

УДК 574:581.192:615.322:543.421 (470.65)

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТРАВЯНЫХ ЧАЕВ, ИССЛЕДОВАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА И АТОМНОЙ АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

© Ю.В. Лавриненко^{1*}, А.М. Плиева¹, Г.Я. Христовова², М.В. Фронтасьева², И. Зиньковская², К.Г. Ткаченко³

¹ Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова, ул. Ватутина, 44-46, Владикавказ, Республика Северная Осетия-Алания, 362025 (Россия)

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, 141980 (Россия), e-mail: marina@nf.jinr.ru

³ Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской Академии наук, ул. Профессора Попова, 2, Санкт-Петербург, 197376 (Россия)

Растения, входящие в состав травяного чая, имеют сложный химический состав и относятся к лекарственным сборам, обладают фармакологическими свойствами, оказывающими влияние на здоровье человека. Помимо органических кислот, витаминов, флавоноидов, эфирных масел на лекарственные свойства растений влияют входящие в их состав макро- и микроэлементы. Макроэлементы и микроэлементы определяют лекарственные свойства растений, являются веществами, необходимыми для роста и нормального развития человека. В данной работе проанализирован состав семи травяных чаев, разработанных в научном центре Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова, каждый из которых содержит от 3 до 8 растительных компонентов. Растительный материал собран летом 2018 года в горных и предгорных районах Северной Осетии (Кавказ). С помощью инструментального нейтронного активационного анализа и атомной абсорбционной спектроскопии впервые в травяных чаях было определено содержание 37 элементов (Na, Mg, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Cu, As, Se, Br, Rb, Sr, Mo, In, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Tb, Hf, Ta, W, Au, Th, Cd, Pb и U). Полученные результаты обсуждаются с точки зрения использования изучаемых травяных чаев как безопасных источников микроэлементов. Травяные чаи можно использовать как функциональные продукты питания, не являющиеся лекарственным средством, но пополняющие организм человека важными соединениями и элементами, оказывающими определенное положительное воздействие на организм.

Ключевые слова: травяной чай, нейтронно-активационный анализ, безопасность продуктов питания, функциональные продукты питания, макроэлементы, микроэлементы, лекарственные растения, Республика Северная Осетия-Алания.

Введение

Макроэлементы и микроэлементы являются обязательными веществами, необходимыми для роста и нормального развития растений, они также определяют лекарственные свойства растений [1–6]. Растет число публикаций о роли отдельных элементов в жизнедеятельности как растений, так и человека [7–12]. Катионы и анионы, такие как ионы кальция, магния и хлора, влияют на степень гидратации коллоидных мицелл в протоплазме и на проницаемость мембраны. Разница в осмотическом давлении в разных клетках отвечает за меж-

Лавриненко Юлия Валерьевна – кандидат биологических наук, доцент, директор научно-производственного центра по исследованию и рациональному использованию природных ресурсов «Бионариум», ORCID: 0000-0003-1921-7907, e-mail: lavriyuliya@yandex.ru

Плиева Анна Маратовна – студентка, ORCID: 0000-0002-8056-2374, e-mail: plieva.09@bk.ru

Окончание на С. 306.

клеточный транспорт. Например, расширение и сокращение защитных клеток связано с быстрыми потоками K^+ по всей клетке [13]. Это в значительной степени обуславливает научную ценность и практическую важность подобных исследований элементного состава растений, которые человек в том или ином виде потребляет внутри.

* Автор, с которым следует вести переписку.

Травяной чай является смесью высушенных листьев, цветков, плодов и семян. Травяные чаи могут состоять как из высушенного сырья одного вида растения, так и из смеси разных частей некоторого числа видов растений [14].

Растения, входящие в состав травяного чая, имеют сложный химический состав и могут относиться к лекарственным сборам и обладать различными фармакологическими свойствами, оказывающими влияние на здоровье человека. Помимо органических соединений, таких как органические кислоты, витамины, флавоноиды, эфирные масла, на лекарственные свойства растений влияют входящие в их состав макро- и микроэлементы [5, 15–18]. Травяные чаи, как правило, не содержат алкалоида кофеина (теина), характерного для настоя чая, полученного из листьев чайного куста (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze, синоним *Camellia chinensis* (Sims) Kuntze, или *Thea chinensis* Sims) [19].

Исследования показали [20–23], что регулярное употребление травяного чая может способствовать удовлетворению ежедневных диетических потребностей элементов в необходимых для здоровья человека дозах: Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Se, V и Zn [5, 15, 22–24]. Регулярный прием травяного чая вносит значительный вклад в рекомендуемые суточные нормы таких макро- и микроэлементов, как, например, Cr, K, Mn, Ni и Zn [22, 25]. Травяные чаи можно использовать как функциональные продукты питания, не являющиеся лекарственным средством, но пополняющие организм человека важными соединениями и элементами, оказывающими определенное положительное воздействие на организм.

Соответственно, знания о концентрации основных и токсичных элементов для определения качества чая (как травяного, так и «классического», из листьев чайного куста) имеют большое значение для производителей и потребителей [19, 23]. Известно, что чайный куст может накапливать повышенные количества Al, F, Pb, As, Cd и Hg [10, 15, 18, 24, 26–29]. Там также могут находиться следы редкоземельных элементов, включая такие как Ce, La, Nd, Pr и Y [30].

Уровень предельно допустимых концентраций (ПДК) содержания элементов в лекарственных растительных материалах и готовых травяных продуктах не регулируются, поэтому вместо них рассматриваются предельно допустимые уровни, установленные для растений или продуктов питания и напитков [31, 32]. По рекомендации ВОЗ [33] ПДК таких элементов, как As, Cd и для Pb должно контролироваться, чтобы обеспечить безопасность этих сырьевых материалов лекарственных растений. ПДК токсичных элементов в чае и чайной продукции для Российской Федерации установлены Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 [34].

Цель работы – изучение элементного состава травяных чаев, собранных на территории Республики Северная Осетия-Алания методами нейтронного активационного анализа и атомно-абсорбционной спектроскопии.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили травяные чаи, разработанные в научно-производственном центре «Бионариум» Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова. Сырье для составления травяных чаев собрано на территории Республики Северная Осетия-Алания (РСО-А) (табл. 1), которая отличается большой мозаичностью экологических условий из-за горного рельефа. Травяные чаи состояли из смеси вегетативных (листья, стебли) и генеративных органов растений (цветки, плоды и семена), сырье собирали и сушили согласно утвержденной документации [35, 36].

