



С.В. Овсиенко 
В.М. Шукин  
Е.А. Блинкова 
Н.Е. Кузьмина 

Определение методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой содержания тяжелых металлов, мышьяка и алюминия в лекарственном растительном сырье «Тыквы семена» и нативных продуктах на его основе

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научный центр экспертизы средств медицинского применения»
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Петровский б-р, д. 8, стр. 2, Москва, 127051, Российская Федерация

✉ Шукин Виктор Михайлович; schukin@expmed.ru

РЕЗЮМЕ

Семена тыквы относятся к нативным продуктам. Их характерная особенность заключается в том, что они могут потребляться напрямую, без предварительной экстракции исходного сырья. Количество элементных токсикантов в исходном лекарственном сырье полностью соответствует таковому в нативном продукте. В связи с этим изучение особенностей накопления элементных токсикантов семенами тыквы является актуальным. **Цель работы** — определение содержания тяжелых металлов, As и Al в лекарственном растительном сырье и нативных продуктах «Семена тыквы» и оценка степени накопления этих элементов в зависимости от места произрастания. **Материалы и методы:** в качестве объектов исследования использовали нативные продукты «Семена тыквы» отечественных производителей, а также семена тыквы, собранные в местах с различной антропогенной нагрузкой. Пробоподготовку проводили методом микроволнового разложения, анализ содержания элементов — методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. **Результаты:** экспериментально установлено содержание эссенциальных, условно эссенциальных, потенциально токсичных и токсичных элементов в семенах тыквы. Проведен сравнительный анализ элементного состава семян тыквы и семян, зерен и бобов различных масличных, зерновых и зернобобовых сельскохозяйственных культур. **Выводы:** содержание нормируемых элементных токсикантов (As, Cd, Hg, Pb) в исследованных образцах лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов «Тыквы семена» не превышает норм, установленных отечественной фармакопеей. Ненормируемые токсичные элементы либо не присутствуют в семенах тыквы (Tl), либо присутствуют в незначительных количествах (Al). Содержание ряда эссенциальных элементов (Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, Cr) в семенах тыквы выше, чем в семенах многих масличных культур. Место произрастания тыквы не оказывает существенного влияния на содержание исследованных элементов в семенах тыквы. В условиях сильного загрязнения окружающей среды семена тыквы способны накапливать аномально высокие количества Cd, Co и Ni.

Ключевые слова: семена тыквы; нативный продукт; тяжелые металлы; мышьяк; алюминий; масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой; ИСП-МС

Для цитирования: Овсиенко С.В., Шукин В.М., Блинкова Е.А., Кузьмина Н.Е. Определение методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой содержания тяжелых металлов, мышьяка и алюминия в лекарственном растительном сырье «Тыквы семена» и нативных продуктах на его основе. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств.* 2022;12(1):41–55. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2022-12-1-41-55>

S.V. Ovsienko 
V.M. Shchukin  
E.A. Blinkova 
N.E. Kuz'mina 

Determination of Heavy Metals, Arsenic, and Aluminum Content in Pumpkin Seed Herbal Substance and Native Products, by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products,
8/2 Petrovsky Blvd, Moscow 127051, Russian Federation

✉ **Victor M. Shchukin**; schukin@expmed.ru

ABSTRACT

Pumpkin seeds belong to the so-called native products. Their characteristic feature is that they can be consumed directly, without prior extraction of the starting material. All elemental toxicants contained in pumpkin seeds are transferred in full to the native product. Therefore, it is important to study specific aspects of elemental toxicant accumulation by pumpkin seeds. **The aim of the study** was to determine the content of heavy metals, As, and Al in pumpkin seed herbal substance and native products, and to assess the degree of accumulation of these elements, depending on the vegetation area. **Materials and methods:** the study evaluated pumpkin seed native products by Russian manufacturers as well as pumpkin seeds harvested in areas with different anthropogenic load. The sample preparation was performed by microwave digestion, and the determination of the elemental toxicants was performed by inductively coupled plasma mass spectrometry. **Results:** the pumpkin seeds were shown to contain essential, probably essential, potentially toxic, and toxic elements. The authors performed comparative analysis of the elemental composition of pumpkin seeds as well as seeds, grains, and beans of various oil-bearing, grain, and leguminous crops. **Conclusions:** the content of the specified elemental toxicants (As, Cd, Hg, Pb) in the tested samples of pumpkin seed herbal substance and herbal medicinal products did not exceed the limits established by the Russian Pharmacopoeia. The unspecified toxic elements were either absent in pumpkin seeds (Tl) or found in trace amounts (Al). The content of a number of essential elements (Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, Cr) in pumpkin seeds was higher than in the seeds of many oil-bearing crops. The vegetation area had no significant influence on the content of the tested elements in the pumpkin seeds. Pumpkin seeds are capable of accumulating abnormally high amounts of Cd, Co, and Ni in areas with high environmental pollution.

Key words: pumpkin seeds; native product; heavy metals; arsenic; aluminum; inductively coupled plasma mass spectrometry; ICP-MS

For citation: Ovsienko S.V., Shchukin V.M., Blinkova E.A., Kuz'mina N.E. Determination of heavy metals, arsenic, and aluminum content in pumpkin seed herbal substance and native products, by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya. Regulyatornye issledovaniya i ekspertiza lekarstvennykh sredstv = Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation.* 2022;12(1):41–55. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2022-12-1-41-55>

Введение

Одним из основных показателей качества лекарственного растительного сырья (ЛРС) и лекарственных растительных препаратов (ЛРП) является содержание в них элементов-токсикантов (ЭТ), которое строго нормируется. В настоящее время необходима корректировка существующих норм содержания ЭТ в ЛРС и ЛРП из-за изменений в нормативной и методологической

документации. Так, в Государственной фармакопее Российской Федерации, Европейской фармакопее и Фармакопее США изменен принцип нормирования содержания тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка (As) в ЛРС и ЛРП с суммарного на селективный [1]. Полуколичественный калориметрический метод элементного анализа заменен на количественные спектральные методы: масс-спектрометрию с индуктивно связанной

плазмой (ИСП-МС)¹, атомно-эмиссионную спектрометрию с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС)² и атомно-абсорбционную спектрометрию (ААС)³. Изменен метод извлечения элементов из органической матрицы: с метода разложения в открытых сосудах, который ведет к частичной потере летучих элементов, на метод разложения в закрытых сосудах. Кроме того, необходимость корректировки обусловлена тенденцией обоснования норм содержания As и Tm в лекарственных препаратах (в частности нативных ЛРП) суточной нормой потребления элемента, а не величиной его предельной допустимой концентрации (ПДК)⁴.

Переход от ПДК к суточной дозе потребления ведет к необходимости оценки степени перехода ЭТ из ЛРС в ЛРП, которая зависит от способа переработки ЛРС. Особую категорию ЛРП составляют нативные продукты на основе ЛРС, которые не содержат никаких вспомогательных веществ⁵. Характерная особенность нативных ЛРП заключается в том, что они потребляются напрямую, без какой-либо предварительной экстракции (водной, спиртовой или масляной). Как следствие, при их употреблении все элементы-токсиканты, содержащиеся в исходном ЛРС, переходят в организм человека. Данная особенность нативных продуктов диктует необходимость нормировать содержание в них элементных токсикантов по аналогии с синтетическими лекарственными препаратами.

