

Р. Г. Савченко (к.х.н., доц.)¹, Р. М. Лиманцева (к.х.н., инж.)¹,
И. С. Пятина (инж.)², С. Р. Афонькина (к.х.н., н.с.)³

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СОКА НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ СЕРПУХИ ВЕНЦЕНОСНОЙ (*SERRATULA CORONATA* L.)

¹ Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН, лаборатория органического синтеза
450075, г. Уфа, пр. Октября, 141; e-mail: ecdysona@gmail.com, shaki-regina@yandex.ru

² Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение УФИЦ РАН,
лаборатория интродукции и селекции цветочных растений

450080, г. Уфа, ул. Менделеева, 195 к. 3; e-mail: katakaena@mail.ru

³ Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека,
химико-аналитический отдел

450106, г. Уфа, ул. Степана Кувыкина, 94; e-mail: svetafonk1@mail.ru

R. G. Savchenko¹, R. M. Limantseva¹, I. S. Pyatina², S. R. Afonkina³

ELEMENTAL COMPOSITION OF THE JUICE OF THE AERIAL PART OF *SERRATULA CORONATA* L.

¹ Institute of Petrochemistry and Catalysis, Ufa Federal Research Center of RAS
141, Prospekt Oktyabrya Str., 450075, Ufa, Russia; e-mail: ecdysona@gmail.com, shaki-regina@yandex.ru

² South-Ural Botanical Garden-Institute, Ufa Federal Research Center of RAS
195/3, Mendeleeva Str., 450080, Ufa, Russia; e-mail: katakaena@mail.ru

³ Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology
94, Stepana Kuvykina Str., 450106, Ufa, Russia; e-mail: svetafonk1@mail.ru

Приведены результаты количественного и качественного анализа содержания металлов в высушенном соке из надземной части растений серпухи венценосной (*Serratula coronata* L.), собранных в Уфимском районе Республики Башкортостан в 2017–2022 гг. Изучение элементного состава (Mn, Fe, Cu, Ni, Zn, Ca, Pb, Cd, As, Hg, Cr) высушенного сока растений проводилось атомно-абсорбционным методом. Проведена количественная оценка содержания суммы экистероидов исследуемых соков. Установлено, что концентрация свинца, кадмия, мышьяка и ртути не превышает норм (ПДК), указанных в Государственной Фармакопее Российской Федерации. Выявлено уменьшение содержания некоторых элементов (марганца, меди, цинка и кальция) в связи с засухой 2021 г. В результате проведенных исследований можно заключить, что изученные растения *Serratula coronata* относятся к экологически чистому растительному сырью, природному источнику кальция.

Ключевые слова: *Serratula*; биологически активные вещества; макроэлементы; микроэлементы; ПДК; тяжелые металлы; химический состав; экистероиды.

The article presents the results of a quantitative and qualitative analysis of the content of metals in dry juice from the aerial parts of *Serratula coronata* plants collected in the Ufa region of the Republic of Bashkortostan in 2017–2022. The study of the elemental composition juice of plants of the genus *Serratula* L. was carried out by the atomic absorption method. The content of the amount of ecdysteroids in the obtained raw materials was also evaluated. It has been established that the concentration of Pb, Cd, As, Hg does not exceed the limits (MPC) specified in the State Pharmacopoeia of the Russian Federation for medicinal plants and herbal preparations. A decrease in the content of some elements (Mn, Cu, Zn, Ca) was revealed due to the drought in 2021. As a result of the research, it can be concluded that the studied plants of *Serratula coronata* belong to an environmentally friendly plant material, a natural source of calcium.

Key words: biologically active substances; chemical composition; ecdysteroids; heavy metals; macronutrients; MPC; *Serratula*; trace elements.

Авторы благодарят сотрудников ООО «ИНКИ» за предоставленные образцы высушенных соков растения *Serratula coronata* L. Работа выполнена в соответствии с федеральной программой FMRS-2022-0081. Работа выполнена в рамках программы №122033100041-9 «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования».

