

УДК 547.913:581.13:582.71

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НЕКОТОРЫХ РАСТЕНИЙ РОДА *ONOSMA*

© Д.С. Круглов*, В.В. Величко, Е.Д. Олешко

Новосибирский государственный медицинский университет, Красный пр.,
52, Новосибирск, 630091, Россия, kruglov_ds@mail.ru

Род *Onosma* входит в трибу *Lithospermeae* семейства *Boraginaceae* и представлен 230 видами. В народной медицине растения рода используются при лечении различных патологий и в т.ч. при заболеваниях крови, что может быть обусловлено и спецификой микроэлементного статуса растений. В этой связи представляет особый интерес микроэлементный состав растения как возможного источника микроэлементов кроветворного комплекса, а также оценить возможность использования микроэлементного состава для стандартизации сырья.

В качестве объектов исследования служили надземные части растений наиболее распространенных видов – *O. simplissima* L., *O. gmelinii* Ledeb. *O. arenaria* Waldst. et Kit. и *O. barsczewskii* Lipsky, собранных в фазе цветения. Содержание микроэлементов определяли методом масс-спектрографии с индуктивно-связанной плазмой. Все измерения проводили на 5 пробах и полученные значения усредняли.

В результате анализа было определено содержание 61 макро- и микроэлемента. Для анализа полученных данных была использована авторская методика, основанная на применении методов кластерного анализа.

Было установлено, что микроэлементный статус исследуемых растений имеет выраженную видоспецифичность и определяется в большей степени геномом растения, а не его местом произрастания.

В результате проведенных исследований было установлено, что применение препараты оносм могут быть малоэффективны в качестве антианемических средств, так как железо в них, вероятнее всего, будет в виде цитотоксичного ферро-иона.

Видоспецифичность микроэлементного статуса растений может быть использована для определения подлинности сырья.

Ключевые слова: *Lithospermeae*, *Boraginaceae*, *Onosma simplissima*, *Onosma gmelinii*, *Onosma arenaria*, *Onosma barsczewskii*, микроэлементы, кластерный анализ, дисэлементоз, хемосистематика.

Для цитирования: Круглов Д.С., Величко В.В., Олешко Е.Д. Микроэлементный состав некоторых растений рода *Onosma* // Химия растительного сырья. 2024. №3. С. 287–293. DOI: 10.14258/jcprm.20240314368.

Введение

Растения семейства бурачниковых (*Boraginaceae*) широко представлены в мировой флоре и издавна используются в народной медицине для лечения различных заболеваний [1]. Семейство *Boraginaceae* включает в себя более 3000 видов [2], из которых отдельный интерес представляют растения трибы воробейниковых (*Lithospermeae* Dumort.), распространенные преимущественно в умеренных и тропических регионах [3]. Большинство растений этой трибы объединены в азиатский род [4] – оносма (*Onosma* L.).

В России преобладающим видом является оносма простейшая (*O. simplissima* L.), на Алтае и юге Сибири встречаются о. гмелина (*O. gmelinii* Ledeb.) и о. зауральская (*O. transrhymense* Klok.), которую часто считают о. песчаной (*O. arenaria* Waldst. et Kit.) [5], но этот вид типичен для Балкан. Наиболее близким к российскому ареалу центральноазиатским видом можно считать о. борщевского (*O. barsczewskii* Lipsky) [5].

В народной медицине азиатских стран растения рода *Onosma* используются при ревматизме, заболеваниях мочевыводящей системы, аритмиях [4], гипертонии, [6], а также при заболеваниях дыхательной системы [7]. Растения рода *Onosma* содержат [8] алканин и шиконин, флавоноиды, феруловую и ванилиновую кислоты, которые могут оказывать ранозаживляющее, антибактериальное [4] и противовирусное [9] действие.

В то же время в народной медицине описано использование оносм при заболеваниях крови [3], что наряду с другими группами БАС может быть обусловлено и спецификой микроэлементного статуса расте-

* Автор, с которым следует вести переписку.