В России наиболее распространенными нативными продуктами на основе ЛРС являются слоевища ламинарии, семена льна посевного и семена тыквы⁶. Слоевища ламинарии и семена льна широко изучены, требования к содержанию ЭТ в них отражены в соответствующих фармакопейных статьях. Известно, что слоевища ламинарии обладают уникальной способностью накапливать Cd и As в его нетоксичной органической форме, поэтому для ламинарии установлены индивидуальные нормы содержания As (90 мг/кг вместо 0,5 мг/кг⁷ [2]) и Cd (4 мг/кг вместо 1 мг/кг⁸). В Европейской фармакопее также установлена индивидуальная норма по содержанию Cd в семенах льна (0,5 ppm вместо 1 ppm)⁹, при этом в последнее время нормы по содержанию данного элемента в Европе ужесточаются¹⁰. В отличие от других нативных продуктов на основе ЛРС, в отношении семян тыквы не проводилось систематических исследований по особенностям накопления в них ЭТ.

Семена тыквы и продукты их переработки оказывают противоязвенное, гепатопротекторное, желчегонное действие и обладают противогельминтной активностью¹¹ [3–6]. Их применяют при гепатите, жировой дистрофии печени, холецистохолангите, дискинезии желчевыводящих путей, гастрите, изжоге, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, колите, энтероколите, геморрое,

¹ ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. Т. 2. М.; 2018.

ОФС.2.4.27. Тяжелые металлы и мышьяк в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Фармакопея Евразийского экономического союза. General Monograph 2.4.27. Heavy metals analysis in herbal drugs and herbal drug preparations. European Pharmacopoeia. Supplement 10.5. 10th ed. Strasbourg; 2019.

Elemental impurities—procedures. General chapters 233. United State Pharmacopoeia USP43–NF38. Rockville, MD; 2019.

² Elemental impurities—procedures. General chapters 233. United State Pharmacopoeia USP43–NF38. Rockville, MD; 2019.

³ General Monograph 2.4.27. Heavy metals analysis in herbal drugs and herbal drug preparations. European Pharmacopoeia. Supplement 10.5. 10th ed. Strasbourg; 2019.

ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. Т. 2. М.; 2018.

ОФС.2.4.27. Тяжелые металлы и мышьяк в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Фармакопея Евразийского экономического союза.

⁴ Q3D(R2) Guideline for elemental impurities, 2020.

⁵ Приложение к Рекомендации Коллегии Евразийской экономической комиссии от 10.05.2018 № 6 «Руководство по качеству лекарственных растительных препаратов».

⁶ ФС.2.5.0026.15. Льна посевного семена; ФС.2.5.0080.18. Ламинарии слоевища (морская капуста); ФС.2.5.0100.18. Тыквы семена. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. Т. 4. М.; 2018.

⁷ ФС.2.5.0080.18. Ламинарии слоевища (морская капуста). Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. Т. 4. М.; 2018. Monograph 01/2008:1426 Kelp. European Pharmacopoeia. 10th ed. Strasbourg; 2019.

⁸ Monograph 01/2008:1426 Kelp. European Pharmacopoeia. 10th ed. Strasbourg; 2019.

⁹ Monograph 04/2011:0095 Linseed. European Pharmacopoeia. 10th ed. Strasbourg; 2019.

¹⁰ Commission regulation (EU) 2021/1323 of 10 August 2021 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in certain foodstuffs.

¹¹ European Medicines agency. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC) 2012. Assessment report on *Cucurbita pepo* L., semen.

атеросклерозе, простатите, доброкачественной гиперплазии предстательной железы, эрозии шейки матки, а также для лечения герпеса, дерматита, диатеза, псориаза, экземы, ожогов и пародонтоза [6–9]. Имеются данные о заметном противовоспалительном и анальгетическом действии производных семян тыквы [10], а также об их положительном эффекте при сахарном диабете 2-го типа и андрогенной алопеции [11]. Поэтому актуально изучение особенностей накопления ЭТ в данном виде нативных растительных продуктов.

Цель работы – определение содержания тяжелых металлов, As и Al в лекарственном растительном сырье и нативных продуктах «Тыквы семена» и оценка степени накопления этих элементов в зависимости от места произрастания.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали нативные продукты «Семена тыквы» производства ООО «Здоровье» и ООО «Беловодье», а также семена тыквы, собранные в местах с различной антропогенной нагрузкой в 2021 г.: г. Кубинка, г. Красногорск, г. Звенигород, г. Жуковский, с. Абрамцево, с. Конобеево, д. Холдеево (Московская обл.), с. Кемля, с. Ичалки, с. Первомайск, с. Инелей (Мордовия), д. Липово (Чувашская Респ.), с. Староюрьево (Тамбовская обл.). В круг определяемых элементов включили эссенциальные (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, Cr, Co, Se), условно эссенциальные (As, Ni, V) и токсичные (Al, Cd, Hg, Pb, Sr, Tl) элементы. Al был включен в список определяемых элементов, так как он обладает схожими с тяжелыми металлами токсичными свойствами [12].

Извлечение ЭТ из органической матрицы тыквы проводилось путем микроволновой минерализации по методике, разработанной в ФГБУ «НЦЭСМП» Минздрава России [13]. Для установления открываемости Al, As и тяжелых металлов с помощью данной методики были использованы сертифицированные растительные материалы: листья чая TEA LEAVES INST-TL-1 (INST, Польша) и лишайник Lichen Certified reference material BCR 482 (Institute for reference materials and measurements, Бельгия).

Образцы, предварительно высушенные до постоянной массы, подвергали разложению в концентрированной азотной кислоте при температуре 165 °С в системе микроволновой пробоподготовки Milestone EthosUp (Milestone). Элементный анализ природных объектов проводили с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 (Agilent Technologies, США). Количественное определение содержания элементов осуществляли, фиксируя интенсивности сигналов по следующим атомным единицам массы (а.е.м.): Al – 27, V – 51, Cr – 52, Mn – 55, Fe – 56, Co – 59, Ni – 60, Cu – 63, Zn – 66, As – 75, Sr – 88, Mo – 95, Cd – 111, Ba – 137, Hg – 202, Pb – 208.

Для отслеживания дрейфа приборных параметров использовали внутренние стандарты (висмут (Lot BCBZ3947, Sigma-Aldrich), родий, германий (Lot PGE2C7, Reagecon)). Для расчета концентраций применяли метод калибровочной кривой. Использовали следующие стандартные растворы для ИСП-анализа: мультиэлементный № IV (Lot HC90682355, Merck), моноэлементные висмута (Lot BCBZ3947), ртути (Lot BCBV3560), молибдена (Lot BCBT9509), олова (Lot BCBT9505), родия (Lot BCBW5968) – все Sigma-Aldrich, палладия (Lot PPD2819L1, Reagecon), сурьмы (Lot N9304293, Perkin Elmer). Для каждого из образцов за результат измерения брали усредненное значение, полученное от трех параллельных проб, в пяти повторностях каждая (15 измерений).

Результаты и обсуждение

Собственные экспериментальные и литературные данные о содержании нормируемых ЭТ в семенах тыквы различного происхождения представлены в таблице 1.

Согласно собственным результатам исследования As и Hg практически не содержатся в изученных образцах семян тыквы, что хорошо согласуется с литературными данными об особенностях накопления этих элементов наземными растениями [22]. Содержание Cd значительно ниже ПДК (1 мг/кг)¹², его средняя концентрация в изучаемых объектах составляет 0,03 мг/кг при максимальном значении 0,1 мг/кг, что хорошо согласуется с литературными данными об уровне содержания этого токсиканта в масличных культурах

¹² ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. Т. 2. М.; 2018.

