

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В 3-ЛИСТНОЙ ФЛЕШИ ЧАЯ СОРТА 'КОЛХИДА'
В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНО-СУБТРОПИЧЕСКОЙ
ЗОНЫ РОССИИ**

**Малюкова Л. С.¹, Цюпко Т. Г.², Пригула З. В.¹, Воронова О. Б.²,
Великий А. В.¹, Гуцаева К. С.²**

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур»,
г. Сочи, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»,
г. Краснодар, Россия

e-mail: malukovals@mail.ru

Установлена концентрация ряда тяжёлых металлов (Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) и их пределы варьирования в исходном сырье (3-листная флеш) чая сорта 'Колхида', выращенном в условиях Черноморского побережья России. Выявлено, что содержание Cd, Pb, Cr, Cu находилось в пределах диапазона средних значений для большинства видов растений (в сравнении с обобщёнными данными А. Кабата Пендиас, Х. Пендиас, 1989), а содержание Mn и Ni было значительно выше в сравнении с другими видами. Чай, выращенный в условиях субтропической зоны России, отличался по уровню концентраций Cd, Cr, Ni, Zn и Mn от зарубежных чаев (в сравнении с данными Р. Н. Goncalves Dias Diniz и др., 2015). Зафиксирована тенденция увеличения содержания меди в 3-листной флеш чайного растения, по-видимому, обусловленная ростом её подвижности в почвах в результате их acidизации.

Ключевые слова: чай, влажные субтропики, содержание тяжёлых металлов, экологическая безопасность продуктов питания.

Чай является интернациональным напитком и одним из важных пищевых продуктов. Его многофункциональность определяется сложным комплексом веществ, содержащихся в листьях чайного растения (более 2 000 компонентов): фенольные соединения, алкалоиды, эфирные масла, незаменимые аминокислоты, углеводы, минеральные соли, витамины, пектиновые вещества, пигменты, ферменты, катионы химических элементов, металлы и др. [11], многие из которых относятся к биологически активным. Элементный состав чая является важной

его характеристикой, поскольку определяет не только пищевкусовые свойства чая, но и экологическую безопасность продукта, так как содержит тяжёлые металлы – Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, кумуляция которых в пищевых растениях рассматривается как одна из причин развития различных заболеваний человека. Среди известных молекулярных механизмов токсического действия тяжёлых металлов многие исследователи ставят на первое место образование активных форм кислорода, автоокисление, реакции образования высокотоксичных гидроксильных радикалов [8], а также блокирование функциональных групп в биомолекулах, повышение перекисного окисления липидов и ингибирование антиоксидантных ферментов [6]. Содержание металлов в чае, выращенном в различных регионах мира, колеблется в широком диапазоне и зависит от многих факторов: химического состава почвообразующих пород и степени их выветривания, типа почвы и уровня содержания в ней подвижных форм элементов, агротехники возделывания, объёма и видов применяемых удобрений, способов их внесения, температурно-влажностного режима почвы, различной потребности растений в элементах питания в течение вегетации и др. [2, 3, 4, 5, 7]. Условия сбора, хранения и технология производства чая также могут оказывать существенное влияние на элементный состав различных коммерческих чаёв. Поэтому оценка качества чая помимо традиционных параметров (вкус, аромат, содержание полифенолов и алкалоидов) должна включать определение ряда дополнительных компонентов чая, как наиболее полезных, так и токсичных для здоровья человека.

Исследования были проведены во влажно-субтропической зоне России на промышленной плантации чая (сорт 'Колхида'), в условиях полевых многолетних опытов с применением макро- (N, P, K, Ca, Mg) и микроудобрений (Zn, B), под влиянием которых с течением времени сформировались участки (опытные делянки), различающиеся по химическому составу почв. Агрохимические свойства бурой лесной кислотной почвы, на которой возделывался чай, варьировали в следующем диапазоне: pH_{KCl} – 2,54–3,50; содержание гумуса – 3,7–5,2 %; содержание легкогидролизуемого азота – 97–345 мг/кг; подвижного фосфора – 149–1 014 мг/кг; обменного калия – 204–573 мг/кг. В сезонной и многолетней динамике (1993, 2013, 2016–2018 гг.) были отобраны растительные образцы (3-лиственная флешь), являющиеся исходным сырьем для производства готового чая. В образцах определили содержание следующих элементов – Mn, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni. Анализ растительных образцов проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) с использованием прибора iCAP-6000 (Thermo Scientific, США) и

в отдельные годы атомно-адсорбционной спектроскопии (ААС) с использованием приборов ААС-1 и КВАНТ-АФА. Для переведения проб в форму необходимую для анализа методом АЭС-ИСП и устранения мешающего влияния органических веществ матрицы проводили СВЧ-кислотную минерализацию с использованием лабораторной микроволновой системы пробоподготовки Mars (СЕМ, США). Для ААС образцы подвергали кислотной минерализации смесью кислот H_2SO_4 и $HClO_4$ в отношении 10 : 1. Обработка экспериментального материала проведена методами описательной статистики с использованием программы Microsoft Excel (при $P = 0,95$).