ний [10]. В этой связи представляет особый интерес микроэлементный состав растения как возможного источника микроэлементов кровяного комплекса. Кроме того, видоспецифичность элементного статуса растений [11] может быть использована в фармакогностическом анализе ЛРС при определении его подлинности и доброкачественности и в целях стандартизации лекарственного растительного сырья [12].

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования служили надземные части растений наиболее распространенных видов, собранных в фазе цветения (табл. 1).

Собранное сырье доводили в процессе естественной сушки при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, измельчали и фракционировали до частиц размером менее 2 мм.

Аналитическую навеску измельченного сырья помещали во фторопластовый вкладыш, добавляли 5 мл концентрированной азотной кислоты и растворяли в процессе СВЧ-нагрева в микроволновой печи. Растворенную пробу после охлаждения количественно переносили в пробирку и доводили объем до 10 мл водой деионизованной. В дальнейшем отбирали в мерную пробирку аликвоту (1 мл) и доводили до 10 мл 0.5%-ной азотной кислотой. Содержание микроэлементов определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре ELAN 9000 [13]. Для контроля правильности определения использовали метод добавок. Все измерения проводили на 5 пробах и полученные значения усредняли [14].

Результаты и обсуждение

В результате анализа было определено содержание 61 макро- и микроэлемента (Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U в исследуемых объектах (табл. 2).

Таблица 1. Объекты исследования

Образец	Вид	Место произрастания	Координаты места сбора	
			широта	долгота
1	<i>O. simplissima</i> обр. А	каменистый склон сопки Лысяя 4 км на юг от пос. Горный Тогу-чинский район Новосибирская область	55°08'	83°88'
2	<i>O. simplissima</i> обр. В	мелкосопочник в окр. пос. Дария Шетский район Карагандинская область Республика Казахстан	49°02'	72°61'
3	<i>O. gmelinii</i> обр. А	полянная степь на южном склоне р. Джасатор в 1.5 км на восток от с. Беляши, Кош-Агачский район, Республика Алтай	49°71'	87°43'
4	<i>O. gmelinii</i> обр. В	каменистый склон хр. Каратау в 5.5 км на юг от пос. Таукент, Созакский район, Туркестанская область Республика Казахстан	43°82'	68°66'
5	<i>O. arenaria</i>	песчаная степь в 2.5 км на восток от пос. Кладово Борский округ Республика Сербия	44°30'	22°41'
6	<i>O. barszczewskii</i>	южный каменистый склон ущелья Кондары 6 км на север от с. Варзоб Варзобский район Душанбинская область Республика Таджикистан	38°84'	68°82'

Таблица 2. Содержание микроэлементов в исследуемых образцах, в мкг/г в пересчете на абсолютно сухое сырье

Элемент	<i>O. simplissima</i> обр. А	<i>O. simplissima</i> обр. В	<i>O. Gmelini</i> обр. А	<i>O. Gmelini</i> обр. В	<i>O. arenaria</i>	<i>O. barszczewskii</i>
1	2	3	4	5	6	7
Li	0.12	0.22	0.12	0.22	0.56	2.76
Be	0.026	0.022	0.001	0.001	0.039	0.092
B	24.1	48.2	15.2	45.0	93.9	51.5
Na	64.0	102.7	37.6	135.9	504.9	271.5
Mg	1854.0	3114.7	2089.7	2553.1	2252.3	3032.3
Al	150.2	614.0	140.8	176.1	1106.5	948.9
Si	2549.8	195.1	1240.0	1280.6	7836.0	9025.1
P	2492.0	1883.4	2237.9	1579.4	4170.2	1561.9

