

Людмила Павловна Нилова¹, Василий Ростиславович Тверской²,

Ольга Владимировна Смирнова³, Светлана Михайловна Малютенкова⁴✉

^{1,2,4}Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский им. В.Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии, Санкт-Петербург, Россия

¹nilova_l_p@mail.ru

²vasilybasil@gmail.com

³loi_olga@bk.ru

⁴malutesha66@mail.ru

ПРОФИЛЬ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОФЕ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ

Цель исследования – изучить профиль минеральных элементов кофейной гущи, образующихся в процессе двукратного экстрагирования кофе. Объекты исследования – образцы молотого жареного кофе арабика и робуста, 7 г которых экстрагировали 100 мл артезианской бутилированной питьевой воды «Аква Балт». Полученную кофейную гущу КГ1 подвергали второму экстрагированию в тех же условиях, получая кофейную гущу КГ2. Кофе, КГ1 и КГ2 озоляли до постоянной массы, затем в них определяли профиль минеральных элементов рентгеноспектральным методом на спектрометре рентгенофлуоресцентном EDX-7000P, SHIMADZU. Кофе арабика и робуста отличались массовой долей золы в 1,23 раза, в которой было идентифицировано 10 минеральных элементов. Профиль минеральных элементов включал: $K > P > Ca > S > Mg > Fe > Mn > Cu > Rb > Zn$. В кофейной гуще, полученной после первого экстрагирования (КГ1), массовая доля золы увеличилась для арабики на 7,7 %; робусты – на 7,3 %, в которой уменьшилось количество К и Rb, а количество остальных элементов увеличилось. Профиль минеральных элементов КГ1 изменился – количество Са стало преобладать над количеством Р. Второе экстрагирование приводило к уменьшению массовой доли золы в кофейной гуще КГ2 по сравнению с КГ1, но преобладало по сравнению с кофе, а профиль минеральных элементов имел вид, идентичный КГ1, в котором преобладал К, составляя 49,86 и 56,59 % соответственно для арабики и робусты, несмотря на уменьшение его количества на 47,4 % по сравнению с кофе и на 19,1 % по сравнению с КГ1 арабики и на 28,9 и 11,9 % соответственно для робусты. Использование сухой кофейной гущи КГ1 и КГ2 в количестве 10 % в производстве мучных кондитерских изделий позволит обогатить их макроэлементами (К, Р, Са, Mg) до 4 %, микроэлементами (Fe, Mn, Cu) – на 6–36 %.

Ключевые слова: кофе, арабика, робуста, экстрагирование, кофейная гуща, профиль минеральных элементов, зольность

Для цитирования: Нилова Л.П., Тверской В.Р., Смирнова О.В., и др. Профиль минеральных элементов кофе в процессе экстрагирования // Вестник КрасГАУ. 2025. № 5. С. 313–324. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-313-324.

Lyudmila Pavlovna Nilova¹, Vasily Rostislavovich Tverskoy², Olga Vladimirovna Smirnova³,

Svetlana Mikhailovna Malyutenkova⁴✉

^{1,2,4}Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

³Saint Petersburg V.B. Bobkov branch of the Russian Customs Academy, Saint Petersburg, Russia

¹nilova_l_p@mail.ru

²vasilybasil@gmail.com

³loi_olga@bk.ru

⁴malutesha66@mail.ru

THE COFFEE MINERAL PROFILE DURING EXTRACTION

The aim of the study is to research the profile of mineral elements in coffee grounds formed during double extraction of coffee. The objects of the study are samples of ground roasted Arabica and Robusta coffee, 7 g of which were extracted with 100 ml of artesian bottled drinking water Aqua Balt. The resulting coffee grounds KG1 were subjected to the second extraction under the same conditions, obtaining coffee grounds KG2. Coffee, KG1 and KG2 were ashed to a constant weight, then the profile of mineral elements in them was determined by the X-ray spectral method on an EDX-7000P X-ray fluorescence spectrometer, SHIMADZU. Arabica and Robusta coffee differed in the mass fraction of ash by 1.23 times, in which 10 mineral elements were identified. The profile of mineral elements included: $K > P > Ca > S > Mg > Fe > Mn > Cu > Rb > Zn$. In the coffee grounds obtained after the first extraction (KG1), the mass fraction of ash increased for Arabica by 7.7 %; robusta – by 7.3 %, in which the amount of K and Rb decreased, and the amount of other elements increased. The profile of mineral elements of KG1 changed – the amount of Ca began to prevail over the amount of P. The second extraction resulted in a decrease in the mass fraction of ash in the coffee grounds KG2 compared to KG1, but it prevailed compared to coffee, and the profile of mineral elements had a form identical to KG1, in which K prevailed, amounting to 49.86 and 56.59 %, respectively, for Arabica and Robusta, despite a decrease in its amount by 47.4 % compared to coffee and by 19.1 % compared to KG1 Arabica and by 28.9 and 11.9 %, respectively, for Robusta. The use of dry coffee grounds KG1 and KG2 in the amount of 10 % in the production of flour confectionery products will enrich them with macroelements (K, P, Ca, Mg) up to 4 %, microelements (Fe, Mn, Cu) – by 6–36 %.