Христозова Гертана Янчева – магистр, младший научный сотрудник, ORCID: 0000-0002-2861-4798, e-mail: hristozova@jinnr.ru

Фронтасьева Марина Владимировна – кандидат физико-математических наук, доцент, советник директора лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, ORCID: 0000-0003-2366-4873, e-mail: marina@nf.jinnr.ru
Зиньковская Инга – кандидат химических наук, начальник сектора нейтронного активационного анализа и прикладных исследований; ORCID: 0000-0003-0820-887X, e-mail: zinikovskaia@mail.ru

Ткаченко Кирилл Гагришович – доктор биологических наук, старший научный сотрудник с возложением обязанностей руководителя группы интродукции полезных растений и лаборатории семеноведения, ORCID: 0000-0001-6841-6561, e-mail: kigatka@gmail.com

Методом нейтронного активационного анализа (НАА) и атомной абсорбционной спектроскопии (ААС) было проанализировано 7 составов травяных чаев, включающих разные виды растений и содержащих от 3 до 8 компонентов трав (табл. 2).

Нейтронный активационный анализ. НАА проводили на импульсном быстром реакторе ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ в Дубне [37]. Концентрации элементов по короткоживущим изотопам определяли при облучении образцов тепловыми нейтронами с мощностью потока $1.6 \times 10^{13} \text{ н см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ в течение 180 с. После времени охлаждения 3 мин навведенную активность образцов измеряли в течение

15 мин. Для определения долгоживущих изотопов образцы облучали в кадмиевом канале потоком резонансных нейтронов 3.31×10^{12} н см⁻² с⁻¹ в течение 3 дней. Затем образцы измеряли дважды, после времени охлаждения 4 и 20 дней. Время измерения варьировалось от 30 мин до 1,5 ч.

Контроль качества аналитических измерений осуществляли с помощью сертифицированных материалов: 433 (Marine sediment – Морские донные отложения), FFA-1 (Fine Fly Ash – зола), OBTL-5 (Tobacco leaves – листья табака), 1547 (Peach leaves – листья персика), 1575a (Pine needles – хвоя).

Таблица 1. Календарь и места заготовок растительного сырья на территории РСО-А

Вид	Место сбора	Вид сырья	Месяц													
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
<i>Alchemilla</i> sp. *	4	трава					+	+								
<i>Epilobium angustifolium</i> L. (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Schur)	5	цветки								+	+					
<i>Crataegus</i> sp. **	2	плоды										+	+			
<i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) Rydb.	5	побеги									+	+				
<i>Ginkgo biloba</i> L.	6	листья										+	+			
<i>Elaeagnus rhamnoides</i> (L.) A.Nelson (<i>Hippophaë rhamnoides</i> L.)	2	плоды											+	+		
<i>Hypericum perforatum</i> L.	1	трава								+	+	+				
<i>Malus domestica</i> Borkh.	6	плоды									+	+	+			
<i>Melissa officinalis</i> L.	6	трава						+	+	+	+					
<i>Mentha</i> × <i>piperita</i> L.	6	листья							+	+	+	+				
<i>Mentha longifolia</i> (L.) L.	1	листья								+	+	+				
<i>Origanum vulgare</i> L.	1	трава								+	+					
<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>hamata</i> Steven (<i>Pinus kochiana</i> Klotzsch ex K.Koch)	4	почки	+	+	+											+
<i>Ribes nigrum</i> L.	6	листья							+	+						
<i>Rosa</i> sp. ***	2	плоды											+	+		
<i>Rubus idaeus</i> L. (<i>Rubus buschii</i> (Rozanova) Grossh.)	4	листья							+	+						
<i>Rubus idaeus</i> L. (<i>Rubus buschii</i> (Rozanova) Grossh.)	4	побеги	+	+	+											+
<i>Thymus</i> sp. ****	2	трава							+	+	+	+				
<i>Tilia cordata</i> Mill.	4	цветки							+	+						
<i>Trifolium pratense</i> L.	5	соцветия								+						
<i>Vaccinium arctostaphylos</i> L.	3	листья							+	+	+					
<i>Vaccinium arctostaphylos</i> L.	3	плоды										+	+			

Примечание: 1 – южные склоны Терского и Кабардино-Сунженского хребтов (окрестности с. Заманкул N 43°20', E 44°24', 525 м н.у.м., с. Карджин N 43°16', E 44°18', 372 м н.у.м., РСО-А); 2 – Чмийская (N 42°49', E 44°36', 1193 м н.у.м.), Наро-Мамиссонская (N 42°40', E 44°01', 1860 м н.у.м.) и Даргавская (N 42°50', E 44°19', 1444 м н.у.м.) семиаридные котловины; 3 – подросток букового леса на северных склонах горы Тарская (N 42°59', E 44°43', 1138 м н.у.м.); 4 – среднегорный лесной пояс, северные склоны Бокового хребта Суаргомского ущелья (N 42°49', E 44°34', 1730 м н.у.м.); 5 – луга лесного пояса и субальпийские луга в Даргавском ущелье (N 42°49', E 44°25', 1545 м н.у.м.), Дигорское ущелье (N 42°55', E 43°31', 2289 м н.у.м.), Суаргомский перевал (N 42°49', E 44°34', 1917 м н.у.м.); 6 – культивируемые в предгорных районах РСО-А. * – родовой комплекс включает виды: *A. sericata* Rehb. ex Buser, *A. caucasica* Buser; ** – родовой комплекс включает виды: *C. monogyna* Jacq., *C. rhipidophylla* Gand.; *** – родовой комплекс включает виды: *R. corymbifera* Borkh., *R. canina* L., *R. oplisthes* Boiss. (синоним *R. svanetica* Cr.p. ex Sommier & Levier; **** – родовой комплекс включает виды: *Th. pulegioides* subsp. *pannonicus* (All.) Kerguelen (синоним *Th. marschallianus* Willd.), *Th. daghestanicus* Klokov & Des.-Shost., *Th. nummularius* M.Bieb. В скобках приведено синонимическое название растений.