Таблица 1. Содержание нормируемых элементных токсикантов в семенах тыквы различного происхождения

Table 1. Content of the specified elemental toxicants in pumpkin seeds of different origin

Место сбора / время сбора <i>Harvesting area / time</i>	Элементный токсикант, концентрация, мг/кг <i>Element, concentration, mg/kg</i>			
	As	Cd	Hg	Pb
г. Кубинка, МО / 2021* <i>Kubinka, Moscow Region / 2021*</i>	ND	0,010 ± 0,001	ND	ND
с. Кемля, Респ. Мордовия / 2021* <i>Kemlya, Rep. Mordovia / 2021*</i>	ND	0,009 ± 0,001	ND	ND
с. Ичалки, Респ. Мордовия / 2021 <i>Ichalki, Rep. Mordovia / 2021</i>	ND	0,045 ± 0,003	ND	ND
с. Первомайск, Респ. Мордовия / 2021* <i>Pervomaysk, Rep. Mordovia / 2021*</i>	ND	0,044 ± 0,002	ND	ND
с. Инелей, Респ. Мордовия / 2021* <i>Ineley, Rep. Mordovia / 2021*</i>	0,009 ± 0,001	0,021 ± 0,001	ND	0,121 ± 0,09
	0,013 ± 0,001	0,017 ± 0,001	ND	0,179 ± 0,05
г. Красногорск, МО / 2021* <i>Krasnogorsk, Moscow Region / 2021*</i>	ND	0,042 ± 0,002	ND	0,227 ± 0,02
г. Жуковский, МО / 2021* <i>Zhukovsky, Moscow Region / 2021*</i>	ND	0,007 ± 0,001	ND	ND
ООО «Здоровье» / 2019* <i>Zdorovye OOO / 2019*</i>	ND	0,048 ± 0,004	ND	ND
ООО «Здоровье» / 2019* <i>Zdorovye OOO / 2019*</i>	ND	0,007 ± 0,001	ND	ND
ООО «Здоровье» / 2019* <i>Zdorovye OOO / 2019*</i>	ND	0,088 ± 0,003	ND	ND
с. Абрамцево, МО / 2021* <i>Abramtsevo, Moscow Region / 2021*</i>	0,006 ± 0,001	0,056 ± 0,005	ND	0,226 ± 0,02
дер. Холдеево, МО / 2021* <i>Kholdeyev, Moscow Region / 2021*</i>	ND	ND	ND	0,013 ± 0,001
с. Конобеево, МО / 2021* <i>Konobeevo, Moscow Region / 2021*</i>	0,007 ± 0,001	0,108 ± 0,004	ND	ND
г. Звенигород, МО / 2021* <i>Zvenigorod, Moscow Region / 2021*</i>	ND	0,039 ± 0,001	ND	ND
с. Староюрьево, Тамбовская обл. / 2021* <i>Staroyurievo, Tambov Region / 2021*</i>	ND	0,006 ± 0,001	ND	ND
ООО «Беловодье» 2021* <i>Belovodye, OOO 2021*</i>	ND	0,007 ± 0,001	ND	ND
р-н Сергиево-Посадский, МО / 2021* <i>Sergiev Posad, Moscow Region / 2021*</i>	ND	0,009 ± 0,001	ND	0,237 ± 0,01
	ND	0,012 ± 0,001	ND	0,399 ± 0,02
	ND	0,013 ± 0,001	ND	0,023 ± 0,001
д. Липово, Чувашская Респ. / 2021* <i>Lipovo, Chuvash Rep. / 2021*</i>	ND	0,009 ± 0,001	ND	0,311 ± 0,02
Бенгази, Ливия / 2021 [14] <i>Benghazi, Libya / 2021 [14]</i>	ND	ND	ND	0,006
Швейцария / 2002–2007 [15] <i>Switzerland / 2002–2007 [15]</i>	–	0,1	<0,02	0,560
Зенджан, Иран / 2014 [16] <i>Zanjan, Iran / 2014 [16]</i>	–	0,073	–	0,121 ± 0,106
Эсфахан, Иран / 2014 [16] <i>Isfahan, Iran / 2014 [16]</i>	–	ND	–	0,235
Шираз, Иран / 2014 [16] <i>Shiraz, Iran / 2014 [16]</i>	–	ND	–	ND

Продолжение таблицы 1

Table 1 (continued)

Место сбора / время сбора <i>Harvesting area / time</i>	Элементный токсикант, концентрация, мг/кг <i>Element, concentration, mg/kg</i>			
	As	Cd	Hg	Pb
Мешхед, Иран / 2014 [16] <i>Mashhad, Iran / 2014 [16]</i>	–	ND	–	0,58 ± 0,35
Хамадан, Иран / 2014 [16] <i>Hamadan, Iran / 2014 [16]</i>	–	ND	–	ND
Хой, Иран / 2014 [16] <i>Khoy, Iran / 2014 [16]</i>	–	ND	–	0,132 ± 0, 48
Литва / 2012–2013 [17] <i>Lithuania / 2012–2013 [17]</i>	–	0,002	–	0,090
Сеул, Республика Корея / 2008–2010 [18] <i>Seoul, Korea / 2008–2010 [18]</i>	–	0.55 ± 0.28	–	ND
Бербис, Гайана [19] <i>Berbice, Guyana [19]</i>	–	17	–	ND
Эссекибо, Гайана [19] <i>Essequibo, Guyana [19]</i>	–	12	–	ND
Демерара, Гайана [19] <i>Demerara, Guyana [19]</i>	–	22	–	ND
Бурса, Турция [20] <i>Bursa, Turkey [20]</i>	0,049 ± 0,004	0,028 ± 0,004	–	0,027 ± 0,002
Зиндер, Нигер / 2004 [21] <i>Zinder, Niger / 2004 [21]</i>	0,45	ND	–	ND

Примечание. «–» – данные по элементу отсутствуют; «ND» – содержание элемента ниже предела обнаружения, МО – Московская область.

* – собственные экспериментальные данные.

Note. – no data available for the element; ND—the element content is below the detection limit.

* experimental data obtained by the authors.

(0,04–0,1 мг/кг [23]). В то же время по литературным данным семена тыквы способны накапливать Cd в больших количествах. Так, аномально высокое содержание Cd (12–22 мг/кг) обнаружено в образцах *Cucurbita maxima* из различных районов Гайаны [19]. Следует отметить, что в данной стране произошла крупнейшая в Латинской Америке техногенная катастрофа, повлекшая за собой попадание большого количества токсичных отходов золотодобывающих шахт в окружающую среду [24]. Как следствие, в сельскохозяйственных растениях данного региона наблюдается повышенное содержание Cd [25].

Среднее содержание Pb в исследованных образцах семян тыквы составляет 0,08 мг/кг при максимальном значении 0,4 мг/кг, что значительно ниже ПДК (6 мг/кг)¹³. По литературным данным содержание этого элемента в семенах тыквы не превышает 0,6 мг/кг [16]. В целом

уровень содержания Pb в семенах тыквы сопоставим с его содержанием в масличных культурах (0,13–0,35 мг/кг) [23].

Экспериментальные и литературные данные о содержании ненормируемых тяжелых металлов и Al в семенах тыквы различного происхождения представлены в таблице 2. В нее не включена информация о Tl, так как он не обнаружен ни в одном из испытуемых образцов, литературные данные о содержании этого элемента в семенах тыквы также отсутствуют. При этом средний уровень содержания Tl в наземных высших растениях составляет 0,1–1,5 мг/кг [26]. Следует отметить, что в литературе практически не представлена информация о содержании в семенах тыквы Al, V, Cr, Sr, Mo и Se. Относительно больше литературных данных приводится для эссенциальных и условно эссенциальных элементов, таких как Co, Fe, Zn, Cu, Mn и Ni.

¹³ Там же.