Serratula coronata L. (серпуха венценосная) – многолетнее поликарпическое растение семейства *Asteraceae*, широко распространенное в Средней Европе, центральной части России, Кавказа, Средней Азии, Западной Сибири и Дальнего Востока. Успешно проводились работы по интродукции серпухи венценосной в качестве кормовой и технической добавки на Украине, в Томской области и в Республике Коми¹. Кроме того, благодаря присутствию в составе растения высокого содержания биологически активных компонентов², среди которых фитоэкдистероиды³, фармакологически перспективным и промышленно значимым является использование серпухи в качестве растительного сырья для их выделения. Мажорным экдистероидом растительной биологически-активной субстанции является 20-гидроксизекдизон, обладающий благодаря участию во многих обменных процессах человека⁴ физиологически полезными свойствами. Скрининг исследовательских работ, посвященных выделению экдистероидов из растительного сырья, показал высокую эффективность и технологичность в использовании для этих целей сока растения⁵. Однако при переходе к масштабированию производства сока растения более эффективным и экономичным способом его хранения является сушка сока с помощью конвективной сушилки. Высушенное таким образом сырье можно легко хранить и использовать для выделения биологически активных соединений.

При сборе фармакологического сырья важно соблюдать контроль его качества и экологической чистоты. Применение лекарственных средств, содержащих высокие концентрации токсичных тяжелых металлов, может нанести вред здоровью потребителя. Практически все тяжелые металлы необходимы для жизнедеятельности живых организмов, и накопление их в различных частях растений в предельно допустимых концентрациях – важный показатель оценки безопасности применения исследуемых растений человеком и животными^{6–9}. В этой связи, с целью оценки содержания металлов были исследованы высушенные соки надземной части растения *Serratula coronata*,

*The authors would like to thank the employees of ООО INKI for providing samples of dried juices of the plant *Serratula coronata* L. The part of the research was carried out in accordance with federal program FMRS-2022-0081. The study was carried out according to the program №122033100041-9 «Biodiversity of natural systems and plant resources of Russia: assessment of the state and monitoring of dynamics, problems of conservation, reproduction, increase and rational use».*

собранного на территории Башкирии в период 2017–2022 гг., с участием атомно-абсорбционной спектрофотометрии и проведена оценка содержания в собранном сырье количества суммы экдистероидов.

Материалы и методы

Для исследования содержания металлов были задействованы соки растения *Serratula coronata*, приготовленные из свежесобранного дикорастущего растения в начале лета и обезвоженные с помощью конвективных сушилок.

Исследования выполнены в химико-аналитическом отделе ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека». Минерализация проб проводилась с применением системы микроволнового разложения Speedwave Xpert (Berghof, Германия). Пробы весом около 0.5 г помещали в тефлоновые стаканы с 8 мл концентрированной азотной кислоты и подвергали минерализации в соответствии с рекомендациями производителя. Количественное содержание элементов в образцах определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии с пламенной атомизацией (никель, хром, марганец, медь, железо, кальций, мышьяк) и с электротермической атомизацией в графитовой печи (свинец, кадмий) (AA240F; AAS GTA 120, AA240Z, Varian, Австралия).

Общая ртуть в пробах была определена с использованием анализатора ртути РА-915М с приставкой ПИРО-915+ фирмы «ЛЮМЭКС-МАРКЕТИНГ». Приставка ПИРО-915+ предназначена для термической деструкции пробы и перевода ртути в атомарное состояние пиролизом с последующим определением ртути атомно-абсорбционным методом «холодного пара» на анализаторе РА-915М. Этот метод не требует какой-либо химической предварительной обработки проб и дает точные значения для широкого диапазона концентраций ртути.

Выделение суммы экдистероидов в сухом соке осуществляли экстракцией навески сока этиловым эфиром уксусной кислоты. Для этого на-

Таблица 1

Содержание металлов (мг/кг) в составе высушенного сока *Serratula coronata*

Год сбора растения	Mn	Fe	Cu	Ni	Zn	Ca
06.2017	28.6	10.0±5.3	12.2±2.4	18.0±3.0	6.4±3.3	16657
06.2018	26.8	13.4±6.0	11.9±2.3	16.4±2.7	7.2±3.7	18065
06.2019	26.6	5.6±3.0	14.2±2.6	13.5±2.3	9.0±4.7	9591
06.2021	8.05	10.7±5.5	1.29±0.51	13.4±2.3	3.2±1.7	7265
06.2022	17.9	23.5±8.0	14.7±2.7	33.9±5.4	16.5±8.5	11962