Таблица 2. Составы исследуемых травяных чаев

Травяной чай (сбор)	Состав
Букет бодрости	плоды шиповника, листья смородины, трава зверобоя
Дары леса	плоды шиповника, плоды боярышника, побеги малины, листья смородины, листья и цветки иван-чая, почки сосны
Долина здоровья	трава курительского чая, листья гинкго, цветки клевера
Наше ущелье	листья мяты, листья смородины, душица, чабрец, зверобой, листья иван-чая, листья черники кавказской, трава манжетки
Облепишка	плоды облепихи, листья малины, трава Melissa, цветки липы, плоды яблони
Северный цвет	листья и плоды черники кавказской, листья и цветки иван-чая, зеленый чай
Сила скифов	трава курительского чая, трава чабреца, плоды яблони

Обработку γ -спектров наведенной активности проводили с помощью программного обеспечения Genie 2000, а расчет концентраций элементов выполняли с помощью пакета программ, разработанного в ЛНФ ОИЯИ [38].

Атомно-абсорбционная спектроскопия. Cd, Cu, и Pb определяли с помощью атомного абсорбционного спектрометра iCE 3400 с электротермической (графитовая кювета) атомизацией (Thermo Fisher Scientific, США). Для проведения ААС брали 0,3 г образцов растительного сырья и помещали в тефлоновые сосуды. Далее в сосуды с образцами добавляли 5 мл азотной кислоты и 2 мл перекиси водорода. Для полного разложения сосуды помещали в микроволновую систему MARS-6 (микроволновая система разложения проб, СЕМ (США)). Разложение проб осуществляли в два этапа. На первом этапе – при температуре 160 °С, давлении 20 бар, мощности 400 В и времени 15 минут. На втором этапе температура, давление, мощность оставались неизменными в течение 10 минут. После охлаждения до комнатной температуры образцы переносили в колбы объемом 100 мл и доводили до метки бидистиллированной водой.

Контроль качества проводили с использованием стандартных эталонных материалов 1570a (Spinach Leaves) and 1575a (Pine Needles). В обоих случаях экспериментально измеренное содержание элементов в эталонах находилось в хорошем соответствии с рекомендуемыми значениями.

Обсуждение результатов

Результаты исследований элементного состава травяных чаев методами НАА и ААС представлены в таблице 3. Полученные результаты были сопоставлены со справочными значениями концентрации элементов в растительности (Reference plant) [39].

Концентрация элементов изменялась в большинстве случаев в следующем порядке: K > Ca > Mg > Cl > Fe > Na > Mn > Sr > Ti > Zn > Ba > Rb > Br > Ni > Cr > Mo > Se > Co > Ce > V > La > Cs > As > W > Th > Sc > Sb > Sm > Hf > U > In > Ta > Tb > Au.

Такие элементы, как Ca, Cl, K, Mg, Fe, Na имеют наибольшую концентрацию во всех пробах. Элементы Mn, Sr, Ti, Zn, Ba, Rb, Br, Ni, Cr, Mo, Se, Co, Ce, V были обнаружены в незначительном количестве, следовательно, они являются микроэлементами. В следовых количествах обнаружены следующие элементы: La > Cs > As > W > Th > Sc > Sb > Sm > Hf > U > In > Ta > Tb > Au.

Концентрация различных элементов в исследуемых чаях варьирует. Каждый чай характеризуется своим собственным элементным составом. В зависимости от элементного состава каждый травяной чай может быть источником различных необходимых для человеческого организма элементов.

Так, состав травяного чая «Облепиха» характеризуется повышенным содержанием *Na* и *Se* в сравнении с *RP* (Reference plant), также отмечено превышение содержания *Mo* и *Cr* в сравнении с остальными сборами.

Se входит в состав фермента глутатионпероксидазы, который участвует в антиоксидантной защите, принимает участие в регуляции активности цитохрома P450 и ряда ферментов. Селен также рассматривается как антиканцерогенный фактор. *Mo* оказывает благоприятное воздействие на кишечную микрофлору, а также входит в состав ряда ферментов ксантинооксидазы, альдегидоксидазы, сульфитооксидазы. Ксантинооксидаза играет важную роль в обмене пуринов; ее дефицит, в том числе и в связи с недостатком молибдена, приводит к накоплению промежуточных продуктов обмена. Сульфитооксидаза превращает сульфиты в сульфаты. Накопление сульфитов при ферментативной недостаточности может привести к поражению нервной системы. *Cr* участвует в процессе взаимодействия инсулина с его рецепторами. При дефиците хрома нарушается толерантность к глюкозе, она восстанавливается после устранения дефицита микроэлемента [8].

Состав травяного чая «Наше ущелье» характеризуется повышенным содержанием *Mg*, *Cl*, *Ca*, *Fe*, *Co*, *Ni*, *As*, *Se*, *Br*, *Mo* в сравнении с *RP*. В сравнении с другими составами – повышенным содержанием *K*, *Br*, *Mg*, *Cl*, *Ca*.

Mg обладает высоким химическим сродством к кислороду, поэтому в норме он активно участвует в обмене веществ и является универсальным регулятором биохимических и физиологических процессов. Недостаток магния приводит к снижению скорости окислительных реакций и, следовательно, к нарушению обмена веществ и терморегуляции. Кроме того, магний является одним из главных элементов, необходимых для функционирования нервной системы. *K* служит одним из определяющих параметров минерального обмена. Он участвует в регуляции кислотно-щелочного равновесия в организме, а также играет ведущую роль в возникновении и проведении нервного импульса. Электролитный дисбаланс калия/натрия приводит к серьезным

нарушениям со стороны сердечно-сосудистой и нервной систем. Содержание **Ca** и его метаболизм обуславливает физиологический гомеостаз на протяжении всей жизни человека. Этот элемент принимает участие в важнейших метаболических процессах (гликогенолизе, глюконеогенезе, липолизе и др.) [40].

Составу травяного чая «Сила скифов» характерно повышенное содержание **Fe, Co, Se, As, Mo** по сравнению с РР, относительно других травяных сборов повышенное содержание **Fe** и **V**.