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
K	21418.6	12959.1	24188.0	27131.4	14336.0	17830.5
Ca	19072.0	25588.9	38334.3	48614.8	54972.9	42128.9
Ti	9.3	31.4	6.56	8.57	43.9	84.7
V	0.68	0.45	0.75	0.053	1.17	1.5
Cr	1.1	2.78	1.56	2.45	3.32	1.93
Mn	38.0	39.5	166.7	116.8	204.0	92.8
Fe	219.9	441.9	263.8	355.3	788.4	931.1
Co	0.50	0.32	0.31	0.84	1.21	1.88
Ni	1.73	1.46	1.41	1.47	2.95	1.57
Cu	8.54	12.2	5.84	6.83	4.8	4.61
Zn	18.7	16.7	14.6	18.5	17.2	16.9
Ga	0.55	0.17	0.078	0.054	0.3	0.39
Ge	0.0092	0.013	0.0037	0.0075	0.047	0.072
As	1.37	0.001	0.0005	0.001	0.0005	0.0005
Se	0.71	0.19	0.8	0.4	0.69	1.14
Br	40.6	23.9	7.96	3.4	2.24	52.2
Rb	17.4	13.8	14.5	16.8	4.21	52.9
Sr	63.7	90.5	96.5	96.5	294	97.9
Y	0.36	0.33	0.063	0.058	0.49	2.03
Zr	0.41	0.87	0.086	0.12	0.98	0.75
Nb	0.034	0.062	0.018	0.018	0.091	0.55
Mo	0.39	0.39	0.24	0.43	0.39	0.16
Ag	0.03	0.0048	0.014	0.0019	0.011	0.016
Cd	0.065	0.12	0.013	0.015	0.18	0.025
Sn	2.03	0.038	0.057	0.023	0.10	0.43
Sb	0.052	0.018	0.017	0.0001	0.022	0.018
I	0.011	0.04	0.14	0.024	0.016	0.11
Cs	0.11	0.19	0.12	0.16	0.086	1.24
Ba	100.8	159.8	77.6	275.3	1281.6	119.9
La	0.37	0.89	0.094	0.12	1.19	4.97
Ce	0.27	1.02	0.18	0.2	1.68	1.57
Pr	0.07	0.18	0.02	0.021	0.2	0.64
Nd	0.29	0.62	0.086	0.068	0.72	2.2
Sm	0.069	0.14	0.017	0.015	0.12	0.39
Eu	0.013	0.02	0.0062	0.0001	0.026	0.041
Gd	0.078	0.14	0.014	0.018	0.15	0.47
Tb	0.011	0.017	0.0028	0.0026	0.019	0.06
Dy	0.056	0.077	0.012	0.0088	0.089	0.28
Ho	0.012	0.013	0.0026	0.0021	0.016	0.051
Er	0.026	0.031	0.0051	0.0054	0.04	0.13
Tm	0.0031	0.0046	0.0015	0.0009	0.0058	0.018
Yb	0.016	0.025	0.0037	0.0046	0.032	0.097
Lu	0.0021	0.0046	0.0006	0.0010	0.0052	0.015
Hf	0.011	0.019	0.0013	0.0038	0.026	0.021
Ta	0.002	0.001	0.0012	0.0033	0.0086	0.046
W	0.031	0.012	0.0072	0.0093	0.029	0.034
Au	0.0002	0.0001	0.0005	0.0001	0.0003	0.0001
Hg	0.0039	0.013	0.018	0.0069	0.0055	0.0052
Tl	0.012	0.03	0.049	0.039	0.022	0.29
Pb	0.52	2.34	0.20	0.15	1.79	0.89
Bi	0.0048	0.019	0.0026	0.007	0.015	0.0062
Th	0.021	0.077	0.017	0.023	0.1	0.24
U	0.0099	0.022	0.0085	0.0054	0.033	0.039

Для анализа полученных данных была использована авторская методика [15], основанная на применении методов кластерного анализа. В этом алгоритме вводится понятие виртуального многомерного пространства, базисными ортами которого являются нормированные концентрации микроэлементов. При формировании такого пространства важным условием единственности положения точки в N-мерном пространстве является не коллинеарность ортов, т.е. необходимое условие, чтобы ни один из ортов не был в линейной зависимости от любого другого [16]. На настоящий момент нет данных, свидетельствующих о линейной