Концентрация тяжёлых металлов в 3-листной флешки чая сорта 'Колхида' и её вариационно-статистические показатели представлены в таблице 1. Установлено, что содержание Cd, Pb, Cr, Cu находились в пределах диапазона средних значений для многих видов растений (в сравнении с обобщёнными данными А. Кабата Пендиас, Х. Пендиас, 1989 [1]), а содержание Mn и Ni было значительно выше в сравнении с другими видами. Из изученных металлов Pb (ПДК – 10 мг/кг) и Cd (ПДК – 1 мг/кг) входят в перечень элементов, определяющих экологическую безопасность пищевых продуктов (Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»), в том числе и чая (ГОСТ 32573-2013 и 32574-2013, Межгосударственный стандарт. Чай чёрный. Технические условия и Межгосударственный стандарт. Чай зелёный. Технические условия, соответственно). Исследования показали, что содержание этих элементов (Pb, Cd) в 3-листной флешки чайного растения (молодой побег), выращенного в Краснодарском крае на порядок ниже ПДК (табл. 1).

Таблица 1

Содержание в 3-листной флешки чайного растения (сорт 'Колхида') тяжёлых металлов (мг/кг на абс. сух. в-во), n = 31–50

Элемент	Показатели			
	диапазон	среднее	стандартное отклонение	коэффициент вариации
	мг/кг			%
Mn	423–856	651	154,2	24
Zn	29,6–45,8	37,2	6,55	18
Cu	9,5–38,5	13,7	5,01	37
Cd	0,01–0,03	0,016	0,006	42
Pb	0,32–3,95	1,70	1,15	84
Ni	5,49–12,24	8,19	2,07	25
Cr	0,13–0,30	0,20	0,06	31

В сравнении с другими чаепроизводящими регионами (табл. 2, по данным Р. Н. Goncalves Dias Diniz et al, 2015 [10]), в отечественном чае концентрация кадмия и хрома в среднем была на порядок ниже. Содержание свинца и марганца соизмеримо с чаем, выращенном на о. Шри-Ланка и значительно ниже в сравнении с аргентинскими чаями. При этом российские образцы в сравнении с другими регионами отличались более высоким содержанием цинка и никеля. В итоге, значимые отличия в концентрациях для сравниваемых чаев выявлены для Cd, Cr, Ni, Zn и Mn. При этом как российские, так и зарубежные чаи характеризовались высоким варьированием концентрации свинца (от десятых долей до 3–8 единиц), что указывает на антропогенный характер его поступления в растения.

Таблица 2

**Концентрация токсичных элементов
(мг/кг на абс. сух. в-во) в чае, выращенном
в различных регионах мира, по данным [10]**

Элемент	Диапазон	Среднее	Стандартное отклонение
	мг/кг		
Аргентина, зелёный чай/чёрный чай			
Mn	196–1346/537–1192	1017/927	193/141
Zn	12,3–30,2/4,57–26,6	19/19	4,9/3,1
Cu	6,15–27,6/0,58–26,7	13/13	4,4/2,5
Cd	0,10–0,40/0,04–0,39	0,23/0,22	0,08/0,06
Pb	0,17–8,16/0,86–6,48	2,4/2,8	1,8/0,7
Ni	2,13–8,43/1,65–11,0	3,8/4,0	0,8/0,9
Cr	0,77–2,58/0,66–3,13	1,2/1,8	0,3/0,5
Шри-Ланка, чёрный чай			
Mn	64,8–1164	383	321
Zn	14,4–34,9	24	5,8
Cu	11,3–23,3	17	3,8
Cd	0,10–0,29	0,18	0,04
Pb	1,11–3,28	1,7	0,5
Ni	2,71–5,57	4	0,6
Cr	0,25–3,65	1,8	1,0

Концентрация меди в 3-листной флеша чая, выращенной на опытных участках, в среднем по нескольким периодам исследований (1993, 2013, 2017) была также соизмерима с чаями из других регионов мира.

При этом в последние годы (2017–2018 гг.) выявлено существенное повышение концентрации этого элемента до значений 50–119 мг/кг, приближающихся к критическому уровню (100 мг/кг). Одной из возможных причин может являться региональная геохимическая особенность агрогенно-изменённых почв – высокое содержание валовой (70–166 мг/кг) и обменной меди (6–29 мг/кг), подвижность которой усиливается при подкислении почв [3].

Таким образом установлена концентрация ряда тяжёлых металлов (Mn, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni) в исходном сырье (3-листная флешь чая сорта ‘Колхида’), выращенном в условиях Черноморского побережья России. Выявлено, что их содержание (за исключением Mn и Ni) соизмеримо со средними значениями других видов. Наиболее существенные различия в концентрациях этой группы элементов для отечественного и зарубежных чаев (Аргентина, Шри-Ланка) выявлены для Cd, Cr, Ni, Zn и Mn. В последние годы отмечается тенденция роста содержания меди во флешах, обусловленная увеличением её подвижности в кислых почвах при исходно высоком содержании валовой меди.