Таблица 2

Содержание токсичных элементов (мг/кг) в составе высушенного сока *Serratula coronata*

Год сбора растения	Pb	Cd	As	Hg	Cr
06.2017	0.313±0.110	0.022±0.006	<0.01 (0.001)	0.0049±0.0020	1.26±0.58
06.2018	0.023±0.008	0.229±0.069	<0.01 (0.001)	<0.0025 (0.0001)	1.59±0.71
06.2019	0.060±0.021	0.400±0.120	<0.01 (0.010)	0.0025±0.0010	0.97±0.46
06.2021	0.206±0.072	<0.01 (0.001)	<0.01 (0.001)	<0.0025 (0.0016)	0.57±0.30
06.2022	0.050±0.018	<0.01 (0.001)	<0.01 (0.001)	<0.0025 (0.0009)	0.18±0.04
ПДК	6.0	1.0	0.5	0.1	-

веску сока (10 г) растворяли в 100 мл дистиллированной воды и трижды экстрагировали этилацетатом (200 мл). Объединенные экстракты упарили. Сухой остаток анализировали методами ТСХ и ВЭЖХ с использованием метки – коммерческого 20-гидроксизидизона (Merck).

Результаты и их обсуждение

Микроэлементы (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn) участвуют практически во всех процессах, проходящих в растительной клетке: энергетическом обмене, первичном и вторичном метаболизме, гормональной регуляции, передаче сигнала и др. Следует также отметить, что 25–50 % всех растительных белков работают только в присутствии ионов металлов¹⁰, из них наибольшее количество (более 1200) функционально связаны с цинком¹¹. Кроме того, некоторые металлы-микроэлементы присутствуют в качестве кофакторов в молекулах целого ряда ферментов. Обычно концентрации микроэлементов в растениях невелики (0.001% от сухой массы и ниже), но при повышении их уровня в окружающей среде они становятся токсичными для живых организмов¹².

Металлы, переменной валентности, содержащиеся в растениях, выполняют две важные функции: участвуют в окислительно-восстановительных реакциях и входят в состав различных ферментов. Так, медь участвует в фотосинтезе, является донором электронов и входит в состав белка – пластоцианина, также участвующего в фотосинтезе¹³. Марганец способствует расщеплению воды в процессе фотосинтеза, цинк повышает активность фермента хлорофиллазы и участвует в метаболических процессах растения¹⁴. Никель – важный

элемент для функционирования растения, а уреазы – фермент с его содержанием – участвует в азотистом обмене. Наличие кальция очень важно для растения, ионы Ca^{2+} выполняют важнейшие функции в клеточном сигналинге, являются «скелетом» растения, собирая клетки. Содержание этого металла в растении составляет 0.1–5 % от сухого веса¹⁵. Установлено, что ионы Cu^{2+} индуцируют накопление ионов кальция и активацию кальций-зависимой протеинкиназы в корнях риса¹⁶.

Содержание вышеперечисленных металлов в высушенном соке серпухи не превышает значений допустимых границ, вызывающих токсический эффект при применении¹⁷, а также свидетельствует о сохранении минерального состава при выделении из растения. Стоит отметить рекордное количество кальция, содержащегося в высушенном соке, в сотни раз превышающее количество других металлов (табл. 1). Близкими по значениям содержания Ca^{2+} являются сыр пармезан и семена кунжута.

Следует отметить, что 2021 год был для региона сбора аномальным с ранней, засушливой весной, что сказалось на его минеральном составе, особенно это отразилось на содержании Mn, Cu, Zn и Ca.

В отличие от содержания необходимых металлов, влияющих на процессы развития и роста растения, тяжелые металлы, не являющиеся микроэлементами, среди которых важнейшие загрязнители окружающей среды – Cd, Hg и Pb, негативно отражаются на здоровье растения даже в относительно невысоких концентрациях^{18, 19}. Было установлено, что содержание токсичных металлов в высушенных соках серпухи (табл. 2) не превышает предельно допустимые концентрации, при-

нятые для лекарственных растений и растительных препаратов²⁰, и практически не зависит от количества выпавших в сезоне осадков.