Среднее содержание элементов в семенах тыквы убывает в следующем порядке: Fe>Zn>Mn>Cu>Al>Mo>Ni>Sr>Cr>Se>Pb>Co>Cd>As>V>Tl (табл. 2). Максимальные концентрации составляют (мг/кг): Al – 9,37 (9,21), Mn – 73,1 (1,54), Fe – 213 (200), Zn – 184 (190), Se – 1,79 (1,29), Pb – 0,40 (0,58). Для сравнения в скобках приведены максимальные концентрации соответствующих элементов, взятые из литературных источников [14, 17, 19–21, 27–36]. Расхождение между установленными нами и представленными в литературе максимальными уровнями накопления Al, Mn, Fe, Zn, Se, Pb семенами тыквы не превышает 30%. Можно предположить, что элементный состав сопряженных почв различных географических районов не оказывает существенного влияния на способность семян тыквы аккумулировать эти элементы. Уровень аккумуляции V, Cr, Co, Ni, Cu, As, Sr, Mo, Cd, напротив, зависит от географического места произрастания тыквы. Необходимо проведение дополнительных исследований, связанных с изучением перехода данных элементов из сопряженных почв в морфологические части тыквы. Большой интерес представляют данные об аккумулятивной способности семян тыквы из различных районов Гайаны, где произошла техногенная катастрофа [19]. В этих образцах обнаружены Co (17 мг/кг) и Ni (66 мг/кг) в аномально высоких концентрациях. Можно предположить, что при сильном воздействии антропогенного фактора защитные барьеры растения оказываются неэффективны, в семенах тыквы накапливаются ЭТ в аномально высоких концентрациях.

Для выявления индивидуальных особенностей накопления элементов семенами тыквы целесообразно сравнить их элементный состав с элементным составом генеративных органов других растений. Генеративные органы растения характеризуются хорошей механической защитой, исключающей поверхностное загрязнение, и являются морфологической частью растения, максимально удаленной от сопряженной почвы. В таблице 3 приведены сравнительные данные по содержанию ненормируемых элементов в семенах тыквы и в семенах, зернах и бобах масличных (арахис, соя, рис, пшеница, кориандр, рапс, горчица, рыжик, сурепица, лен, кукуруза, миндаль, кунжут¹⁴), зерновых (овес, ячмень, гречиха, рожь) и зернобобовых (фасоль, горох) культур.

Сравнительный анализ накопления ТМ и АІ различными семенами, зернами и бобами сельскохозяйственных культур позволяет выявить ряд особенностей, характерных для семян тыквы. Например, семена тыквы характеризуются высоким содержанием Zn, Mo и Sr: их средние концентрации в данном нативном продукте существенно превышают содержание этих элементов в других рассмотренных сельскохозяйственных культурах. Присутствие в семенах тыквы значительного количества Zn отмечено во многих работах [21, 32, 34, 43, 44]. Этот элемент необходим для нормального развития и полового созревания человека, адекватного функционирования его иммунной системы, обеспечения нормального кроветворения, стимулирования процессов регенерации ран¹⁵. Характерно, что соединения Zn, содержащиеся в семенах тыквы, отличаются высокой биодоступностью, поэтому Всемирная организация здравоохранения рекомендует использовать семена тыквы как источник Zn для человека [43]. Литературных данных о способности семян тыквы накапливать Mo и Sr нами не обнаружено.

Уровень содержания Fe в семенах тыквы уступает только его содержанию в семенах кунжута [38, 39, 41], которые традиционно добавляют в пищевые продукты для повышения содержания в них данного эссенциального элемента [44]. При этом концентрация Fe в семенах хлопка, льна, арахиса, сафлора, подсолнечника, сурепицы, горчицы, рапса, рыжика [23, 41], а также в зерновых культурах [42] существенно ниже, чем в семенах тыквы. Аналогичная картина наблюдается для Cu, Cr и Ni.

Среднее содержание Mn в семенах тыквы выше, чем в семенах кунжута и других масличных культур [23, 38, 39], однако уступает его содержанию в зерне, где этот эссенциальный элемент может накапливаться в больших количествах [22, 37]. Уровень содержания Co, Se Cr, Ni в семенах тыквы сопоставим с его концентрацией в семенах масличных и зерновых культур. Установленный нами уровень содержания Al и V в семенах тыквы существенно ниже, чем представленный в литературе для зернового сырья [22, 37] и кунжута [38].

Для объяснения выявленных особенностей накопления семенами тыквы тяжелых

¹⁴ ТР ТС 024/2011 Технический регламент Таможенного союза. Технический регламент на масложировую продукцию.

¹⁵ Trace elements in human nutrition and health. Geneva: WHO; 1996.

Human vitamin and mineral requirements. Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Bangkok: WHO; 2002.

Таблица 2. Содержание ненормируемых элементных токсикантов в семенах тыквы различного происхождения
Table 2. Content of the unspecified elemental toxicants in pumpkin seeds of different origins

Место сбора / время сбора Harvesting area / time	Элементный токсикант, концентрация, мг/кг Element, concentration, mg/kg												
	Al	V	Cr	Co	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Sr	Mo	Se	
г. Кубинка, МО / 2021* Kubinka, Moscow Region / 2021*	9,37 ± 0,09	ND	0,21 ± 0,01	0,11 ± 0,01	107 ± 3	115 ± 10	11,6 ± 0,6	40,8 ± 3,0	1,64 ± 0,11	0,31 ± 0,02	1,88 ± 0,08	ND	
с. Кемля, Респ. Мордовия / 2021* Kemya, Rep. Mordovia / 2021*	1,44 ± 0,05	ND	0,16 ± 0,001	0,02 ± 0,001	52,4 ± 1,1	76,6 ± 3,9	6,17 ± 0,49	30,1 ± 2,0	2,35 ± 0,15	0,46 ± 0,02	1,82 ± 0,07	0,21 ± 0,01	
с. Ичалки, Респ. Мордовия / 2021* Ichalki, Rep. Mordovia / 2021*	2,90 ± 0,19	ND	0,18 ± 0,01	0,02 ± 0,001	93,4 ± 1,4	76,0 ± 1,5	10,23 ± 0,57	42,4 ± 3,4	2,54 ± 0,23	0,46 ± 0,01	2,15 ± 0,13	ND	
с. Первомайск, Респ. Мордовия / 2021* Pervomaysk, Rep. Mordovia / 2021*	0,31 ± 0,02	ND	0,18 ± 0,01	0,07 ± 0,005	74,1 ± 4,9	68,2 ± 2,7	7,69 ± 0,75	34,0 ± 2,2	2,32 ± 0,20	0,98 ± 0,05	2,20 ± 0,17	0,59 ± 0,02	
с. Инелей, Респ. Мордовия / 2021* Ineley, Rep. Mordovia / 2021*	1,51 ± 0,12	0,004 ± 0,001	0,44 ± 0,04	0,11 ± 0,002	79,9 ± 5,2	73,3 ± 5,0	9,10 ± 0,21	41,3 ± 0,4	2,62 ± 0,13	0,91 ± 0,05	2,21 ± 0,20	0,84 ± 0,01	
г. Красногорск, МО / 2021* Krasnogorsk, Moscow Region / 2021*	1,33 ± 0,12	0,009 ± 0,001	0,37 ± 0,03	0,06 ± 0,003	113 ± 7,3	90,0 ± 6,1	9,08 ± 0,18	45,3 ± 1,9	2,80 ± 0,25	1,06 ± 0,1	1,94 ± 0,05	1,79 ± 0,05	
г. Жуковский, МО / 2021* Zhukovskiy, Moscow Region / 2021*	ND	0,001 ± 0,001	0,340,02	0,007 ± 0,002	81,3 ± 5,32	119 ± 6,6	18,8 ± 1,50	29,6 ± 1,4	ND	1,39 ± 0,13	0,41 ± 0,01	ND	
г. Жуковский, МО / 2021* Zhukovskiy, Moscow Region / 2021*	3,29 ± 0,25	ND	0,18 ± 0,01	0,04 ± 0,002	87,1 ± 8,0	45,7 ± 2,4	12,1 ± 1,0	34,2 ± 2,9	0,98 ± 0,005	2,47 ± 0,03	2,31 ± 0,20	ND	
ООО «Здоровье» / 2019* Zdorovye OOO / 2019*	3,17 ± 0,23	ND	0,16 ± 0,01	0,04 ± 0,002	74,5 ± 5	107 ± 10,1	35,2 ± 1,5	37,9 ± 2,0	1,96 ± 0,02	2,11 ± 0,20	1,50 ± 0,12	ND	
ООО «Здоровье» / 2019* Zdorovye OOO / 2019*	3,82 ± 0,15	ND	0,17 ± 0,01	0,03 ± 0,001	69,1 ± 5,1	64,4 ± 3,5	10,4 ± 0,9	42,6 ± 1,5	1,64 ± 0,05	0,72 ± 0,02	1,97 ± 0,02	0,46 ± 0,02	
ООО «Здоровье» / 2019* Zdorovye OOO / 2019*	2,98 ± 0,15	0,002 ± 0,001	0,16 ± 0,01	0,12 ± 0,01	105 ± 9	97,1 ± 3,7	13,7 ± 2,2	51,4 ± 5,0	2,93 ± 0,09	2,97 ± 0,15	0,78 ± 0,03	0,58 ± 0,01	
с. Абрамцево, МО / 2021* Abramtsevo, Moscow Region / 2021*	1,60 ± 0,05	0,003 ± 0,001	0,33 ± 0,01	0,02 ± 0,001	90,3 ± 7,5	75,2 ± 4,9	17,5 ± 1,6	40,1 ± 2,1	0,92 ± 0,02	0,94 ± 0,05	1,10 ± 0,01	ND	
дер. Холдеёво, МО / 2021* Kholdeyevo, Moscow Region / 2021*	1,37 ± 0,08	0,002 ± 0,001	0,29 ± 0,02	ND	68,1 ± 2,1	84,1 ± 2,2	16,1 ± 0,4	46,0 ± 1,4	0,91 ± 0,01	0,77 ± 0,04	ND	ND	
с. Конобеево, МО / 2021* Konobeevo, Moscow Region / 2021*	1,53 ± 0,04	0,001 ± 0,001	0,45 ± 0,03	0,10 ± 0,01	121 ± 9,2	101 ± 6,5	13,5 ± 1,0	50,0 ± 3,5	2,97 ± 0,18	0,85 ± 0,05	1,49 ± 0,10	ND	