Библиографический список

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с. – ISBN 5-03-000922-1.
2. Малюкова Л.С. Состояние микроэлементов (Mn, Cu, Zn) в бурых лесных почвах чайных плантаций Черноморского побережья Краснодарского края. дис.... канд. биол. наук. – Сочи, 1997. – 173 с.
3. Малюкова Л.С., Малинина М.С. Особенности поведения металлов ((Mn, Zn, Cu) в бурой лесной кислой почве под чайной плантацией в условиях влажных субтропиков России // *Агрехимия*. – 2001. – № 3. – С. 62-68. – ISSN 0002-1881.
4. Пилипенко В.Г. Изучить действие основных микроэлементов на фотосинтез, водный обмен, химический состав, урожайность и биологические показатели качества чайного сырья в условиях полевого опыта: год. отчёт. – Сочи: ВНИИЦиСК, 1994. – С. 45-78.
5. Притула З.В., Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Особенности влияния комплекса экологических факторов на биохимические показатели качества чая сорта ‘Колхида’ в условиях субтропиков России // *Субтропическое и южное садоводство России: материалы и докл. Всерос. науч.-практ. конф. «Субтропическое растениеводство и южное садоводство», посвященные 115-й годовщине основания Сочинской сельскохозяйственной и садовой опытной станции и 75-летнему юбилею создания опытно-коллекционного сада-музея «Дерево Дружбы», Сочи, 28-30 сентября, 2009 г.* – Сочи: ВНИИЦиСК, 2009. – Вып. 42. – Т. II. – С. – 86-103. – ISBN 978-5-904533-08-3
6. Татарченко И.И., Мохначёв И.Г., Зенкевич И.Г. Химия субтропических и пищевкусовых продуктов. – М., 2003. – 256 с. – ISBN 5-7695-1226-1.
7. Belous O.G. Influence of microelements on biochemical parameters of tea // *Potravinarstvo*. – 2013. – Т. 7. – № 5. – С. 149-152. – ISSN 1338-0230.
8. Chedeville O., Tosun-Bayraktar A., Porte C. Modeling of fenton reaction for the oxidation of phenol in water // *J. Autom. Methods Manag. Chem.* – 2005. – Vol. 5. – P. 31-36. – ISSN 1463-9246.

9. Ercisli S., Orhan E., Ozdemir O., Sengul M., Gungor N. Seasonal variation of total phenolic, antioxidant activity, plant nutritional elements, and fatty acids in tea leaves (*Camellia sinensis* var. *Sinensis clone Derepazari 7*) grown in Turkey // *Pharmaceutical biology*. – 2008. – Vol. 46. – P. 683-687. – ISSN 1388-0209.
10. Goncalves Dias Diniz P.H., Pistonesi M.F., Alvarez M.B., Beatriz Susana Fernandez Band B.S., Ugulino de Araujo M.C. Simplified tea classification based on a reduced chemical composition profile via successive projections algorithm linear discriminant analysis (SPA-LDA) // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2015. – № 39. – P. 103-110. – ISSN 0889-1575.
11. Yashin A.Y., Nemzer B.V., Combet E., Yashin Y.I. Determination of the Chemical Composition of Tea by Chromatographic Methods: a review // *Journal of Food Research*. – 2015. – Vol. 4. – № 3. – P. 56-88. – ISSN 1927-0887.

**HEAVY METAL CONTENT
IN THREE-LEAVES TEA FLUSH OF ‘KOLKHIDA’ CULTIVAR
IN THE HUMID SUBTROPICAL ZONE
OF RUSSIA**

**Malyukova L. S.¹, Tsyupko T. G.², Prytula Z. V.¹, Voronova O. B.²,
Velikiy A. V.¹, Guschayeva K. S.²**

¹ *Federal State Budgetary Scientific Institution
“Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops”,
c. Sochi, Russia*

² *Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education “Kuban State Agrarian University
named after I. T. Trubilin”,
c. Krasnodar, Russia*

e-mail: malukovals@mail.ru

The paper ascertained concentration of a number of heavy metals (Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) and their variation limits in the feedstock (three-leaves tea flush) of ‘Kolkhida’ cultivar grown on the Black Sea coast of Russia. It was found that the content of Cd, Pb, Cr, Cu was within the range of mean values for most plant species (in comparison with the generalized data of A. Kabata Pendias, H. Pendias, 1989), while the content of Mn and Ni was significantly higher in comparison with other species. Tea grown in the subtropical zone of Russia differed in the level of concentrations of Cd, Cr, Ni, Zn, and Mn from foreign teas (in comparison with the data of P. H. Goncalves Dias Diniz et al., 2015). The tendency of copper content increase was recorded in a three-leaves flush of tea plant, which was apparently caused by the growth of its mobility in soils as a result of their acidization.

Key words: tea, humid subtropics, heavy metals content, ecological safety of food products.