зависимости содержания микроэлементов между собой в растении. В таком случае положение каждого исследуемого объекта (в данном случае это совокупности содержаний микроэлементов) в этом пространстве является некой точкой (z) с координатами $-z(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где: x_i – нормированное содержание i -того элемента, а n – число элементов. Далее проводится расчет Евклидовых расстояний между точками:

$$r^2 = \sum_i^n (x_1^i - x_2^i)^2$$

и точки, для которых

$$|r_j^2 - r_k^2| \leq \varepsilon$$

где ε – заданная величина допустимого отклонения, объединяются в одно подмножество, называемое кластером. Таким образом, можно сделать вывод что для любой точки в кластере (а) расстояние между ней и другими точками будет меньше расстояния между точками, принадлежащими разным кластерам, т.е. выполняется условие:

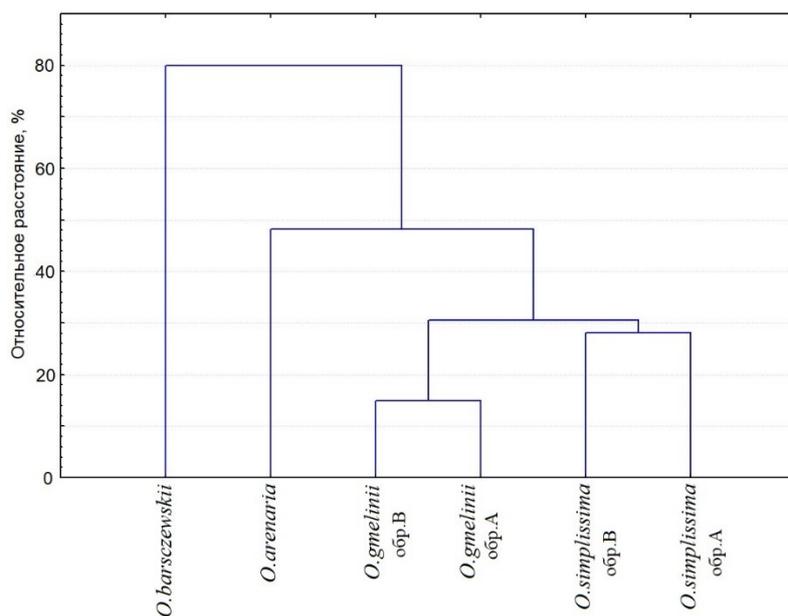
$$\forall_a r_{ij}^a < R_{(ia)(jb)}.$$

За величину ε принимается величина индивидуальной изменчивости содержания микроэлементов по заросли, которая находится в пределах 15–30% [17, 18].

По данным, приведенным в таблице 1, был проведен кластерный анализ с использованием метода Варда объединения точек, в котором в качестве расстояния между кластерами берется прирост суммы квадратов расстояний объектов до центров кластеров, получаемый в результате их объединения [19]. Полученное в итоге иерархическое дерево приведено на рисунке.

С позиций возможного применения сырья оносмы как источника микроэлементов кроветворного комплекса для терапии анемий соотношение содержания марганца и железа таково, что последнее скорее всего будет находиться в препарате в виде двухвалентного ферро-иона. Как известно, терапия двухвалентным железом недостаточно эффективна и вызывает нежелательные побочные реакции из-за его цитотоксичности [20].

С позиций применения микроэлементного статуса растений в задачах хемосистематики видна его высокая прогностическая способность. Действительно, одни и те же виды попадают в близкие кластеры независимо от места их произрастания, а разные виды попадают в значимо отличающиеся кластеры. Причем европейский вид *O. arenaria* более близок к *O. gmelinii* и *O. simplissima*, чем азиатский вид *O. barsczewskii*, что может быть связано с нахождением этих видов в разных участках ареала. Представители рода – виды *O. arenaria*, *O. gmelinii* и *O. simplissima* произрастают в основном в северной части ареала в отличие от *O. barsczewskii*.



Иерархическое дерево исследуемых объектов

Выводы

1. Установлено, что применение сырья оносмы как источника антианемических препаратов может быть малоэффективно, так как соотношение содержания марганца и железа таково, что последнее, вероятнее всего, будет находиться в препарате в виде цитотоксичного ферро-иона.