Тяжелые металлы относятся к группе рассеянных элементов и загрязнение почв ими носит в основном антропогенный характер. Согласно регламенту предельно допустимых концентраций токсичных элементов, содержание их не превышает нормативного значения.

В последнее время активно исследуются механизмы взаимозависимости минерального состава растения, фитогормонов²¹ и брассиностероидов²², которые поддерживают жизненный ресурс растения в неблагоприятных условиях. В этом отношении экидистероиды в растении выполняют защитную функцию от насекомых-фитофагов³. При анализе содержания экидистероидов в соках *Serratula coronata* на было установлено, что их количество не зависит от содержания металлов (табл. 3).

Таблица 3

**Количественное содержание суммы
экидистероидов в высушенном соке
*Serratula coronata***

Год сбора	Содержание экидистероидов, %
2017	7.8
2018	6.0
2019	6.2
2021	6.4
2022	10.8

Таким образом, в результате впервые проведенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии, установлено количественное и качественное содержание металлов в составе высушенного сока надземной части растения *Serratula coronata*. Выявлен факт уменьшения содержания металлов (Mn, Cu, Zn, Ca), опосредованный сезонной аномалией (засухой) 2021 г. Определено, что содержание токсичных элементов (Pb, Cd, As, Hg) во всех изученных образцах не превышает норм, рекомендованных отечественной фармакопеей. Выполненные исследования позволяют отнести растения серпухи венценой, собранные в Уфимском районе Башкирии, к экологически чистому лекарственному сырью, богатому источнику кальция.

Литература

1. Володин В.В., Орлова И.В., Носов А.М., Смоленская И.Н. Фитоэкидистероиды. – Сыктывкар: Коми НЦ РАН, 2003. – 250 с.
2. Комиссарова Е.Ю., Вандышев В.В., Мирошникова Е.А., Терехин А.А., Климакин Г.И. Фармакогностическое изучение плодов серпухи венценой // Вестник РУДН. Сер. Агрономия и животноводство. – 2014. – №3. – С.20-28.
3. Ахрем А.А., Ковганко Н.В. Экидистероиды: Химия и биологическая активность. – Минск: Наука и техника, 1989. – 325 с.
4. Savchenko R.G., Veskina N.A., Odinokov V.N., Benkovskaya G.V., Parfenova L.V. Ecdysteroids: isolation, chemical transformations, and biological activity // Phytochem. Rev. – 2022. – V.21. – Pp.1445-1486.
5. Odinokov V.N., Galyautdinov I.V., Nedopekin D.V., Khalilov L.M., Shashkov A.S., Kachala V.V. Phytoecdysteroids from the juice of *Serratula coronata* L. (Asteraceae) // Insect Biochem. Mol. Biol. – 2002. – Pp.161-165.
6. Пятина И. С., Бастамова Р. И., Реут А. А., Сафиуллина Л. М., Шакурова Э. Р. Исследование элементного состава растений рода *Hemerocallis* L., произрастающих на территории Республики Башкортостан // Вестник Башкирского университета. – 2021. – Т.26, №4. – С.944-949.
7. Пятина И.С., Реут А.А., Афонькина С.Р., Шакурова Э.Р. Минеральный состав цветков и стеблей некоторых представителей рода *Hemerocallis* L. Вестник Башкирского университета. 2022. Т. 27. №4. С. 897-903.
8. Drava G., Iobbi V., Govaerts R., Minganti V., Copetta A., Ruffoni B., Bisio A. Trace elements in edible flowers