Продолжение таблицы 2
Table 2 (continued)

Место сбора / время сбора <i>Harvesting area / time</i>	Элементный токсикант, концентрация, мг/кг <i>Element, concentration, mg/kg</i>												
	Al	V	Cr	Co	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Sr	Mo	Se	
г. Звенигород, МО / 2021* <i>Zvenigorod, Moscow Region / 2021*</i>	ND	0,002 ± 0,001	0,41 ± 0,03	0,06 ± 0,003	68,2 ± 2,7	110 ± 3	12,2 ± 0,8	55,6 ± 1,7	0,008 ± 0,001	0,17 ± 0,01	1,93 ± 0,06	ND	
с. Староурьево, Тамбовская обл. / 2021* <i>Starouryevno, Tambov region / 2021*</i>	5,43 ± 0,44	0,01 ± 0,001	0,21 ± 0,02	0,05 ± 0,001	125 ± 5,0	49,3 ± 1,6	14,5 ± 1,2	48,5 ± 2,9	1,17 ± 0,05	5,61 ± 0,25	2,12 ± 0,09	0,21 ± 0,02	
ООО «Беловодье» / 2021* <i>Belovodye, OOO / 2021*</i>	5,46 ± 0,29	0,01 ± 0,001	0,19 ± 0,01	0,06 ± 0,004	112 ± 1,0	59,7 ± 1,5	15,3 ± 0,9	48,9 ± 4,5	0,85 ± 0,03	2,78 ± 0,25	1,99 ± 0,06	0,07 ± 0,001	
0,23 ± 0,01	ND	0,31 ± 0,03	0,002 ± 0,001	53,4 ± 5,2	82,2 ± 2,8	29,6 ± 0,8	35,5 ± 2,9	ND	ND	0,58 ± 0,09	1,84 ± 0,11	ND	
р-н Сергиево-Посадский, МО / 2021* <i>Sergiev Posad, Moscow Region / 2021*</i>	0,45 ± 0,01	0,001 ± 0,001	0,34 ± 0,02	ND	53,9 ± 2,5	83,4 ± 4,5	53,9 ± 4,0	33,5 ± 1,5	ND	0,46 ± 0,03	1,91 ± 0,08	ND	
3,02 ± 0,02	0,002 ± 0,001	0,22 ± 0,01	0,008 ± 0,001	68,1 ± 3,3	90,0 ± 5,0	29,6 ± 2,8	34,1 ± 2,5	ND	ND	0,32 ± 0,02	0,25 ± 0,01	ND	
д. Липово, Чувашская Респ. / 2021* <i>Lipovo, Resp. Chuvashia / 2021*</i>	1,33 ± 0,03	0,003 ± 0,001	0,16 ± 0,01	0,023 ± 0,001	212 ± 10	183 ± 9	23,7 ± 0,5	73,1 ± 1,1	4,69 ± 0,21	2,31 ± 0,09	3,59 ± 0,06	ND	
Бенгази, Ливия / 2021 [14] <i>Benghazi, Libya / 2021 [14]</i>	-	-	-	-	31 ± 1,1	-	8,8 ± 0,1	-	-	-	-	ND	
Бурса, Турция [20] <i>Bursa, Turkey [20]</i>	2,55 ± 1,03	-	0,087 ± 0,007	0,116 ± 0,01	61,30 ± 2,34	59,16 ± 2,31	10,65 ± 0,31	42,66 ± 1,03	1,93 ± 0,12	-	-	0,041 ± 0,008	
Бербис, Гайана [19] <i>Berbice, Guyana [19]</i>	-	-	-	4,19	36,21	31,88	4,28	-	66,76	-	-	-	
Эссекибо, Гайана [19] <i>Essequibo, Guyana [19]</i>	-	-	-	6,34	36,52	18,22	2,00	-	51,68	-	-	-	
Демерара, Гайана [19] <i>Demerara, Guyana [19]</i>	-	-	-	17,44	56,39	27,78	2,97	-	50,62	-	-	-	
Чебика, Тунис [27] <i>Chebika, Tunisia [27]</i>	-	-	-	-	70,7 ± 6,6	84,2 ± 8,4	-	39,3 ± 2,5	-	-	-	-	
Конья, Турция / 2010–2013 [28]. <i>Konya, Turkey / 2010–2013 [28]</i>	-	-	-	-	71,50 ± 1,87	83,04 ± 1,09	23,49 ± 1,28	42,04 ± 1,78	2,49 ± 0,78	-	-	-	
Литва / 2012–2013 [17] <i>Lithuania / 2012–2013 [17]</i>	-	-	0,82	-	-	93,43	11,65	-	-	-	-	-	

Продолжение таблицы 2

Table 2 (continued)

