная стабильность содержания в сырье исследуемых видов отражаются на КБП. Для Приморья коэффициенты равны 8.3 *P. rupestris* и 3.9 *P. scabiosifolia*, что позволяет отнести Сг к элементам интенсивного накопления. Также среднее накопление Сг наблюдаем у *P. scabiosifolia* в Хабаровском крае, в остальных случаях для Сг отмечается интенсивный захват.

Относительно накопления Ni необходимо отметить практически постоянный уровень концентрации элемента в сырье: немногим более 36 мг/кг в пробах сырья *P. rupestris* и 23–26 мг/кг в случае *P. scabiosifolia*. Предполагается, что концентрация Ni выше 10 мг/кг для растения является избыточной или токсичной [4], однако авторы монографии «Микроэлементы в окружающей среде» [3] относят Ni «к самым подвижным элементам», легко переходящими из почвы в растение. Почвенные пробы показывают значительное расхождение в содержании элемента. Самое низкое содержание Ni наблюдается в почвах Приморья, около 3 мг/кг в обеих точках отбора проб. Соответственно, КБП принимает максимальные значения 12.1 в случае *P. rupestris* и 11.1 для *P. scabiosifolia*, что в данном случае позволяет отнести Ni к элементам энергичного накопления для исследуемых видов. В более континентальных районах содержание Ni в почве возрастает до значений, близких к 10–12 мг/кг, достигая максимального значения 29.99 мг/кг в пробах Республики Бурятия, соответственно, КБП снижается, и в этих случаях Ni относим к элементам сильного накопления.

Для Zn, который также относится к подвижным элементам, показатели аккумуляции в сырье *P. rupestris* только в Приморье превышает 1 (1.51), далее значения КБП – около 0.5. В случае *P. scabiosifolia* на всем протяжении территории исследования КБП превышал 1. Выявленные концентрации позволяют отнести Zn к элементам среднего накопления.

Также к эссенциальным элементам относится Co, которого не обнаружено ни в одной почвенной пробе. Несмотря на отсутствие элемента в почве, сырье как *P. rupestris*, так и *P. Scabiosifolia*, в условиях Приморского и Хабаровского краев содержит Co в концентрациях, близких к «нормальным» [4], что позволяет предполагать фолиарное накопление элемента. В пробах сырья Бурятии (*P. rupestris*) и Амурской области (*P. scabiosifolia*) элемент не накапливался (табл. 2, 4, 6).

Накопление условно-эссенциальных элементов показало в условиях Приморского края для обоих изучаемых видов интенсивное накопление Sr. В более континентальных пробах сырья *P. rupestris* при сопоставимых концентрациях элемента в почве Sr не обнаружен. Для *P. scabiosifolia* во всех пробах отмечается интенсивное накопление элемента.

К элементам среднего накопления относится Ti, для которого  $A_x$  во всех пробах принимает значения от 0.2 до 0.3, даже в условиях значительно низкой концентрации элемента в почве района б. Тазгоу.

Помимо того, что Pb относится к условно-эссенциальным элементам, он является одним из приоритетных загрязнителей биосферы, вследствие чего подлежит обязательному контролю в растительном сырье. Предельно допустимая концентрация элемента в растительном сырье (для чая) равна 6 мг/кг [18], в изучаемом сырье максимальные значения концентрации Pb составляют 2.46 в сырье *P. scabiosifolia* в Хабаровском крае, в почве определялось сопоставимое количество элемента и, как следствие, значение  $A_x$  около 1. Остальные значения концентрации Pb в сырье *P. scabiosifolia* было около 2 мг/кг, несмотря на значительные расхождения в концентрации элемента в почве, которое максимально в Приморье (25.296 мг/кг). Это позволяет предположить, что данный уровень концентрации Pb может быть видовой характеристикой.

В сырье *P. rupestris* Pb обнаружен только в пробах Приморского края, где также наблюдаем максимальную концентрацию элемента в почве (22.569 мг/кг), при этом элемент относится к группе очень слабого накопления. В пробах Хабаровского края элемент отсутствует как в почве, так и в сырье, в Бурятии элемент присутствует в почве в невысокой концентрации и не переходит в сырье (табл. 1, 3, 5).

Присутствие Vg в почве выявлено только в береговых пробах р. Амур, где для *P. rupestris*  $A_x=0.28$ , что характеризует Vg как элемент среднего накопления. Также присутствие элемента отмечено в пробах сырья из Бурятии и Амурской области, что позволяет предполагать фолиарное накопление Vg растениями.