Больше всего **V** обнаруживают в составе костей, в почках, печени, селезенке, семенниках. Дефицит ванадия может проявляться нарушением функции печени и почек. **Fe** является жизненно необходимым элементом для организма. Железо входит не только в состав гемоглобина, но также и протоплазмы всех клеток. Оно также содержится в цитохромах, участвующих в процессах тканевого дыхания [8, 40].

Состав травяного чая «Северный цвет» характеризуется по сравнению с РР повышенным содержанием **Mg, Mn, Co, Ni, As, Se** и по сравнению с другими составами – повышенным содержанием **Mn, Se, Zn**.

Mn входит в состав таких ферментов, как аргиназа, пируваткарбоксилаза и супероксиддисмутаза. Этот элемент играет важную роль в процессах ЦНС, его недостаточность напрямую отражается на функциях мозга. **Zn** входит в состав большого количества ферментов и играет важную роль в биохимических процессах, протекающих в организме человека. Цинк необходим для нормального развития детей на первых этапах их жизни, принимая участие в становлении и функционировании иммунной системы, кишечника (регуляция всасывания воды и электролитов), антиоксидантной защиты [8].

В составе «Долина здоровья» по сравнению с РР обнаружено повышенное содержание **Mg, Ca, Co, Se, Mo, U** и по сравнению с другими составами – повышенное содержание **Co**.

В литературных источниках говорится о взаимосвязи таких существенных элементов, как К/Na [41]. В настоящем исследовании соотношение К/Na варьирует от минимума 25/1 в «Облепишке» до максимума 193/1 в «Долине здоровья». Изменение соотношения К/Na для различных образцов графически представлено на рисунке. Соотношение К/Na обычно используется для характеристики мочегонной активности лекарственных растений.

Взаимосвязь нескольких элементов в лекарственных растениях предполагает синергетические или антагонистические эффекты, таким образом обеспечивая организм различными элементами в биодоступной сбалансированной форме практически без вредных последствий, за исключением некоторых загрязняющих веществ окружающей среды.

Содержание тяжелых и токсичных элементов очень важно при изучении элементного состава пищевых продуктов, так как от этих показателей зависит безопасность продукта для употребления его человеком. Как следует из таблицы 3, исследуемые травяные чаи содержат очень малые концентрации токсичных элементов.

Соотношение К/Na в исследуемых составах: 1 – Дары леса, 2 – Облепишка, 3 – Букет бодрости, 4 – Сила скифов, 5 – Наше ущелье, 7 – Северный цвет, 7 – Долина здоровья

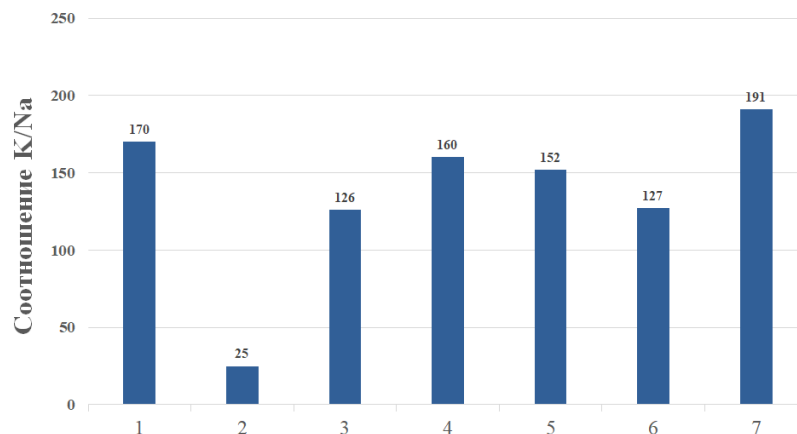


Таблица 3. Элементный состав чаев (мкг/г), полученный с помощью нейтронного активационного анализа и атомной абсорбционной спектрометрии