Место сбора / время сбора <i>Harvesting area / time</i>	Элементный токсикант, концентрация, мг/кг <i>Element, concentration, mg/kg</i>											
	Al	V	Cr	Co	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Sr	Mo	Se
Акуре, Нигерия [29] <i>Akure, Nigeria [29]</i>	-	-	-	ND	42,70	39,85	ND	17,93	-	-	-	-
Эр-Рмяд, Саудовская Аравия / 1999–2000 [30] <i>Riyadh, Saudi Arabia / 1999–2000 [30]</i>	-	-	-	-	136,6	10,9	3,0	-	-	-	-	-
Зиндер, Нигер / 2004 [21] <i>Zinder, Niger / 2004 [21]</i>	9,21	ND	2,84	0,29	106,0	113,0	15,4	49,3	0,53	1,83	0,805	1,29
Венгрия / 1993 [31] <i>Hungary / 1993 [31]</i>	-	-	-	-	200,0	190,0	20,0	80,0	-	-	-	-
Краснодарский край / 2007 [32] <i>Krasnodar region / 2007 [32]</i>	-	-	-	-	62,1	65,4	9,6	27,3	-	-	-	-
Краснодарский край / 2007 [32] <i>Krasnodar region / 2007 [32]</i>	-	-	-	-	65,4	69,8	9,8	31,2	-	-	-	-
Краснодарский край / 2007 [32] <i>Krasnodar region / 2007 [32]</i>	-	-	-	-	82,2	83,3	14,6	37,4	-	-	-	-
Россия / 2018 [33] <i>Russia / 2018 [33]</i>	-	-	0,05 ± 0,012	0,07 ± 0,015	95,0 ± 16	73,0 ± 0,9	11,0 ± 0,2	65,0 ± 1,2	2,0 ± 0,08	-	-	-
Кадуна, Нигерия / 2012 [34] <i>Kaduna, Nigeria / 2012 [34]</i>	-	-	-	0,6 ± 0,01	37,5 ± 0,02	141,4 ± 2,0	-	21,7 ± 0,02	-	-	-	-
Найроби, Кения / 2015 [35] <i>Nairobi, Kenya / 2015 [35]</i>	-	1,54 ± 0,17	5,26 ± 0,37	-	-	53,54 ± 1,44	-	-	-	-	-	0,016 ± 0,001
Джессор, Бангладеш / 2019 [36] <i>Jessore, Bangladesh / 2019 [36]</i>	-	-	-	-	60,17 ± 5,8	187,77 ± 5,00	3,10 ± 0,10	13,50 ± 0,10	-	-	-	-

Примечание. «-» — данные по элементу отсутствуют; «ND» — содержание элемента ниже предела обнаружения, MO — Московская область. Жирным шрифтом выделены аномально высокие концентрации элемента.

* — собственные экспериментальные данные.

Note. — no data available for the element; ND—the element content is below the detection limit; MO—Moscow region. Bold font indicates abnormal concentration of elements.
* experimental data obtained by the authors.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов и алюминия в семенах, зернах и бобах различных сельскохозяйственных культур

Table 3. Content of heavy metals and aluminum in seeds, grains, and beans of various agricultural crops

Элемент <i>Element</i>	Диапазон концентраций металлов, мг/кг (среднее значение, мг/кг) <i>Metal concentration range, mg/kg (mean value, mg/kg)</i>				
	Семена тыквы* <i>Pumpkin seeds*</i>	Масличные культуры <i>Oil-bearing crops</i>	Источник <i>Reference</i>	Зерновые и зернобобовые культуры <i>Grain and leguminous crops</i>	Источник <i>Reference</i>
Al	0,23–9,37 (2,71)	(31,00) (4,40–14,45)	[22] [37]	(38–70) (5,20–19,70)	[22] [37]
V	0,001–1,540 (0,070)	0,0006–0,0100 0,04–0,14 (0,06) (0,93–1,72)	[22] [38] [37]	0,0009–0,0076 (1,21–2,00)	[22] [37]
Cr	0,050–5,26 (0,56)	0,0002–0,2900 0,10–2,10 (0,63) 0,07–0,14 (0,10) (0,028–0,08)	[22] [39] [38] [37]	0,01–0,60 (0,060–0,128)	[22] [37]
Co	0,002–0,600 (0,080)	0,001–0,380 9,30–53,30 (35,92) 0,09–0,31 (0,14) 0,11–0,15 (0,13) (0,01–0,03) (0,053–0,069)	[22] [39] [38] [40] [23] [37]	0,004–0,300 0,069–0,118 (0,097) (0,036–0,080)	[22] [40] [37]
Fe	31,0–212,0 (86,6)	(10–104) 9–81 32–56 (32) 35,2–231,5 (105,7) 53,2–97,9 (71,8) (7,91–32,47)	[41] [22] [42] [39] [38] [23]	33–218 13–43 (28)	[22] [42]
Zn	10,9–190,0 (88,8)	(9–60) 1–41 12,5–42,5 (27,5) 43,09–80,09 (61,79) 44,50–70,80 (52,25) 26,2–31,4 (28,8) (39,8–48,0)	[41] [22] [42] [39] [38] [40] [23]	20–37 11,5–38,5 (25,0) 17,74–29,90 (22,40)	[22] [42] [40]
Cu	3,0–43,9 (14,7)	1,3–10,0 1,9–4,3 (3,1) 12,20–25,20 (19,46) 19,0–27,0 (22,6) 3,16–3,66 (3,41) (0,45–0,99)	[22] [42] [39] [38] [40] [23]	2–15 2,0–5,0 (3,5) 2,38–3,32 (2,78)	[22] [42] [40]
Mn	13,5–80,0 (41,26)	16–103 12–40 (26) 14,60–35,90 (22,98) 14,4–34,7 (19,4) 20,09–23,29 (1,60) (12,8–29,0) (10,9–37,4)	[22] [42] [39] [38] [40] [23] [37]	10–121 13–29 (21) 16,86–22,94 (19,55) (14,8–52,5)	[22] [42] [40] [37]
Ni	0,008–4,69 (1,61)	0,17–1,70 1,00–2,84 (1,61) (0,428–0,838)	[22] [38] [37]	0,1–8,0 (0,260–0,803)	[22] [37]
Sr	0,17–5,61 (1,36)	0,06–2,30 (0,245)	[22] [37]	1,8–3,2 (0,262–0,614)	[22] [37]
Mo	0,2–3,59 (1,65)	0,18 0,71–1,47 (1,18) (0,236–0,267)	[22] [38] [37]	0,9–1,75 (0,138–0,39)	[22] [37]
Se	0,016–1,79 (0,24)	0,0002–253 0,11–0,24 (0,17) (0,2–0,3)	[22] [38] [37]	(0,187–0,258)	[37]

Примечание. *Данные из Гайаны не учитывались.

Note. * Data from Guyana were not taken into account.

металлов и Al необходимо проведение дополнительных исследований их трансредовых переходов из сопряженных почв в морфологические части тыквы (корни, стебель, листья, кожура, мякоть).

Выводы

В ходе проведенных исследований изучен широкий спектр элементных токсикантов, а также эссенциальных и условно-эссенциальных элементов в ЛРС и нативных продуктах «Тыквы семена» с использованием методов ИСП-МС и микроволнового разложения в закрытых сосудах. На основе оценки собственных экспериментальных и литературных данных об элементном составе семян тыквы можно сделать следующие выводы:

- 1) содержание нормируемых элементных токсикантов (As, Cd, Hg, Pb) в исследованных образцах ЛРС и ЛРП «Тыквы семена» не превышает ПДК, установленных ГФ РФ XIV;
- 2) ненормируемые токсичные элементы либо не присутствуют в семенах тыквы (Tl), либо присутствуют в незначительных количествах (Al);
- 3) содержание ряда эссенциальных элементов (Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, Cr) в семенах тыквы выше, чем в семенах многих масличных культур;
- 4) место произрастания тыквы не оказывает существенного влияния на содержание исследованных элементов в семенах тыквы, так как их концентрации варьируют в узком диапазоне;
- 5) в условиях сильного загрязнения окружающей среды семена тыквы способны накапливать аномально высокие количества Cd, Co, Ni.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Кузьмина НЕ, Шукин ВМ, Северинова ЕЮ, Яшкир ВА, Меркулов ВА. Изменение подходов к нормированию содержания тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах (обзор). *Химико-фармацевтический журнал*. 2015;49(7):52–6. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2015-49-7-52-56> [Kuz'mina NE, Shchukin VM, Severinova EYu, Yashkir VA, Merkulov VA. Changes in the approaches to the normalization of heavy metal contents in medicinal herbs and herbal medicines (Review). *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2015;49(7):490–4] <https://doi.org/10.1007/s11094-015-1312-y>
2. Шукин ВМ, Ерина АА, Лисман ЕС, Ваганова ОА. Проблемы нормирования мышьяка в бурых водорослях и лекарственных препаратах на их основе. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения*. 2019;9(3):167–72. [Shchukin VM, Erina AA, Lisman ES, Vaganova OA. Problems of establishing limits for arsenic content in brown algae and brown algae-containing medicinal products. *Vedomosti Nauchnogo tsentra ehkspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya = Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products*. 2019;9(3):167–72 (In Russ.)] <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2019-9-3-167-172>
3. Dorić M, Vidaković S, Kraljić K, Škevin D, Drakula S, Ćurić D. Application of cryogenic grinding pretreatment to enhance extractability of bioactive molecules from pumpkin seed cake. *J Food Process Eng*. 2019;42(8):e13300. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13300>
4. Salehi B, Capanoglu E, Adrar N, Catalkaya G, Shaheen S, Jaffer M, et al. Cucurbits plants: a key emphasis to its pharmacological potential. *Molecules*. 2019;24(10):1854. <https://doi.org/10.3390/molecules24101854>
5. Lim TK. *Edible medicinal and non-medicinal plants*. Netherlands: Springer Science+Business Media; 2012. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1764-0_40
6. Спасов АА, Иежица ИН, Гурова НА, Ивахненко ИВ. Биологически активные пищевые добавки в гастроэнтерологии: современное состояние проблемы. *Новые лекарства и новости фармакотерапии*. 2002;13(1):27–40. [Spasov AA, Iezhitsa IN, Gurova NA, Ivakhnenko IV. Dietary supplement in gastroenterology: current state of the problem. *Novye lekarstva i novosti farmakoterapii = New Drugs and Pharmacotherapy News*. 2002;13(1):27–40 (In Russ.)]
7. Vahlensieck W, Theurer C, Pfitzer E, Patz B, Banik N, Engelmann U. Effects of pumpkin seed in men with lower urinary tract symptoms due to benign prostatic hyperplasia in the one-year, randomized, placebo-controlled GRANU study. *Urol Int*. 2015;94(3):286–95. <https://doi.org/10.1159/000362903>
8. Schulz V, Hänsel R, Blumenthal M, Tyler VE. *Rational phytotherapy: a reference guide for physicians and pharmacists*. Springer Science & Business Media; 2004.
9. Пегова РА, Воробьева ОА, Кольчик ОВ, Большакова АЕ, Жильцова ОЕ, Мельникова НБ. Растительные масла. Состав и перспективы использования масла семян тыквы Cucurbita pepo в терапии (обзор). *Медицинский альманах*. 2014;(2):127–34. [Pegova RA, Vorobieva OA, Kol'chik OV, Bol'shakova AE, Zhil'tsova OE, Mel'nikova NB. Vegetable oils. Composition and prospects for the use of cucurbita pepo pumpkin seed oil in therapy (review). *Meditsinskiy al'manakh = Medical Almanac*. 2014;(2):127–34 (In Russ.)]
10. Wahid S, Alqahtani A, Khan RA. Analgesic and anti-inflammatory effects and safety profile of Cucurbita maxima and Cucumis sativus seeds. *Saudi J Biol Sci*. 2021;28(8):4334–41. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.020>
11. Dotto JM, Chacha JS. The potential of pumpkin seeds as a functional food ingredient: a review. *Sci Afr*. 2020;10:e00575. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00575>

12. Минтель МВ, Землянова МА, Жданова-Заплевичко ИГ. Некоторые аспекты совместного действия алюминия и фтора на организм человека (обзор литературы). *Экология человека*. 2018;(9):12–7. [Intel MV, Zemlyanova MA, Zhdanova-Zaplevichko IG. Some aspects of synergistic action of aluminum and fluorine on the human body (literature review). *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*. 2018;(9):12–7 (In Russ.)]
13. Шукин ВМ, Жигилей ЕС, Ерина АА, Швецова ЮН, Кузьмина НЕ, Лутцева АИ. Валидация методики определения ртути, свинца, кадмия и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах на его основе методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. *Химико-фармацевтический журнал*. 2020;54(9):57–64. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2020-54-9-57-64> [Shchukin VM, Zhigilei ES, Erina AA, Shvetsova YuN, Kuz'mina NE, Luttseva AI. Validation of an ICP-MS method for the determination of mercury, lead, cadmium and arsenic in medicinal plants and related drug preparations. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2020;54(9):968–76] <https://doi.org/10.1007/s11094-020-02306-8>
14. Saad SS, Elmabsout AA, Alshukri A, El-Mani S, Al Mesmary E, Alkuwafi I, et al. Approximate composition analysis and nutritive values of different varieties of edible seeds. *Asian J Med Sci*. 2021;12(6):101–8. <https://doi.org/10.3126/ajms.v12i6.33792>
15. Gasser U, Klier B, Kühn AV, Steinhoff B. Current findings on the heavy metal content in herbal drugs. *Pharmeur Sci Notes*. 2009;(1):37–50. PMID: 19275871
16. Torki Z, Mehrasebi MR, Nazari F, Kamali K, Hosseini MJ. Concentration and exposure assessments of cadmium and lead in pumpkin, sunflower, watermelon, and jabooni seeds collected in Iran. *Fruits*. 2018;7(3(4)):236–42. <https://doi.org/10.17660/th2018/73.4.5>
17. Danilcenko H, Gajewski M, Jariene E, Paulauskas V, Mažeika R. Effect of compost on the accumulation of heavy metals in fruit of oilseed pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. *Styriaca*). *J Elem*. 2016;21(1):21–31. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.2.905>
18. Chung KH, Shin KO, Hwang HJ, Choi KS. Chemical composition of nuts and seeds sold in Korea. *Nutr Res Pract*. 2013;7(2):82–8. <https://doi.org/10.4162/nrp.2013.7.2.82>
19. Mahabir V, Verma V. Application of atomic absorption spectroscopy in food sciences (A study on *Cucurbita maxima*). *APCBEE Procedia*. 2012;2:135–40. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.06.025>
20. Kafaoğlu B, Fisher A, Hill S, Kara D. Chemometric evaluation of trace metal concentrations in some nuts and seeds. *Food Addit Contam Part A*. 2014;31(9):1529–38. <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.947331>
21. Glew RH, Glew RS, Chuang LT, Huang YS, Millson M, Constans D, Vanderjagt DJ. Amino acid, mineral and fatty acid content of pumpkin seeds (*Cucurbita* spp) and *Cyperus esculentus* nuts in the Republic of Niger. *Plant Foods Hum Nutr*. 2006;61(2):49–54. <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0010-z>
22. Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants*. 4th ed. Boca Raton: CRC press; 2011.
23. Серов СН, Асхадуллин ДФ. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в семенах масличных культур. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2010;204:251–4. [Serov SN, Askhadullin DF. Microelements and heavy metals content in oil-yielding crops. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana = Scientific Notes of the Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2010;204:251–4 (In Russ.)]
24. Gedicks A. *Resource rebels: native challenges to mining and oil corporations*. Cambridge MA: South End Press; 2001.
25. Nankishore A. Heavy metal levels in leafy vegetables from selected markets in Guyana. *Int J Agric Technol*. 2014;10(3):651–63.
26. Furini A, ed. *Plants and heavy metals*. Dordrecht: Springer Science & Business Media; 2012. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4441-7>
27. Rezig L, Chouaibi M, Meddeb W, Msaada K, Hamdi S. Chemical composition and bioactive compounds of Cucurbitaceae seeds: potential sources for new trends of plant oils. *Process Saf Environ*. 2019;127:73–81. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.005>
28. Seymen M, Uslu N, Türkmen Ö, Al Juhaimi F, Özcan MM. Chemical compositions and mineral contents of some hull-less pumpkin seed and oils. *J Am Oil Chem Soc*. 2016;93(8):1095–9. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2850-5>
29. Amoo IA, Eleyinmi AF, Illelaboye NO, Akoja SS. Characterisation of oil extracted from gourd (*Cucurbita maxima*) seed. *J Food Agric Environ*. 2004;2(2):38–9.
30. Alfawaz MA. Chemical composition and oil characteristics of pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed kernels. *Food Sci Agric Res*. 2004;(129):5–18.
31. Mansour EH, Dworschák E, Lugasi A, Barna É, Gergely A. Nutritive value of pumpkin (*Cucurbita Pepo* Kakai 35) seed products. *J Sci Food Agric*. 1993;61(1):73–8. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740610112>
32. Васильева АГ, Круглова ИА. Химический состав и потенциальная биологическая ценность семян тыквы различных сортов. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2007;(5–6):30–3. [Vasilieva AG, Kruglova IA. Chemical composition and potential biological value of pumpkin seeds of various varieties. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya = Proceedings of Higher Educational Institutions. Food Technology*. 2007;(5–6):30–3 (In Russ.)]
33. Шевякова ЛВ, Бессонов ВВ. Микроэлементный состав семян тыквы. *Вопросы питания*. 2018;87(5):126–7. [Shevyakova LV, Bessonov VV. Trace element composition of pumpkin seeds. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2018;87(5):126–7 (In Russ.)]
34. Elinge CM, Muhammad A, Atiku FA, Itodo AU, Peni JJ, Sanni OM, et al. Proximate, mineral and anti-nutrient composition of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds extract. *Int J Plant Res*. 2012;2(5):146–50. <https://doi.org/10.5923/j.plant.20120205.02>