В пробах обнаружено присутствие следующих токсичных элементов: Hg, As, Ba, Be.

В Приморье Hg обнаружена в почве м. Каменского, перехода элемента в сырье не выявлено. В Хабаровском крае элемент присутствует в почвенных пробах, но переходит в сырье лишь в случае *P. scabiosifolia*

( $A_x=0.9$ ), проявляя свойства среднего накопления. Для проб из Бурятии так же отмечаются свойства среднего накопления, в Амурской области выявлен фоллиарный захват элемента.

Мышьяк относится к 1-му классу токсичности, не обладает выявленной функциональностью в качестве микроэлемента (МЭ в окружающей среде), хотя некоторые авторы рассматривают мышьяк как жизненно важный ультрамикроэлемент [19]. Различные формы элемента часто присутствуют в пробах окружающей среды в зависимости от физико-химического статуса экологической ниши, что обуславливает биодоступность металлоида. В почвах As обнаружен в материковых пробах, при этом биологический переход в сырье *P. rupestris* характеризуется как среднее накопление и в Хабаровском крае, и в Бурятии,  $A_x=0.47$  и  $0.3$ . Необходимо отметить, что концентрации элемента в сырье очень близки в обоих случаях (2.63 и 2.46 мг/кг соответственно). Близкие показатели наблюдаются в случае *P. scabiosifolia*, где также отмечается среднее накопление элемента и концентрации в сырье 3.3 и 1.85 мг/кг соответственно, что вписывается в предел содержания мышьяка в растениях на незагрязненных почвах (0.001–5 мг/кг).

Из рассматриваемых элементов опасными для здоровья человека являются: ртуть, свинец, цинк (1-й класс); кобальт, никель, медь, хром (2-й класс); барий, марганец, стронций (3-й класс). Рассматривая способность к аккумуляции элементов 1- и 2-го классов опасности в сырье исследуемых растений, интенсивность накопления Pb распределяется от очень слабого до среднего накопления; для Zn и Hg выявлено среднее накопление, что согласуется с наблюдениями других авторов [3]. Интенсивное и среднее накопление  $A_x$  показывает для таких элементов, как Cr, Ni, Sr, которые аккумулируются изучаемыми видами, как в корневой, так и в надземной частях растения. Среднее накопление показали оба вида для элементов 3-го класса опасности: Sr, Ba и Mn.

Различия элементного состава надземной и подземной частей растения определяются наличием корневого барьера, препятствующего транслокации элементов в надземные органы, что проявляется при расчете коэффициента корневого барьера (Ккб). Значения данного коэффициента выше единицы указывают на наличие корневого барьера при поглощении элементов растениями.

Выраженное проявление корневого барьера для большинства элементов наблюдается (рис. 1, табл. 7) в западной части ареала *P. rupestris*, тогда как в восточных регионах наблюдается активная аккумуляция большинства элементов в надземной части растения. Равномерное распределение по тканям растения выявлено для Ti и Cr в Приморье и Хабаровском крае, в Бурятии для Mn и Br.

В случае *P. scabiosifolia* в Приморском крае также наблюдается акропетальный тип накопления для большинства элементов (рис. 2, табл. 8), безбарьерное поглощение Ti и Cr и выраженный корневой барьер для Fe и Cu. Обратное соотношение аккумуляции элементов наблюдается в Хабаровском крае: выраженный корневой барьер для большинства элементов, безбарьерное накопление Rb и Cr и акропетальное поглощение Zn. В Амурской области значительная часть элементов аккумулируется как в корневой, так и надземной части растения, безбарьерное поглощение отмечено для Fe и Ni.