Элементы	ПДК*	RP (Markert, 1992)	Дары леса	Облепихка	Букет бодрости	Сила скифов	Наше ущелье	Северный цвет	Долина здоровья
Na		150	65±3	475±23	88±4	73±4	111±6	83±4	69±3
Mg		2000	2175±108	1260±63	2270±113	1760±88	3000±150	2405±120	2500±125
Cl		2000	791±79	992±99	422±42	947±95	2320±232	1480±148	1110±111
K		19000	11050±994	11950±1075	11100±999	11700±1053	16850±1516	10550±949	13200±1188
Ca		10000	7755±1395	2400±432	8355±1504	9255±1666	12650±2277	5080±914	12000±2160
Sc		2,00	0,02±0,00	0,04±0,00	0,01±0,00	0,06±0,00	0,06±0,00	0,04±0,00	0,05±0,00
Ti		5	22±4	18±4	26±5	50±10	24±5	17±3	20±4
V		0,50	0,19±0,04	0,35±0,07	0,03±0,00	0,46±0,09	0,39±0,01	0,30±0,06	0,35±0,07
Cr		1,50	0,70±0,15	2,45±0,36	0,47±0,12	1,00 ±0,15	0,96±0,17	1,00±0,14	1,38±0,19
Mn		200	59±6	26±3	70±7	90±9	69±7	313±31	50±5
Fe		150	113±9	132±9	61,9±7	220±13	215±13	151±11	171±12
Co		0,20	0,22±0,01	0,11±0,01	0,17±0,01	0,27±0,01	0,32±0,02	0,29±0,01	0,36±0,02
Ni		1,50	1,55±0,15	1,34±0,15	1,41±0,14	0,91±0,11	2,52±0,23	3,05±0,24	1,74±0,16
Zn		50	19±1	26±1	13±1	22±1	39±2	43±2	22±1
As	1,0	0,10	0,06±0,00	0,07±0,00	0,06±0,00	0,12±0,01	0,14±0,01	0,23±0,01	0,09±0,00
Pb	10,0	1,00	0,76±0,01	1,50±0,02	0,34±0,00	0,97±0,00	1,24±0,01	3,00±0,06	1,22±0,01
Cd	1,0	0,05	0,03±0,00	0,04±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,06±0,00	0,2±0,00	0,01±0,00
Cu	100	10,00	7,40±0,50	6,22±0,08	6,25±0,08	7,23±0,12	8,60±0,08	12,00±0,08	8,50±0,19
Se		0,02	0,37±0,13	0,95±0,34	0,28±0,10	0,22±0,08	0,27±0,10	0,22±0,08	0,24±0,09
Br		4,00	2,40±0,17	4,00±0,28	2,04±0,14	3,85±0,27	8,25±0,58	3,00±0,21	4,00±0,28
Rb		50	8,6±1,5	10,7±1,8	8,5±1,4	4,5±0,8	9,5±1,6	27,0±4,6	6,0±1,0
Sr		50	36±3	14±1	49±4	39±3	52±4	19±2	51±4
Mo		0,5	0,50±0,17	1,42±0,45	0,53±0,18	0,67±0,23	1,14±0,39	0,22±0,10	0,81±0,27
In		0,001	0,006±0,002	0,003±0,001	0,03±0,01	0,001±0,000	0,009±0,003	0,009±0,003	0,004±0,001
Sb		0,100	0,019±0,002	0,031±0,002	0,006±0,0009	0,032±0,003	0,032±0,003	0,051±0,004	0,018±0,002
Cs		0,20	0,07±0,01	0,06±0,01	0,05±0,00	0,04±0,00	0,06±0,00	0,15±0,01	0,03±0,00
Ba		40	11±3	13±2	10±1	41±4	42±6	29±4	37±5
La		0,20	0,10±0,01	0,09±0,01	0,06±0,01	0,15±0,01	0,24±0,02	0,14±0,01	0,12±0,01
Ce		0,50	0,21±0,04	0,23±0,06	0,21±0,05	0,20±0,05	0,36±0,08	0,24±0,06	0,33±0,07
Sm		0,04	0,01±0,00	0,02±0,00	0,007±0,001	0,02±0,00	0,03±0,00	0,02±0,00	0,02±0,00
Tb		0,008	0,002±0,000	0,002±0,000	0,001±0,000	0,003±0,000	0,005±0,001	0,002±0,000	0,003±0,001
Hf		0,005	0,009±0,003	0,015±0,002	0,010±0,001	0,020±0,003	0,024±0,003	0,013±0,003	0,016±0,003
Ta		0,001	0,002±0,000	0,002±0,000	0,002±0,000	0,005±0,001	0,006±0,001	0,004±0,001	0,004±0,001
W		0,20	0,03±0,00	0,16±0,02	0,02±0,00	0,02±0,00	0,04±0,01	0,07±0,01	0,02±0,00
Au		0,0010	0,0004±0,0001	0,0002±0,0001	0,0002±0,0001	0,0004±0,0001	0,0008±0,0002	0,0008±0,0002	0,0002±0,0001
Th		0,005	0,02±0,00	0,03±0,00	0,02±0,00	0,04±0,00	0,05±0,00	0,03±0,00	0,03±0,00
U		0,01	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00

*ПДК As, Pb, Cd – согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ПДК Cu – согласно документу «Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 31 марта 1986 г. № 4089-86)».

Выводы

Концентрация различных элементов в исследуемых травяных чаях, разработанных в научно-производственном центре университета, варьирует. Каждый чай характеризуется своим собственным элементным составом. Эта вариация в содержании элементов может быть объяснена их избирательным поглощением растением из почвы или присущей видам растений, выращиваемых в этом регионе, природой. В зависимости от различного элементного состава каждый чай может быть источником различных необходимых для человеческого организма элементов.

Элементы K, Ca, Mg, Cl, Na, Fe имеют наибольшую концентрацию во всех пробах, их содержание превышает 100 мкг/г. Содержание элементов Mn, Zn, Ba, Rb, Ti, Sr – меньше 100 мкг/г и больше 10 мкг/г, содержание элементов Br, Ni, Cr – меньше 10 мкг/г и больше 1 мкг/г, а содержание таких элементов, как Mo, Se, Co, Ce, V, La, Cs, W, Th, Sc, Sb, Sm, Hf, U, In, Ta, Tb, Au – меньше 1 мкг/г.

По сравнению с «Reference plant» и другими чаями, состав «Облепихи» имеет высокое содержание Na (475 ± 23 мкг/г) и Se ($0,95 \pm 0,34$ мкг/г), состав чая «Наше ущелье» – высокое содержание Mg (3000 ± 150 мкг/г) и Br ($8,25 \pm 0,58$ мкг/г), в «Северном цвете» – высокое содержание Mn ($313 \pm 31,3$ мкг/г).

Все семь травяных чаев имеют низкую концентрацию Pb, Cd, As, Cu по сравнению с ПДК, что говорит об их безопасности для здоровья человека.