2. Показано, что микроэлементный статус растений является видоспецифичным и кластерный анализ микроэлементного состава может быть использован для определения подлинности и доброкачественности сырья.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Новосибирского государственного медицинского университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Sivakrishnan S., Swamivelmanickam M. Ethnopharmacology of Boraginaceae Family – An Update // Journal of Global Pharma Technology. 2019. Vol. 11, no. 9. Pp. 10–24.
2. Chacon Ju., Luebert F., Hilger H.H., Ovchinnikova S., Selvi F., Cecchi L., Guilliams M., Hasenstab-Lehman K.E., Sutory K., Simpson M.G., Weigend M. The borage family (Boraginaceae s.str.): A revised infrafamilial classification based on new phylogenetic evidence, with emphasis on the placement of some enigmatic genera // Taxon. 2016. Vol. 65(3). Pp. 523–546. DOI: 10.12705/653.6.
3. Yan Yu., Wei X., Qiu B., Wang G., Zhou B., Zhang M., Liu Y., Li S., Gao B., Li M. Exploring pharmaphylogeny from multiple perspectives: a case study on Lithospermeae // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. 7636. DOI: 10.1038/s41598-023-34830-4.
4. Kumar N., Kumar R., Kishore K. *Onosma* L.: A review of phytochemistry and ethnopharmacology // Phcog. Rev. 2013. Vol. 17. Pp. 140–151. DOI: 10.4103/0973-7847.120513.
5. Попов М.Г. Бурачниковые – Boraginaceae G. Don // Флора СССР. М.; Л., 1953. Т. 19. С. 97–691.
6. Wazir N.U., Khan I.A., Javed A., Khan T., Jabbar A. *Onosma hispidum* L. extract reverses hyperlipidemia, hypertension, and associated vascular dysfunction in rats // Saudi Journal of Biological Sciences. 2023. Vol. 30, no. 8. Pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.sjbs.2023.103712.
7. Ozgen U., Houghton P.J., Ogundipe Y., Coşkun M. Antioxidant and antimicrobial activities of *Onosma argentatum* and *Rubia peregrine* // Fitoterapia. 2003. Vol. 74, no. 7-8. Pp. 682–685. DOI: 10.1016/s0367-326x(03)00161-8.
8. Jabbar A.A., Abdullah F.O., Hassan A.O., Galali Y., Hassan R.R., Rashid E.Q., Salih M.I., Aziz K.F. Ethnobotanical, Phytochemistry, and Pharmacological Activity of *Onosma* (Boraginaceae): An Updated Review // Molecules. 2022. Vol. 27. 8687. DOI: 10.3390/molecules27248687
9. Shilov S.V., Ustenova G., Kiyekbayeva L.N., Korotetskiy I.S., Kudashkina N.V., Zubenko N.V., Parenova R.A., Jumagazyeva A.B., Iskakbayeva Z.A., Kenesheva S. Component Composition and Biological Activity of Various Extracts of *Onosma gmelinii* (Boraginaceae) // International Journal of Biomaterials. 2022. Article 4427804. DOI: 10.1155/2022/4427804.
10. Kruglov D.S. Investigation of medicinal teas applied in hypoferric anemia phytoterapy // European Journal of Natural History. 2007. Vol. 5. Pp. 56–57.
11. Kruglov D.S., Kruglova M.Yu., Olennikov D.N. Interrelation of the microelement status and component composition of essential oil taken from plants of *Filipendula* genus // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2020. Vol. 46, no. 7. Pp. 1378–1384. DOI: 10.1134/S1068162020070055.
12. Круглов Д.С., Прокушева Д.Л., Величко В.В. Микроэлементный статус растения в стандартизации лекарственного растительного сырья // Фармация. 2023. №6. С. 12–18. DOI: 10.29296/25419218-2023-06-02.
13. МУК 4.1.1483-03. Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавок методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой: методические указания. М., 2003. 36 с.
14. Круглов Д.С., Прокушева Д.Л. Микроэлементный состав наиболее распространенных растений рода *Artemisia* L. // Химия растительного сырья. 2022. №3. С. 139–149.
15. Круглов Д.С. Применение метода многофакторной кластеризации для анализа микроэлементного состава растений // Вестник Пермской государственной фармацевтической академии. 2022. Спец. выпуск. С. 53–57.