35. Muchemi GN, Wanjau RN, Murungi IJ, Njue WM. Assessment of essential trace elements in selected food grains, herbal spices and seeds commonly used in Kenya. *Afr J Food Sci.* 2015;9(8):441–7. <https://doi.org/10.5897/AJFS2015.1333>
36. Amin MZ, Islam T, Uddin MR, Uddin MJ, Rahman MM, Satter MA. Comparative study on nutrient contents in the different parts of indigenous and hybrid varieties of pumpkin (*Cucurbita maxima* Linn.). *Heliyon.* 2019;5(9):e02462. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02462>
37. Урубков СА, Хованская СС, Дремина НВ, Смирнов СО. Анализ химического состава и пищевой ценности зернового сырья для производства продуктов детского питания. *Пищевая промышленность.* 2018;(8):16–21. [Urubkov SA, Khovanskaya SS, Dremina NV, Smirnov SO. Analysis of the chemical composition and nutritional value of grain raw materials for the production of baby foods. *Pishcheyaya promyshlennost' = Food Industry.* 2018;(8):16–21 (In Russ.)]
38. Hu J, Zhou L. Assessment of microelements in six varieties of sesame seeds using ICP-MS. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2019;330(4):042063.
39. Pandey S, Majumder E, Dasgupta T. Genotypic variation of microelements concentration in sesame (*Sesamum indicum* L.) mini core collection. *Agricultural Research.* 2017;6(2):114–21. <https://doi.org/10.1007/s40003-017-0252-z>
40. Василовский АМ, Волошин ЕИ, Скударнов СЕ. Миграция и транслокация микроэлементов в системе «Почва – подземные воды – зерновые и овощи» в сельскохозяйственных районах Красноярского края. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета.* 2010;(8):64–7. [Vasilovsky AM, Voloshin EI, Skudarnov SE. Migration and translocation of microelements in the system «soil – underground waters – grain and vegetables» in the agricultural areas of Krasnoyarsk region. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of the Krasnoyarsk State Agrarian University.* 2010;(8):64–7 (In Russ.)]
41. McKeivith B. Nutritional aspects of oilseeds. *Nutr Bull.* 2005;30(1):13–26. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2005.00472.x>
42. Кондратенко ЕП, Константинова ОБ, Соболева ОМ, Ижмулкина ЕА, Вербицкая НВ. Оценка уровня накопления макро- и микроэлементов зерном озимых культур, выращенных на юго-востоке Западной Сибири. *Достижения науки и техники АПК.* 2015;29(6):18–20. [Kondratenko EP, Konstantinova OB, Soboleva OM, Izhmulkina EA, Verbitskaya NV. Level evaluation of macro- and micronutrients accumulation by grane of winter crops grown in the southeast of Western Siberia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC.* 2015;29(6):18–20 (In Russ.)]
43. Ovca A, van Elteren JT, Falnoga I, Šelih VS. Speciation of zinc in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo*) and degradation of its species in the human digestive tract. *Food Chem.* 2011;128(4):839–46. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.102>
44. Захарова АС, Кузьмина СС, Егорова ЕЮ, Козубаева ЛА. Формирование пищевой ценности булочных изделий с мукой из семян масличных культур. *Ползуновский вестник.* 2020;(4):3–9. [Zakharova AS, Kuz'mina SS, Egorova EYu, Kozubaeva LA. Formation of the nutritional value of bakery products with flour from oilseeds. *Polzunovskiy vestnik = Polzunovsky Bulletin.* 2020;(4):3–9 (In Russ.)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.001>

Вклад авторов. С.В. Овсиенко – идея, планирование исследования, разработка дизайна исследования, интерпретация результатов исследования; В.М. Шукин – сбор образцов, поиск литературы и систематизация литературных данных, написание текста; Е.А. Блинкова – пробоподготовка, проведение эксперимента; Н.Е. Кузьмина – сбор образцов, редактирование текста.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ «НЦЭСМП» Минздрава России № 056-00001-22-00 на проведение прикладных научных исследований (номер государственного учета НИР 121022400083-1).

Authors' contributions. Sergey V. Ovsienko—elaboration of the idea and design of the study, planning of the study, interpretation of the obtained results; Viktor M. Shchukin—collection of samples, literature review and systematisation, writing of the text; Elena A. Blinkova—sample preparation, conducting of experiments; Natalia E. Kuz'mina—collection of samples, editing of the text.

Acknowledgements. The study reported in this publication was carried out as part of publicly funded research project No. 056-00001-22-00 and was supported by the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products (R&D public accounting No. 121022400083-1).

Конфликт интересов. Н.Е. Кузьмина является членом редколлегии журнала «Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств», остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Conflict of interest. Natalia E. Kuz'mina is a member of the Editorial Board of *The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation*, the other authors declare no conflict of interest requiring disclosure in this article.

ОБ АВТОРАХ / AUTHORS

Овсиенко Сергей Васильевич.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9649-716X>
ovsienko@expmed.ru

Шукин Виктор Михайлович.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9440-0950>
Schukin@expmed.ru

Блинкова Елена Александровна.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4813-4740>
blinkovaea@expmed.ru

Кузьмина Наталия Евгеньевна, д-р хим. наук.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9133-0835>
KuzminaN@expmed.ru

Sergey V. Ovsienko.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9649-716X>
ovsienko@expmed.ru

Victor M. Shchukin.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9440-0950>
Schukin@expmed.ru

Elena A. Blinkova.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4813-4740>
blinkovaea@expmed.ru

Natalia E. Kuz'mina, Dr. Sci. (Chem.).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9133-0835>
KuzminaN@expmed.ru

Статья поступила 09.12.2021

После доработки 19.01.2022

Принята к печати 04.03.2022

Article was received 9 December 2021

Revised 19 January 2022

Accepted for publication 4 March 2022