Keywords: coffee, arabica, robusta, extraction, coffee grounds, mineral profile, ash content

For citation: Nilova LP, Tverskoij VR, Smirnova OV, et al. The coffee mineral profile during extraction. *Bulletin of KSAU*. 2025;(5):313-324. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-313-324.

Введение. Для многих потребителей кофе стал частью их образа жизни и повседневной привычкой, которые ценят его за превосходный вкус, аромат и стимулирующий эффект за счет содержания кофеина. Около 40 % населения мира потребляет, по крайней мере, одну чашку кофе в день [1, 2]. Недавние исследования все чаще показывают, что фенольные антиоксиданты, содержащиеся в кофе, при регулярном его употреблении (около 2–4 чашек в день) способствуют повышению иммунитета, и связано это с более низким риском смертности из-за развития неинфекционных заболеваний, включая ишемическую болезнь сердца, рак, повреждения печени и цирроз [3, 4]. Ежедневное потребление кофе в таком количестве может восполнять потребность в некоторых макро- и микроэлементах, что показывают исследования, опубликованные в последние годы [1, 5, 6].

Состав минеральных элементов кофе, как и любого растительного объекта, зависит от ботанического вида, места произрастания, способа выращивания [7, 8]. При этом нельзя не учитывать производственные процессы в получении готового продукта (зеленый или жареный кофе, в зерне, молотый или растворимый) [3, 8, 9], способ приготовления напитка и минеральный состав воды для приготовления [1, 10–12].

Происхождение кофе является наиболее важным фактором, влияющим на минеральный состав кофейных зерен. Установлены межконтинентальные различия в общем количестве минеральных элементов в кофе: Африка > Южная Америка > Азия и Центральная Америка [13]. Вероятно, поэтому в литературе данные по общему содержанию минеральных веществ в зеленых кофейных зернах отличаются. По данным [9], зеленые кофейные зерна содержат минеральных веществ 3,0–5,4 % в пересчете на сухое вещество, по данным [7] – 1,5–4,2 %, причем в арабике их больше, чем в робусте до 18 % [6].

В зависимости от метода определения в кофейных зернах обнаруживают до 22 минеральных элементов, среди которых основными являются K, Ca, P, Fe, Mn, Zn и Cu, оказывающих положительное влияние на здоровье. Около 40 % приходится на K [9, 14, 15], количество которого преобладает в бразильской арабике, так же, как и Mg. Напротив, P, Ca и Fe преобладают в африканских сортах арабики: P – в кенийских, Ca – эфиопских, Fe – ангольских кофейных зернах [13]. Количество минеральных веществ зависит от метода обработки (сухой, влажный) кофейных бобов. Kalschnea et al. [16], исследуя 20 сортов бразильской арабики, установили, что использование сухой обработки бобов обеспе-

чивает более высокое содержание Ca, K, Mn в кофейных зернах, а мокрый способ – более высокое содержание Cu и Zn. При этом они связывают более высокое содержание Cu и Zn при низких уровнях Mn, Mg и K с высокой сенсорной оценкой напитков.

Переработка кофейных зерен в готовые продукты может приводить к различиям в их минеральном составе. Обжарка не изменяет концентрацию минеральных элементов [9, 15], декофеинизация – повышает, ароматизация – снижает. Растворимый кофе содержит больше только тех минеральных элементов, которые обладают хорошей растворимостью. Поэтому количество K в растворимом кофе всегда больше в 1,5–2 раза, чем в зерновом или молотом кофе, а Cu, Mn или Fe – меньше в 2; 1,3 и 1,2 раза соответственно [15]. По данным [6], среднее содержание основных элементов в жареном кофе (арабике и робусте) находится в порядке: $K > P > S > Mg > Ca > Na$, микроэлементов: $Fe > Mn > B > Cu > Zn > Ni > Pb > Cd \approx Cr$. Потенциально токсичные элементы в приготовленных кофейных напитках содержатся в низких концентрациях и не наносят вреда здоровью. Похожие результаты получены Janda K. et al. при исследовании 100 % арабики, реализуемой в Польше [1].