16. Шафаревич И.Р., Ремизов А.О. Линейная алгебра и геометрия. М., 2009. 511 с.
17. Круглов Д.С. Индивидуальная изменчивость элементного состава надземной части *Pulmonaria mollis* Hornem // Химия растительного сырья. 2010. №1. С. 131–136.
18. Круглов Д.С., Величко В.В., Карташова М.Е. Изменчивость микроэлементного состава подземных и надземных побегов нонеи русской // Химия растительного сырья. 2023. №4. С. 269–276. DOI: 10.14258/jcprm.20230412575.
19. Hartigan J.F. Clustering algorithms. N.Y., 1975. 366 p.
20. Круглов Д.С. Лекарственные средства, применяемые для профилактики и лечения железодефицитных состояний // Научное обозрение. Медицинские науки. 2017. №4. С. 26–41.

Поступила в редакцию 12 декабря 2023 г.

После переработки 27 февраля 2024 г.

Принята к публикации 20 марта 2024 г.

*Kruglov D.S.**, *Velichko V.V.*, *Oleshko Ye.D.* TRACE-ELEMENT COMPOSITION OF SOME GENUS *ONOSMA* SPECIES

Novosibirsk State Medical University, Krasny av., 52, Novosibirsk, 630091, Russia, kruglov_ds@mail.ru

The genus *Onosma* belongs to the tribe *Lithospermeae* of the family *Boraginaceae* and is represented by 230 species. In folk medicine, plants of the genus are used to treat various pathologies, including blood diseases, which may be due to the specificity of the microelement status of the plants. In this regard, the microelement composition of the plant as a possible source of microelements for the hematopoietic complex is of particular interest, as well as to assess the possibility of using the microelement composition for standardization of raw materials. The objects of the study were the aboveground parts of plants of the most common species – *O. simplissima* L., *O. gmelinii* Ledeb. *O. arenaria* Waldst. et Kit. and *O. barsezewskii* Lipsky collected in the flowering phase. The content of microelements was determined by mass spectroscopy with inductively coupled plasma. All measurements were carried out on 5 samples and the obtained values were averaged. As a result of the analysis, the content of 61 macro- and microelements was determined. The obtained data were analyzed using the author's methodology based on the application of cluster analysis methods.

It was found that the microelement status of the studied plants has a pronounced species specificity and is determined to a greater extent by the plant genome, rather than by its place of growth.

As a result of the studies, it was found that the use of *onosma* preparations may be ineffective as antianemic agents since the iron in them is likely to be in the form of a cytotoxic ferro-ion.

Species specificity of the microelement status of plants can be used to determine the authenticity of raw materials.

Keywords: *Lithospermeae*, *Boraginaceae*, *Onosma simplissima*, *Onosma gmelinii*, *Onosma arenaria*, *Onosma barsezewskii*, microelements, cluster analysis, diselementosis, chemosystematics.

For citing: Kruglov D.S., Velichko V.V., Oleshko Ye.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 3, pp. 287–293. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240314368.