References

1. Volodin V.V., Orlova I.V., Nosov A.M., Smolenskaya I.N. *Fitoekdisteroidy* [Phytoecdysteroids]. Syktyvkar, Komi NC RAN Publ., 2003, 250 p.
2. Komissarova E.Yu., Vandysh V.V., Miroshnikova E.A., Terekhin A.A., Klimakhin G.I. *Farmakognosticheskoe izuchenie plodov serpukhi ventsenosnoy* [Pharmacognostical study of fruits of *Serratula coronata*]. *Vestnik RUDN. Ser. Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bulletin of RUDN University. Ser. Agronomy and Livestock], 2014, no.3, pp.20-28.
3. Akhrem A.A., Kovganko N.V. *Ekdisteroidy: khimiya i biologicheskaya aktivnost'* [Ecdysteroids: Chemistry and biological activity]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1989, 325 p.
4. Savchenko R.G., Veskina N.A., Odinokov V.N., Benkovskaya G.V., Parfenova L.V. [Ecdysteroids: isolation, chemical transformations, and biological activity]. *Phytochem. Rev.*, 2022, vol.21, pp.1445-1486.
5. Odinokov V.N., Galyautdinov I.V., Nedopekin D.V., Khalilov L.M., Shashkov A.S., Kachala V.V. [Phytoecdysteroids from the juice of *Serratula coronata* L. (Asteraceae)]. *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 2002, pp.161-165.
6. Pyatina I. S., Bastamova R. I., Reut A. A., Safiullina L. M., Shakurova E. R. *Issledovanie elementnogo sostava rasteniy roda Hemerocallis L., proizrastayushchikh na territorii Respubliki Bashkortostan* [Study of elemental composition of genus *Hemerocallis* L. plants growing on the territory of the Republic of Bashkortostan]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir University], 2021, vol.26, no.4, pp.944-949.
7. Pyatina I.S., Reut A.A., Afonkina S.R., Shakurova E.R. *Mineral'nyi sostav tsvetkov i stebley nekotorykh predstaviteley roda Hemerocallis L.* [Mineral