Во время приготовления кофейного напитка путем прямого контакта жареного кофе с горячей водой часть минеральных элементов переходит в заварку в процессе экстракции твердого вещества в жидкость согласно закону диффузии Фика [17]. Растворимость минеральных элементов в горячей воде различается, поскольку некоторые из них более водорастворимы, чем другие [18]. Минеральный профиль кофе эспрессо можно представить как $K > P > Mg > Ca > Na > Mn > Fe$ для разных стран и континентов, хотя он количественно отличается. Например, по данным [13], концентрации K колебались от 1271,0 (Мексика, Центральная Америка) до 3173,0 мг/100 г (Бразилия, Южная Америка). Для каждой континентальной группы K всегда показывал самые высокие значения, а Fe – самые низкие.

На минеральный профиль напитка оказывает влияние способ приготовления кофе. Janda et al. [1], исследуя 5 способов заваривания кофе, установили, что эспрессо не является оптимальным для максимальной экстракции минеральных элементов в напитке. Кофе, приготовленный

простым настаиванием и с помощью аэропресса, содержит больше калия, магния, марганца, хрома и кобальта, чем эспрессо. В зависимости от способа заваривания, соотношения кофе и воды и растворимости минерального элемента напиток может содержать от 1 % Ca, Cu, Zn или Fe до 75 % K, Na от исходного количества в кофе [1, 12, 15]. Остальное их количество остается в кофейной гуще, которая может быть использована как обогащающая добавка в производстве мучных кондитерских изделий – печенья [19] или маффинов [20]. По данным [21], кофейная гуща содержит золы 2,16 %, в которой основными элементами являются: $K > Ca > Mg$, с количеством от 832 до 252 мг/100 г.

Кофейную гущу рассматривают как ингредиент в пищевых продуктах только после приготовления кофе или производства растворимого кофе, то есть после однократной экстракции. Но повторное экстрагирование (экстрагирование самой кофейной гущи) приводит к получению экстрактов, содержащих антиоксиданты и кофеин [22, 23], что может позволить их использовать в производстве других напитков. После повторного экстрагирования кофейная гуща не содержит кофеин и антиоксиданты [22, 23], но в ней остаются пищевые волокна и минеральные элементы [21].

Цель исследования – изучить профиль минеральных элементов кофейной гущи, образующихся в процессе двухкратного экстрагирования кофе.

Задачи: провести экстракцию кофе и кофейной гущи на примере образцов арабики и робусты; провести озоление кофе и кофейной гущи после двух экстракций КГ1 и КГ2; определить рентгеноспектральным методом соотношение минеральных элементов в кофе, кофейной гуще КГ1 и КГ2 и определить их количество в пересчете на золу.

Объекты и методы. Проведение исследований осуществляли на примере образцов кофе жареного молотого: арабика «Живой кофе», ООО «ЖК ХОЛДИНГ», Россия; робуста «PIAZZA DEL CAFFE», Вьетнам. Для экстрагирования использовали бутилированную питьевую артезианскую воду «Аква Балт», ООО «Завод напитков», Ленинградская область с общей минерализацией 0,05–0,50 г/л, основной состав по данным производителя, мг/л: катионы – K^+ – 0,2–20; Na^+ – 5,0–75; Ca^{2+} – 0,2–50; Mg^{2+} – 0,2–30; анионы – HCO_3^- – 2,0–40; Cl^- – 15–150; SO_4^{2-} – 0,2–25.

Кофейную гущу (КГ1) получали после экстрагирования 7 г кофе питьевой артезианской водой с использованием капсульной кофемашины Nescafe Krups Dolce Gusto KP1A3B10, Индонезия. КГ1 использовали для второго экстрагирования, получая КГ2. Пробы кофейной гущи КГ1 и КГ2 высушивали до постоянной массы и хранили до проведения исследований.

Исследование минерального состава кофе, кофейной гущи после двух экстракций КГ1 и КГ2, высушенных до постоянной массы, осуществляли рентгеноспектральным методом на спектрометре рентгенофлуоресцентном EDX-7000P (SHIMADZU, Япония). Идентификацию минеральных элементов проводили в автоматическом режиме с использованием программного обеспечения EDX-NAVI (SHIMADZY) по градуировочной кривой, построенной по стандартным образцам и сохраненной в памяти спектрометра. В результате был получен профиль минеральных элементов в процентном соотношении. Для пересчета процентного соотношения минеральных элементов с их количеством в зольном остатке проводили озоление до постоянной

массы проб кофе и кофейной гущи КГ1 и КГ2 согласно ГОСТ 15113.8.