References

1. Sivakrishnan S., Swamivelmanickam M. *Journal of Global Pharma Technology*, 2019, vol. 11, no. 9, pp. 10–24.
2. Chacon Ju., Luebert F., Hilger H.H., Ovchinnikova S., Selvi F., Cecchi L., Guilliams M., Hasenstab-Lehman K.E., Sutory K., Simpson M.G., Weigend M. *Taxon*, 2016, vol. 65(3), pp. 523–546. DOI: 10.12705/653.6.
3. Yan Yu., Wei X., Qiu B., Wang G., Zhou B., Zhang M., Liu Y., Li S., Gao B., Li M. *Scientific Reports*, 2023, vol. 13, 7636. DOI: 10.1038/s41598-023-34830-4.
4. Kumar N., Kumar R., Kishore K. *Phcog. Rev.*, 2013, vol. 17, pp. 140–151. DOI: 10.4103/0973-7847.120513.
5. Popov M.G. *Flora SSSR*. [Flora of the USSR]. Moscow; Leningrad, 1953, vol. 19, pp. 97–691. (in Russ.).
6. Wazir N.U., Khan I.A., Javed A., Khan T., Jabbar A. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2023, vol. 30, no. 8, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.sjbs.2023.103712.
7. Ozgen U., Houghton P.J., Ogundipe Y., Coşkun M. *Fitoterapia*, 2003, vol. 74, no. 7-8, pp. 682–685. DOI: 10.1016/s0367-326x(03)00161-8.
8. Jabbar A.A., Abdullah F.O., Hassan A.O., Galali Y., Hassan R.R., Rashid E.Q., Salih M.I., Aziz K.F. *Molecules*, 2022, vol. 27, 8687. DOI: 10.3390/molecules27248687.
9. Shilov S.V., Ustenova G., Kiyekbayeva L.N., Korotetskiy I.S., Kudashkina N.V., Zubenko N.V., Parenova R.A., Jumagazyjeva A.B., Iskakbayeva Z.A., Kenesheva S. *International Journal of Biomaterials*, 2022, article 4427804. DOI: 10.1155/2022/4427804.

* Corresponding author.

10. Kruglov D.S. *European Journal of Natural History*, 2007, vol. 5, pp. 56–57.
11. Kruglov D.S., Kruglova M.Yu., Olennikov D.N. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2020, vol. 46, no. 7, pp. 1378–1384. DOI: 10.1134/S1068162020070055.
12. Kruglov D.S., Prokusheva D.L., Velichko V.V. *Farmatsiya*, 2023, no. 6, pp. 12–18. DOI: 10.29296/25419218-2023-06-02. (in Russ.).
13. MUK 4.1.1483-03. *Opredeleye soderzhaniya khimicheskikh elementov v diagnostiruyemykh biosubstratakh, pre-paratakh i biologicheski aktivnykh dobavok metodom mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoy argonovoy plazmoy: metodicheskiye ukazaniya*. [MUK 4.1.1483-03. Determination of the content of chemical elements in diagnosed bio-substrates, preparations and biologically active additives by mass spectrometry with inductively coupled argon plasma: guidelines]. Moscow, 2003, 36 p. (in Russ.).
14. Kruglov D.S., Prokusheva D.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2022, no. 3, pp. 139–149. (in Russ.).
15. Kruglov D.S. *Vestnik Permskoy gosudarstvennoy farmatsevticheskoy akademii*, 2022, special edition, pp. 53–57. (in Russ.).
16. Shafarevich I.R., Remizov A.O. *Lineynaya algebra i geometriya*. [Linear algebra and geometry]. Moscow, 2009, 511 p. (in Russ.).
17. Kruglov D.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 1, pp. 131–136. (in Russ.).
18. Kruglov D.S., Velichko V.V., Kartashova M.Ye. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2023, no. 4, pp. 269–276. DOI: 10.14258/jcpm.20230412575. (in Russ.).
19. Hartigan J.F. *Clustering algorithms*. N.Y.: John Wiley & Sons Inc., 1975, 366 p.
20. Kruglov D.S. *Nauchnoye obozreniye. Meditsinskiye nauki*, 2017, no. 4, pp. 26–41. (in Russ.).

Received December 12, 2023

Revised February 27, 2024

Accepted March 20, 2024

Сведения об авторах

Круглов Дмитрий Семенович – доцент кафедры фармацевтической химии, доцент кафедры фармакогнозии и ботаники, kruglov_DS@mail.ru

Величко Виктория Владимировна – заведующая кафедрой фармакогнозии и ботаники, kruglov_DS@mail.ru

Олешко Егор Данилович – студент, kruglov_DS@mail.ru

Information about authors

Kruglov Dmitry Semenovich – Associate Professor of the Department of Pharmaceutical Chemistry, Associate Professor of the Department of Pharmacognosy and Botany, kruglov_DS@mail.ru

Velichko Victoria Vladimirovna – Head of the Department of Pharmacognosy and Botany, kruglov_DS@mail.ru

Oleshko Egor Danilovich – Student, kruglov_DS@mail.ru