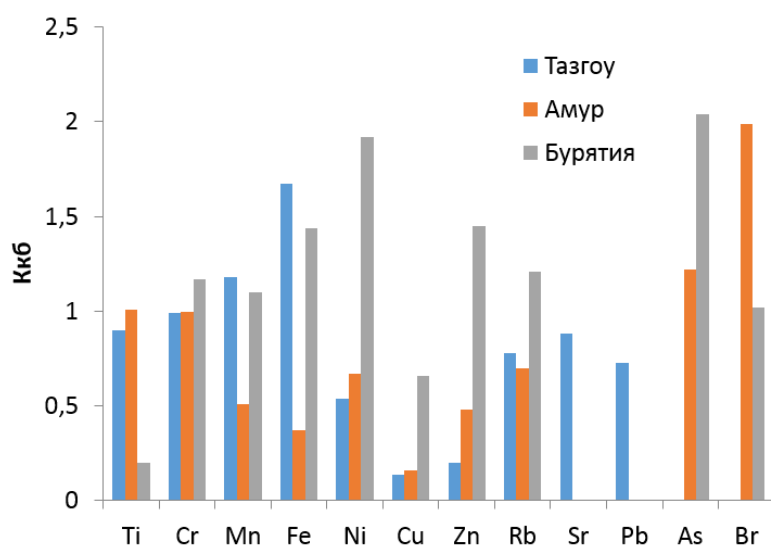


Рис. 1. Коэффициент корневого барьера *P. rupestris*



Таблица 7. Проявление корневого барьера *P. rupestris*

Ккб	б. Тазгоу	Амур	Бурятия
>1	Mn, Fe	As, Ba, Br	Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Rb, As
≈1	Ti, Cr	Ti, Cr	Mn, Br
<1	Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Pb	Mn, Fe, Ni, Zn, Rb, Cu	Ti, Cu

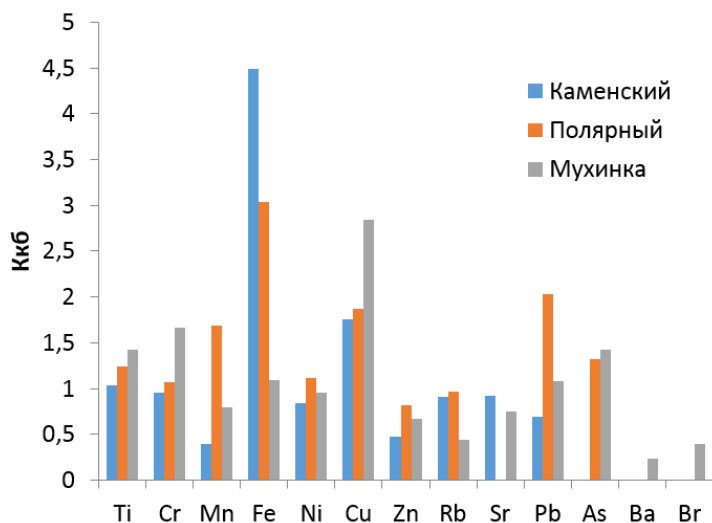


Рис. 2. Коэффициент корневого барьера *P. scabiosifolia*

Таблица 8. Проявление корневого барьера *P. scabiosifolia*

Ккб	м. Каменского	Полярный	Мухинка
>1	Fe, Cu	Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Pb, As	Ti, Cr, Cu, As, Pb
≈1	Ti, Cr,	Rb, Cr	Fe, Ni
<1	Mn, Ni, Zn, Rb, Sr, Pb	Zn	Mn, Zn, Rb, Sr, Ba, Br

**Заключение**

Проведенное исследование показало, что в почвах мест отбора проб растительного материала не обнаружено превышения ПДК тяжелых металлов.

Для большинства исследованных элементов оба вида проявляют свойства умеренного накопления и сильного захвата. Значимых отличий по содержанию микроэлементов между пробами из различных экотопов не выявлено. Для некоторых элементов (Mn, Cr, Ni) сохраняется постоянство концентрации на протяжении ареала, как для *P. rupestris*, так и *P. scabiosifolia*.

Отмечено фолиарное поглощение Co, Br для обоих видов, и Ba для *P. rupestris*.

Для *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* в Приморье отмечается акропетальный тип накопления элементов, в материковых участках ареалов отмечается Ккб>1 в Хабаровском крае для *P. scabiosifolia*, и в Бурятии – для *P. rupestris*.

Результаты исследования свидетельствуют о необходимости контроля содержания в сырье *P. rupestris* и *P. scabiosifolia* не только токсичных элементов, но и эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов, которые в высоких концентрациях могут представлять опасность.

**Список литературы**

1. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Оценка экологического состояния Центрального района Санкт-Петербурга на основе эокофитоиндикации // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2017. Т. 62. №2. С. 209–217.
2. Кику П.Ф., Гельцер Б.И. Экологические проблемы здоровья. Владивосток, 2004. 226 с.
3. Микроэлементы в окружающей среде / под ред. М.Н.В. Прасада, К.С. Саджвана, Р. Найду. М., 2009. 816 с.
4. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск, 2001. 229 с.
5. Булаев В.М. Современная фитотерапия. М., 2011. 144 с.
6. Безделев А.Б., Безделева Т.А. Жизненные формы семенных растений российского Дальнего Востока. Владивосток, 2006. 296 с.