- from Italy: further insights into health benefits and risks to consumers // *Molecules*.– 2020.– V.25.– P. 2891.
9. dos Santos A.M.P., Silva E.F.R., dos Santos W.N.L., da Silva E.G.P., dos Santos L.O., da Santos B.R., da Sauthier M.C., dos Santos W.P.C. Evaluation of minerals, toxic elements and bioactive compounds in rose petals (*Rosa spp.*) using chemometric tools and artificial neural networks // *Microchem. J.*– 2018.– V.138.– Pp.98-108.
 10. Blindauer C.A., Schmid R. Cytosolic metal handling in plants: determinants for zinc specificity in metal transporters and metallothioneins // *Metallomics*.– 2010.– V.2.– Pp.510-529.
 11. Husted S., Persson D.P., Laursen K.H. Review: The role of atomic spectrometry in plant science // *J. Anal. At. Spectrom.*– 2011.– V.26.– Pp.52-79.
 12. Williams L., Salt D.E. The plant ionome coning into focus // *Curr. Opin. Plant Biol.*– 2009.– V.12, №3.– Pp.247-249.
 13. Ouzounidou G. Copper induced changes on growth, metal content and photosynthetic functions of *Alyssum montanum* L. plants. // *Environ. Exp. Bot.*– 1994.– №34.– Pp.165-172.
 14. Cakmak I., Marschner H. Effect of zinc nutritional status on activities of superoxide radical and hydrogen peroxide scavenging enzymes in bean leaves / In: Barrow N.J. (eds) *Plant Nutrition – from Genetic Engineering to Field Practice. Developments in Plant and Soil Sciences*.– 1993.– V.54.– Springer, Dordrecht.– Pp. 133-137.
 15. White P.J., Broadley M.R. Calcium in plants // *Ann Bot.*– 2003.– V.92, №4.– Pp.487-511.
 16. Yeh C-M., Chen P-S., Huang H-J. Distinct signalling pathways for indication of MAP kinase activities by cadmium and copper in rice roots // *J. Exp. Bot.*– 2007.– V.58, №3.– Pp.659-671.
 17. Annan K., Kojo A.I., Cindy A., Samuel A., Tunkumgnen B.M. Profile of heavy metals in some medicinal plants from Ghana commonly used as components of herbal formulations // *Pharm Res.*– 2010.– V.2, №1.– Pp.41-44.
 18. Башкин В.Н., Касимов Н.С. Биогеохимия.– М.: Научный мир, 2004.– 648 с.
 19. Hassan Z., Aarts M.G.M. Opportunities and feasibilities for biotechnological improvement of Zn, Cd or Ni tolerance and accumulation in plants // *Environ. Exp. Biol.*– 2011.– V.72.– Pp.53-63.
 20. ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Государственная фармакопея РФ. XIV изд. Т. II.– М., 2018.– С. 2370-2382.
 21. Singh R.P., Tripathi R.D., Sinha S.K. Response of higher plants to lead contaminated environment // *Chemosphere*.– 1997.– V.34.– Pp.2467-2493.
 22. Villers F., Jourdain A., Bastien O. Evidence for functional interaction between brassinosteroids and cadmium response in *Arabidopsis thaliana* // *J. Exp. Bot.*– 2012.– V.63, №3.– Pp.1185-1200.
 - composition of flowers and stems of some representatives of the genus *Hemerocallis* L.]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir University], 2022, vol.27, no.4, pp.897-903.
 8. Drava G., Iobbi V., Govaerts R., Minganti V., Copetta A., Ruffoni B., Bisio A. [Trace elements in edible flowers from Italy: further insights into health benefits and risks to consumers]. *Molecules*, 2020, vol.25, p.2891.
 9. dos Santos A.M.P., Silva E.F.R., dos Santos W.N.L., da Silva E.G.P., dos Santos L.O., da Santos B.R., da Sauthier M.C., dos Santos W.P.C. [Evaluation of minerals, toxic elements and bioactive compounds in rose petals (*Rosa spp.*) using chemometric tools and artificial neural networks]. *Microchem. J.*, 2018, vol.138, pp.98-108.
 10. Blindauer C.A., Schmid R. [Cytosolic metal handling in plants: determinants for zinc specificity in metal transporters and metallothioneins]. *Metallomics*, 2010, vol.2, pp.510-529.
 11. Husted S., Persson D.P., Laursen K.H. [Review: The role of atomic spectrometry in plant science]. *J. Anal. At. Spectrom.*, 2011, vol.26, pp.52-79.
 12. Williams L., Salt D.E. [The plant ionome coning into focus]. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 2009, vol.12, no.3, pp.247-249.
 13. Ouzounidou G. [Copper induced changes on growth, metal content and photosynthetic functions of *Alyssum montanum* L. plants]. *Environ. Exp. Bot.*, 1994, no.34, pp.165-172.
 14. Cakmak I., Marschner H. [Effect of zinc nutritional status on activities of superoxide radical and hydrogen peroxide scavenging enzymes in bean leaves]. In: Barrow N.J. (eds) *Plant Nutrition – from Genetic Engineering to Field Practice. Developments in Plant and Soil Sciences*, 1993, vol.54, Springer, Dordrecht, pp. 133-137.
 15. White P.J., Broadley M.R. [Calcium in plants]. *Ann Bot.*, 2003, vol.92, no.4, pp.487-511.
 16. Yeh C-M., Chen P-S., Huang H-J. [Distinct signalling pathways for indication of MAP kinase activities by cadmium and copper in rice roots]. *J. Exp. Bot.*, 2007, vol.58, no.3, pp.659-671.
 17. Annan K., Kojo A.I., Cindy A., Samuel A., Tunkumgnen B.M. [Profile of heavy metals in some medicinal plants from Ghana commonly used as components of herbal formulations]. *Pharm Res.*, 2010, vol.2, no.1, pp.41-44.
 18. Bashkin V.N., Kasimov N.S. *Biogeochemiya* [Biogeochemistry]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2004, 648 p.
 19. Hassan Z., Aarts M.G.M. [Opportunities and feasibilities for biotechnological improvement of Zn, Cd or Ni tolerance and accumulation in plants]. *Environ. Exp. Biol.*, 2011, vol.72, pp.53-63.
 20. ОФС.1.5.3.0009.15. *Opredelenie soderzhaniya tjazhelykh metallov i mysh'yaka v lekarstvennom rastitel'nom syr'e i lekarstvennykh rastitel'nykh preparatakh* [Determination of heavy metals and arsenic in medicinal plants and herbal medicinal products]. *Gosudarstvennaya farmakopeya RF* [State Pharmacopeia of the Russian Federation]. Moscow, 2018, ed. XIV, vol.2, pp.2370-2382.
 21. Singh R.P., Tripathi R.D., Sinha S.K. [Response of higher plants to lead contaminated environment]. *Chemosphere*, 1997, vol.34, pp.2467-2493.
 22. Villers F., Jourdain A., Bastien O. [Evidence for functional interaction between brassinosteroids and cadmium response in *Arabidopsis thaliana*]. *J. Exp. Bot.*, 2012, vol.63, no.3, pp.1185-1200.