Список литературы

1. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.М. Почему растения лечат. М., 1989. 256 с.
2. Ткаченко К.Г. «Золотой ус» или каллисия душистая – панацея? За и против. СПб., 2004. 96 с.
3. Ткаченко К.Г. Сабельник: целительные рецепты. СПб., 2005. 96 с.
4. Киселёва Т.Л., Карпеев А.А., Смирнова Ю.А., Амаликий В.В., Сафонов В.П., Цветаева Е.В., Блинков И.Л., Коган Л.И., Чепков В.Н., Дронова М.А. Лечебные свойства пищевых растений. М., 2007. 533 с.
5. Pohl P., Dzimitrowicz A., Jedryczko D., Szymczycha-Madeja A., Welna M., Jamroz P. The determination of elements in herbal teas and medicinal plant formulations and their tisanes // J. Pharm. Biomed. Anal. 2016. Vol. 130. Pp. 326–335. DOI: 10.1016/j.jpba.2016.01.042.
6. Zoroddu M.A., Crisponi J.A.G., Medici S., Peana M., Nurchi V.M. The essential metals for humans: a brief overview // Journal of Inorganic Biochemistry. 2019. Vol. 195. Pp. 120–129. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2019.03.013.
7. Abdel-Aziz S.M., Abdel-Aziz M.S., Garg N. Health Benefits of Trace Elements in Human Diseases. In: Garg N., Abdel-Aziz S., Aeron A. (eds) Microbes in Food and Health. Springer. Cham. 2016. Pp. 117–142. DOI: 10.1007/978-3-319-25277-3_7.
8. Бельмер С.В., Гасилина Т.В. Микроэлементы и микроэлементозы и их значение в детском возрасте // Вопросы современной педиатрии. 2008. Т. 7, №6. С. 91–96.
9. Arpadjan S., Celik G., Taskesen S., Gucer S. Arsenic, cadmium and lead in medicinal herbs and their fractionation // Food Chem Toxicol. 2008. Vol. 46. Pp. 2871–2875. DOI: 10.1016/j.fct.2008.05.027.
10. Malik J., Frankova A., Drabek O., Szakova J., Ash C., Kokoska L. Aluminium and other elements in selected herbal tea plant species and their infusions // Food Chem. 2013. Vol. 139. Pp. 728–734. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.02.013.
11. Киселёва Т.И., Смирнова Ю.А. Лекарственные растения в мировой медицинской практике: государственное регулирование номенклатуры и качества. М., 2009. 295 с.
12. Каманина И.З., Каплина С.П., Салихова Ф.С. Содержание тяжелых металлов в лекарственных растениях // Научное обозрение. Биологические науки. 2019. №1. С. 29–34.
13. Kathpalia R., Bhatla S.C. Plant Mineral Nutrition. In: Plant Physiology, Development and Metabolism. Springer, Singapore. 2018. Pp. 37–81. DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1_2.
14. Ravikumari C. Review on Herbal Teas // J. Pharm. Sci. & Res. 2014. Vol. 6, no. 5. Pp. 236–238.
15. Desideri D., Meli M.A., Roselli C., Feduzi L. Polarized X ray fluorescence spectrometer (EDPXRF) for the determination of essential and non-essential elements in tea // Microchem. J. 2011. Vol. 98. Pp. 186–189. DOI: 10.1016/j.microc.2011.01.008.
16. Soyлак M., Tuzen M., Souza A.S., Korn das M.G.A., Ferreira S.L.C. Optimization of microwave assisted digestion procedure for the determination of zinc, copper and nickel in tea samples employing flame atomic absorption spectrometry // J. Hazard. Mater. 2007. Vol. 149. Pp. 264–268. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.03.072.
17. Szymczycha-Madeja A., Welna M., Pohl P. Elemental analysis of teas and their infusions by spectrometric methods // TrAC. Trends Anal. Chem. 2012. Vol. 35. Pp. 165–181. DOI: 10.1016/j.trac.2011.12.005.
18. Welna M., Szymczycha-Madeja A., Pohl P. A comparison of samples preparation strategies in the multi-elemental analysis of tea by spectrometric methods // Food Res. Int. 2013. Vol. 53. Pp. 922–930. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.03.030.
19. Yi Zhou Wu. Chinese Tea. Translated by Willams Wu. Shanghai People's Publishing House. 2009. 160 p.

20. Deng Z., Tao B., Li Xiaolin, He J., Chen Y. Effect of green tea and black tea on the metabolisms of mineral elements in old rats // *Biological Trace Element Research*. 1998. Vol. 65, no. 1. Pp. 75–86. DOI: 10.1007/BF02784115.
21. Ткаченко К.Г. Чай // *Справочник секретаря и офис-менеджера*. 2008. №8. С. 73–79.
22. Xie M.Y., von Bohlen A., Klockenkämper R., Jian X. H., Günther K. Multielement analysis of Chinese tea (*Camellia sinensis*) by total-reflection X-ray fluorescence // *Z Lebensm Unters Forsch*. 1998. Vol. 207. Pp. 31–38. DOI: 10.1007/s002170050291.
23. Salahinejad M., Aflaki F. Toxic and essential mineral elements content of black tea leaves and their tea infusions consumed in Iran // *Biol. Trace Elem. Res*. 2010. Vol. 134. Pp. 109–117. DOI: 10.1007/s12011-009-8449-z.
24. Aksuner N., Henden E., Aker Z., Engin E., Satik S. Determination of essential and non-essential elements in various tea leaves and tea infusions consumed in Turkey // *Food Addit. Contam. Part B*. 2012. Vol. 5. Pp. 126–132. DOI: 10.1080/19393210.2012.675592.
25. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. МР 2.3.1.2432 -08. М., 2009. 36 с.
26. Mehra A., Baker C.L. Leaching and bioavailability of aluminium, copper and manganese from tea (*Camellia sinensis*) // *Food Chem*. 2007. Vol. 100. Pp. 1456–1463.
27. Wong M., Zhang Z., Wong J., Lan C. Trace Metal Contents (Al, Cu and Zn) of Tea: Tea and Soil from Two Tea Plantations, and Tea Products from Different Provinces of China // *Environmental Geochemistry and Health*. 1998. Vol. 20, Pp. 87–94. DOI: 10.1023/A:1006545825302.
28. Fung K.F., Carr H.P., Poon B.H.T., Wong M.H. A comparison of aluminum levels in tea products from Hong Kong markets and in varieties of tea plants from Hong Kong and India // *Chemosphere*. 2009. Vol. 75. Pp. 955–962. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.01.003.
29. Kralj B., Krizaj I., Bukovec. Slejko S., Milacic M. Speciation of aluminium in tea infusions by use of SEC and FPLC with ICP–OES and ES–MS–MS detection // *Anal. Bioanal. Chem*. 2005. Vol. 383. Pp. 467–475, DOI: 10.1007/s00216-005-3312-3.
30. Cao X., Zhao G., Yin M., Li J. Determination of ultratrace rare earth elements in tea by inductively coupled plasma mass spectrometry with microwave digestion and AG50W-x8 cation exchange chromatography // *Analyst*. 1998. Vol. 123. Pp. 1115–1119.
31. Коломиец Н.Э., Калинкина Г.И., Марьян А.А., Бондарчук Р.А. Экологические аспекты заготовки и использования лекарственного растительного сырья // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2010. Т. 12, №1-8. С. 2051–2054.
32. Milani R.F., Morgano M.A., Saron E.S., Silva F.F., Cadore S. Evaluation of direct analysis for trace elements in tea and herbal beverages by ICP-MS // *J. Braz. Chem. Soc*. 2015. Vol. 26. Pp. 1211–1217.
33. World Health Organization. Quality control methods for medicinal plant materials. 1998. 115 p. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41986>
34. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (утвержден решением комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880). М., 2011.
35. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIII изд. М., 2015. Т. 1. 1470 с.
36. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. Т. 4. 7019 с.
37. Фронтасьева М.В. Нейтронный активационный анализ в науках о жизни. Обзор // *Физика элементарных частиц и атомного ядра*, 2011. Т. 42, №2. С. 636–716.
38. Pavlov S.S., Dmitriev A.Y., Frontasyeva M.V. Automation system for neutron activation analysis at the reactor IBR-2, Frank Laboratory of Neutron Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia // *J Radioanal Nucl Chem*. 2016. Vol. 309. Pp. 27–38. DOI: 10.1007/s10967-016-4864-8.
39. Markert B. Establishing of 'Reference Plant' for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting // *Water Air Soil Pollut*. 1992. Vol. 64. Pp. 533–538. DOI: 10.1007/BF00483363.
40. Панасенко Л.М., Карцева Т.В., Нефедова Ж.В., Задорина-Хуторная Е.В. Роль основных минеральных веществ в питании детей // *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2018. Т. 63, №1. С. 122–127.
41. Kumar A., Nair A.G.C., Reddy A.V.R., Garg A.N. Analysis of essential elements in Pragyapeya-a herbal drink and its constituents by neutron activation // *Pharma. Biomed. Anal*. 2005. Vol. 37, no. 4. Pp. 631–638. DOI: 10.1016/j.jpba.2004.11.051.