7. He X., Luan F., Zhao Z., Ning N., Li M., Jin L., Chang Y., Zhang Q., Wu N., Huang L. The Genus *Patrinia*: A Review of Traditional Uses, Phytochemical and Pharmacological Studies // *The American Journal of Chinese Medicine*. 2017. Vol. 45. N4. Pp. 637–666. DOI: 10.1142/S0192415X17500379.
8. Li Z., Tang Y., Zhu S., Li D., Han X., Gu G., Xing N., Ren J., Guo Z., Jiao W., Yan L., Xu Z., Zhang W. Ethanol extract of *Patrinia scabiosifolia* induces the death of human renal cell carcinoma 786-O cells via SIRT-1 and mTOR signaling-mediated metabolic disruptions // *Oncology Reports*. 2018. Vol. 39. Pp. 764–772. DOI: 10.3892/or.2017.6139.
9. Zhang M.Y., Sun G.D., Shen A.L., Liu L.Y., Ding J.Z., Peng J. *Patrinia scabiosifolia* inhibits the proliferation of colorectal cancer in vitro and in vivo via G1/S cell cycle arrest // *Oncology Reports*. 2015. Vol. 33. Pp. 856–860. DOI: 10.3892/or.2014.3663.
10. Sheng L., Yang Y., Zhang Y., Li N. Chemical constituents of *Patrinia heterophylla* Bunge and selective cytotoxicity against six human tumor cells // *Journal of Ethnopharmacology*. 2019. Vol. 236. Pp. 129–135. DOI: 10.1016/j.jep.2019.03.005.
11. Meng L., Chen S., Zhou L., Liu Z., Li S., Kang W. Chemical Constituents and Pharmacological Effects of Genus *Patrinia*: a Review // *Current Pharmacology Reports*. 2020. Vol. 6. Pp. 380–414. DOI: 10.1007/s40495-020-00240-7.
12. Lei, J.C., Yang C.X., Yang Y., Zhang W., Yu J.Q. Antioxidant and antitumour activities of extracts from *Patrinia villosa* and its active constituents // *Journal of functional foods*. 2015. Vol. 16. Pp. 289–294. DOI: 10.1016/j.jff.2015.04.037.
13. Афанасьева Л.В., Аюшина Т.А. Накопление и распределение микроэлементов в растениях *Arctostaphylosuvarsi* // *Химия растительного сырья*. 2018. №3. С. 123–128. DOI: 10.14258/jcrpm.2018033740.
14. Пределы допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М., 2006. 15 с.
15. Голов В.И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока. Владивосток, 2004. 315 с.
16. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания. М., 2012. 284 с.
17. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск, 2014. 192 с.
18. СанПиН 2.3.2.1078-01. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2002. 145 с.
19. Копылов Н.И., Каминский Ю.Д. Мышьяк. Новосибирск, 2004. 367 с.

Поступила в редакцию 13 октября 2022 г.

После переработки 20 февраля 2023 г.

Принята к публикации 29 августа 2023 г.

**Для цитирования:** Зорикова О.Г., Маняхин А.Ю. Микроэлементный состав *Patrinia scabiosifolia* и *Patrinia rupestris* // *Химия растительного сырья*. 2023. №4. С. 277–287. DOI: 10.14258/jcrpm.20230411994.

*Zorikova O.G., Manyakhin A.Yu.\* MICROELEMENT COMPOSITION OF PATRINIA SCABIOSIFOLIA AND PATRINIA RUPESTRIS*

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, av. 100-letiya Vladivostoka, 159, Vladivostok, 690022 (Russia), e-mail: mau84@mail.ru*

Anthropogenic activity leads to an increased content of trace elements in environmental resources: air, water, land and biota. The accumulation of elements is influenced by the properties of the element, the characteristics of the environment, and the factors of the host organism. This necessitates monitoring of plant materials, especially in regions with a significant raw material base of medicinal plants, but actively exposed to anthropogenic impact, which currently includes the Russian Far East. The article presents the results of studying the elemental composition of plant raw materials of *Patrinia rupestris* and *Patrinia scabiosifolia*. It has been established that *P. rupestris* raw material contains 11–12 elements, *P. scabiosifolia* raw material contains 11–14 elements, depending on the habitat, 8 of them are essential, 4 are conditionally essential. The homogeneous elemental composition of the grass and roots of *P. rupestris* and *P. scabiosifolia* reflects the genetic closeness of the studied species. For most elements, both species exhibit the properties of moderate accumulation and strong capture. Mn, Cr, Ni maintain a constant concentration throughout the range, both for *P. rupestris* and *P. scabiosifolia*. Foliar uptake of Co, Br for both species, and Ba for *P. rupestris* was noted. For *P. rupestris* and *P. scabiosifolia*, an acropetal type of element accumulation is noted in Primorye; in the mainland areas of the ranges, a reverse strategy of element accumulation is observed.