Поступила в редакцию 2 марта 2020 г.

После переработки 10 апреля 2020 г.

Принята к публикации 20 апреля 2020 г.

Для цитирования: Лавриненко Ю.В., Плиева А.М., Христозова Г.Я., Фронтасьева М.В., Зиньковская И., Ткаченко К.Г. Элементный состав травяных чаев, исследованных с помощью инструментального нейтронного активационного анализа и атомной абсорбционной спектроскопии // *Химия растительного сырья*. 2020. №3. С. 305–314. DOI: 10.14258/jcprm.2020037428.

Lavrinenko YU.V.^{1*}, Pliyeva A.M.¹, Khristozova G.YA.², Frontas'yeva M.V.², Zin'kovskaya I.², Tkachenko K.G.³ ELEMENTAL COMPOSITION OF HERBAL TEAS STUDIED BY INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AND ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY

¹ North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, st. Vatutina, 44-46, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, 362025 (Russia)

² Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, 141980 (Russia), e-mail: marina@nf.jinr.ru

³ Botanical Institute. V.L. Komarov Russian Academy of Sciences, st. Professor Popova, 2, St. Petersburg, 197376 (Russia)

The plants that make up herbal tea have a complex chemical composition and can be related to drug collections and have various pharmacological properties that affect human health. In addition to organic acids, vitamins, flavonoids, essential oils, the medicinal properties of plants are affected by macro- and microelements included in their composition. Macronutrients and microelements determine the medicinal properties of plants, are substances necessary for human growth and normal development. The composition of seven herbal teas developed in the scientific center of the North Ossetian State University after K.L. Khetagurov, each of which contains from 3 to 8 plant components was analyzed. Plant material was collected in the summer of 2018 in the mountainous and foothill areas of North Ossetia (Central Caucasus). Using instrumental neutron activation analysis and atomic absorption spectrometry, the presence and determination of 37 elements was carried out for the first time in herbal teas (Na, Mg, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Mo, In, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Tb, Hf, Ta, W, Au, Th, and U). The results are discussed in terms of using the studied herbal teas as a safe source of trace elements. Herbal teas can be used as functional foods that are not a drug, but replenish the human body with important compounds and elements that have a definite positive effect on the body.

Keywords: herbal tea, neutron activation analysis, food safety, functional food, macro elements, microelements, medicinal plants, Republic of North Ossetia-Alania.

References

1. Lovkova M.YA., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M., Buzuk G.N., Sokolova S.M. *Pochemu rasteniya lechat*. [Why do plants heal]. Moscow, 1989, 256 p. (in Russ.).
2. Tkachenko K.G. «Zolotoy us» ili kallisiya dushistaya – panatseya? Za i protiv. ["Golden mustache" or fragrant callis – a panacea? Pros and cons]. St. Petersburg, 2004, 96 p. (in Russ.).
3. Tkachenko K.G. *Sabel'nik: tselitel'nyye retsepty*. [Sabelnik: healing recipes]. St. Petersburg, 2005, 96 p. (in Russ.).
4. Kiselova T.L., Karpeyev A.A., Smirnova YU.A., Amalikiy V.V., Safonov V.P., Tsvetayeva Ye.V., Blinkov I.L., Kogan L.I., Chepkov V.N., Dronova M.A. *Lechebnyye svoystva pishchevykh rasteniy*. [Medicinal properties of food plants]. Moscow, 2007, 533 p. (in Russ.).
5. Pohl P., Dzimitrowicz A., Jedryczko D., Szymczycha-Madeja A., Welna M., Jamroz P. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 2016, vol. 130, pp. 326–335. DOI: 10.1016/j.jpba.2016.01.042.
6. Zoroddu M.A., Crisponi J.A.G., Medici S., Peana M., Nurchi V.M. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 2019, vol. 195, pp. 120–129. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2019.03.013.
7. Abdel-Aziz S.M., Abdel-Aziz M.S., Garg N. Health Benefits of Trace Elements in Human Diseases. In: Garg N., Abdel-Aziz S., Aeron A. (eds) *Microbes in Food and Health*. Springer. Cham. 2016, pp. 117–142. DOI: 10.1007/978-3-319-25277-3_7.
8. Bel'mer S.V., Gasilina T.V. *Voprosy sovremennoy pediatrii*, 2008, vol. 7, no. 6, pp. 91–96. (in Russ.).
9. Arpadjan S., Celik G., Taskesen S., Gucer S. *Food Chem Toxicol.*, 2008, vol. 46, pp. 2871–2875. DOI: 10.1016/j.fct.2008.05.027.
10. Malik J., Frankova A., Drabek O., Szakova J., Ash C., Kokoska L. Aluminium and other elements in selected herbal tea plant species and their infusions // *Food Chem.* 2013, vol. 139. Pp. 728–734. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.02.013.
11. Kiselova T.I., Smirnova YU.A. *Lekarstvennyye rasteniya v mirovoy meditsinskoy praktike: gosudarstvennoye re-gulirovaniye nomenklatury i kachestva*. [Medicinal plants in world medical practice: state regulation of the nomenclature and quality]. Moscow, 2009, 295 p. (in Russ.).
12. Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Salikhova F.S. *Nauchnoye obozreniye. Biologicheskiye nauki*, 2019, no. 1, pp. 29–34. (in Russ.).
13. Kathpalia R., Bhatla S.C. Plant Mineral Nutrition. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Springer, Singapore. 2018, pp. 37–81. DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1_2.
14. Ravikumari C. *J. Pharm. Sci. & Res.*, 2014, vol. 6, no. 5, pp. 236–238.
15. Desideri. D., Meli. M.A., Roselli. C., Feduzi. L. *Microchem. J.*, 2011, vol. 98, pp. 186–189. DOI: 10.1016/j.microc.2011.01.008.
16. Soylak. M., Tuzen. M., Souza. A.S., Korn das. M.G.A., Ferreira. S.L.C. *J. Hazard. Mater.*, 2007, vol. 149, pp. 264–268. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.03.072.
17. Szymczycha-Madeja A., Welna M., Pohl P. *TrAC. Trends Anal. Chem.*, 2012, vol. 35, pp. 165–181. DOI: 10.1016/j.trac.2011.12.005.
18. Welna M., Szymczycha-Madeja A., Pohl P. *Food Res. Int.*, 2013, vol 53, pp. 922–930. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.03.030.
19. Yi Zhou Wu. *Chinese Tea*. Translated by Willams Wu. Shanghai People's Publishing House. 2009. 160 p.