*Keywords:* trace elements, accumulation, *Patrinia scabiosifolia*, *Patrinia rupestris*.

\* Corresponding author.

**References**

1. Ufimtseva M.D., Terekhina N.V. *Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle*, 2017, vol. 62, no. 2, pp. 209–217. (in Russ.).
2. Kiku P.F., Geltser B.I. *Ekologicheskiye problemy zdorov'ya*. [Ecological health problems]. Vladivostok, 2004, 226 p. (in Russ.).
3. *Mikroelementy v okruzhayushchey srede*. [Microelements in the environment], ed. M.N.V. Prasad, K.S. Sajwan, R. Naid. Moscow, 2009, 816 p. (in Russ.).
4. Il'in V.B., Syso A.I. *Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoy oblasti*. [Microelements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region]. Novosibirsk, 2001, 229 p. (in Russ.).
5. Bulaev V.M. *Sovremennaya fitoterapiya*. [Modern herbal medicine]. Moscow, 2011, 144 p. (in Russ.).
6. Bezdelev A.B., Bezdeleva T.A. *Zhiznennyye formy semennykh rasteniy rossiyskogo Dal'nego Vostoka*. [Life forms of seed plants of the Russian Far East]. Vladivostok, 2006, 296 p. (in Russ.).
7. He X., Luan F., Zhao Z., Ning N., Li M., Jin L., Chang Y., Zhang Q., Wu N., Huang L. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2017, vol. 45, no. 4, pp. 637–666. DOI: 10.1142/S0192415X17500379.
8. Li Z., Tang Y., Zhu S., Li D., Han X., Gu G., Xing N., Ren J., Guo Z., Jiao W., Yan L., Xu Z., Zhang W. *Oncology Reports*, 2018, vol. 39, pp. 764–772. DOI: 10.3892/or.2017.6139.
9. Zhang M.Y., Sun G.D., Shen A.L., Liu L.Y., Ding J.Z., Peng J. *Oncology Reports*, 2015, vol. 33, pp. 856–860. DOI: 10.3892/or.2014.3663.
10. Sheng L., Yang Y., Zhang Y., Li N. *Journal of Ethnopharmacology*, 2019, vol. 236, pp. 129–135. DOI: 10.1016/j.jep.2019.03.005.
11. Meng L., Chen S., Zhou L., Liu Z., Li S., Kang W. *Current Pharmacology Reports*, 2020, vol. 6, pp. 380–414. DOI: 10.1007/s40495-020-00240-7.
12. Lei, J.C., Yang C.X., Yang Y., Zhang W., Yu J.Q. *Journal of functional foods*, 2015, vol. 16, pp. 289–294. DOI: 10.1016/j.jff.2015.04.037.
13. Afanas'yeva L.V., Ayushina T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 123–128. DOI: 10.14258/jcprm.2018033740. (in Russ.).
14. *Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigiyenicheskiye normativy*. [Maximum permissible concentrations (MAC) of chemicals in soil: Hygienic standards]. Moscow, 2006, 15 p. (in Russ.).
15. Golov V.I. *Krugovorot sery i mikroelementov v osnovnykh agroekosistemakh Dal'nego Vostoka*. [Cycle of sulfur and microelements in the main agroecosystems of the Far East]. Vladivostok, 2004, 315 p. (in Russ.).
16. Tutel'yan V.A. *Khimicheskii sostav i kaloriynost' rossiyskikh produktov pitaniya*. [Chemical composition and calorie content of Russian food products]. Moscow, 2012, 284 p. (in Russ.).
17. Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. *Tyazhelye metally i rasteniya*. [Heavy metals and plants]. Petrozavodsk, 2014, 192 p. (in Russ.).
18. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Sanitarno-epidemiologicheskiye pravila i normativy. Gigiyenicheskiye trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov*. [SanPiN 2.3.2.1078-01. Sanitary and epidemiological rules and regulations. Hygienic requirements for food safety and nutritional value]. Moscow, 2002, 145 p. (in Russ.).
19. Kopylov N.I., Kaminsky Yu.D. *Mysh'yak*. [Arsenic]. Novosibirsk, 2004, 367 p. (in Russ.).

Received October 13, 2022

Revised February 20, 2023

Accepted August 29, 2023

**For citing:** Zorikova O.G., Manyakhin A.Yu. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 4, pp. 277–287. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230411994.