* Corresponding author.

20. Deng Z., Tao B., Li Xiaolin, He J., Chen Y. *Biological Trace Element Research*, 1998, vol. 65, no. 1, pp. 75–86. DOI: 10.1007/BF02784115.
21. Tkachenko K.G. *Spravochnik sekretarya i ofis-menedzhera*, 2008, no. 8, pp. 73–79. (in Russ.).
22. Xie M.Y., von Bohlen A., Klockenkämper R., Jian X. H., Günther K. *Z Lebensm Unters Forsch.*, 1998, vol. 207, pp. 31–38. DOI: 10.1007/s002170050291.
23. Salahinejad. M., Aflaki. F. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2010, vol. 134, pp. 109–117. DOI: 10.1007/s12011-009-8449-z.
24. Aksuner. N., Henden. E., Aker. Z., Engin. E., Satik. S. *Food Addit. Contam. Part B*, 2012, vol. 5, pp. 126–132. DOI: 10.1080/19393210.2012.675592.
25. Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii. Metodicheskiye rekomendatsii. MR 2.3.1.2432-08. [Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines. MR 2.3.1.2432-08]. Moscow, 2009, 36 p. (in Russ.).
26. Mehra A., Baker C.L. *Food Chem.* 2007, vol. 100. Pp. 1456–1463.
27. Wong M., Zhang Z., Wong J., Lan C. *Environmental Geochemistry and Health*. 1998, vol. 20, Pp. 87–94. DOI: 10.1023/A:1006545825302.
28. Fung K.F., Carr H.P., Poon B.H.T., Wong M.H. *Chemosphere*. 2009, vol. 75. Pp. 955–962. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.01.003.
29. Kralj B., Krizaj I., Bukovec. Slejko S., Milacic M. *Anal. Bioanal. Chem.* 2005, vol. 383. Pp. 467–475, DOI: 10.1007/s00216-005-3312-3.
30. Cao X., Zhao G., Yin M., Li J. *Analyst*. 1998, vol. 123, pp. 1115–1119.
31. Kolomiyets N.E., Kalinkina G.I., Mar'in A.A., Bondarchuk R.A. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2010, vol. 12, no. 1-8, pp. 2051–2054. (in Russ.).
32. Milani R.F., Morgano M.A., Saron E.S., Silva F.F., Cadore S. *J. Braz. Chem. Soc.*, 2015, vol. 26, pp. 1211–1217.
33. World Health Organization. Quality control methods for medicinal plant materials. 1998. 115 p. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41986>
34. *Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 021/2011 «O bezopasnosti pishchevoy produktsii» (utverzhdon resheniyem komissii Tamozhennogo soyuza ot 9 dekabrya 2011 goda N 880)*. [Technical regulations of the Customs Union TR CU 021/2011 "On food safety" (approved by the decision of the Customs Union commission of December 9, 2011 N 880)]. Moscow, 2011. (in Russ.).
35. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIII ed. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. Moscow, 2015, vol. 1, 1470 p. (in Russ.).
36. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIV ed. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. Moscow, 2018, vol. 4, 7019 p. (in Russ.).
37. Frontas'yeva M.V. *Fizika elementarnykh chastits i atomnogo yadra*, 2011, vol. 42, no. 2, pp. 636–716. (in Russ.).
38. Pavlov S.S., Dmitriev A.Y., Frontasyeva M.V. *J Radioanal Nucl Chem.*, 2016, vol. 309, pp. 27–38. DOI: 10.1007/s10967-016-4864-8.
39. Markert B. *Water Air Soil Pollut.*, 1992, vol. 64, pp. 533–538. DOI: 10.1007/BF00483363.
40. Panasenko L.M., Kartseva T.V., Nefedova ZH.V., Zadorina-Khutornaya Ye.V. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii*, 2018, vol. 63, no. 1, pp. 122–127. (in Russ.).
41. Kumar A., Nair A.G.C., Reddy A.V.R., Garg A.N. *Pharma. Biomed. Anal.*, 2005, vol. 37, no. 4, pp. 631–638. DOI: 10.1016/j.jpba.2004.11.051.

Received March 2, 2020

Revised April 10, 2020

Accepted April 20, 2020

For citing: Lavrinenko YU.V., Pliyeva A.M., Khristozova G.YA., Frontas'yeva M.V., Zin'kovskaya I., Tkachenko K.G. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 3, pp. 305–314. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020037428.