Экстракцию кофе и КГ1 проводили три раза. Измерения проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов измерений проводили в соответствии с критериями Стьюдента при доверительном интервале $P = 0,95$ с использованием MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Образцы кофе арабика и робуста отличались массовой долей золы (рис. 1), которой было больше в арабике в 1,23 раз, чем в робусте. Похожие результаты показаны в работе [6], где в арабике содержится на 18 % больше суммы минеральных элементов, чем в робусте, причем существенно преобладают К, Na и Mg. Несмотря на то, что авторы использовали по три образца кофе арабики и робусты разного географического происхождения, на этом основании нельзя утверждать, что арабика должна содержать больше минеральных элементов, чем робуста. Тем более что в наших исследованиях кофе арабика был произведен в России, а страна происхождения зерен не была указана.

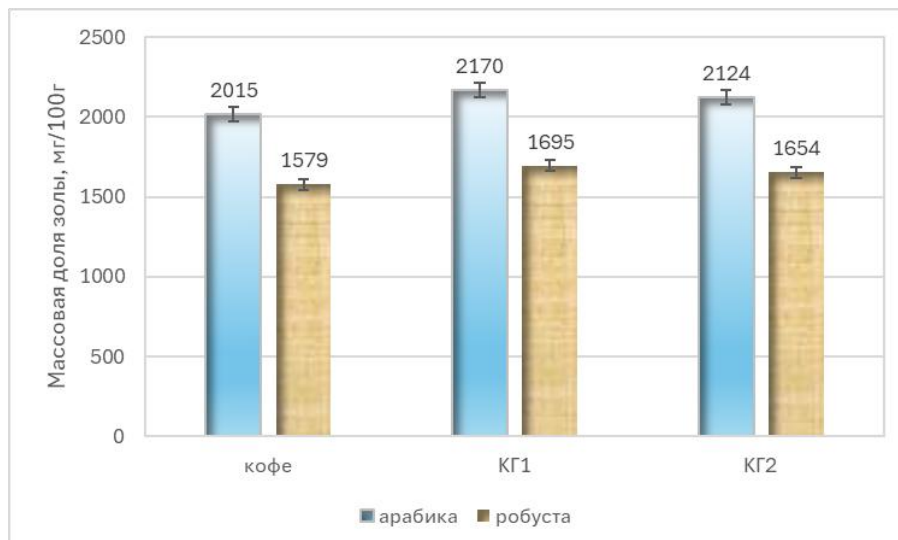


Рис. 1. Массовая доля золы, мг/100 г
Ash content, mg/100 g

Массовая доля золы в кофейной гуще КГ1, полученной после первого экстрагирования кофе, статистически значимо увеличивалась независимо от его ботанического вида: для арабики на 7,7 %, робусты – 7,3 %. Debastiani et al. [24] полагают, что кофе ведет себя как «губка», поглощая часть минеральных элементов из горячей воды для заваривания. Общая минерализация питьевой бутилированной воды, реализуемой в России, может составлять 200–

500 мг/л [25]. Влияние минерального состава воды на минеральный профиль приготовленных с ее использованием напитков из кофе подтверждают исследования [15], которые установили, что напиток из растворимого кофе содержит больше, чем кофе молотый, %: К – 9, Mn – 19, Zn – 6, Ca – 10, Ca и Na – 3.

Второе экстрагирование привело к уменьшению массовой доли золы в КГ2, что связано с высокой растворимостью в воде калия, преоб-

ладающего как в кофе, так и в воде для экстракции. Однако статистически значимых различий массовой доли золы между КГ1 и КГ2 как для арабики, так и для робусты, не установлено. Каждый минеральный элемент имеет свой коэффициент переноса, что установлено [24] в результате сравнительного анализа минерального состава молотого кофе, кофейной гущи (отработанный кофе) и растворимого кофе. Самый высокий коэффициент переноса имеют калий и хлор. Это подтверждают результаты наших исследований уменьшения количества калия в КГ1 и КГ2 арабики и робусты в процессе экстрагирования (табл. 1, 2).

Профиль минеральных элементов исследуемых образцов кофе молотого жареного независимо от ботанического вида включал 10 минеральных элементов и представлял собой типичный для кофе ряд: $K > P > Ca > S > Mg > Fe > Mn > Cu > Rb > Zn$ (табл. 1, 2). Похожие профили минеральных элементов кофе и преобладание в них К были получены в исследованиях других авторов [6, 9, 13]. Не всегда в профилях количество Р преобладает над количеством Са [9, 12]. В то же время в работе [1] выявлено, что в кофе арабика, реализуемого в Польше, содержится меньше Са, чем Р и Mg, а последних приблизительно на одном уровне.

На долю макроэлементов от общего количества в кофе арабика приходилось 99,54 % (табл. 1), в кофе робуста – 99,61 % (табл. 2), среди которых преобладал К. В арабике его содержалось 1851 мг/100 г, а в робусте меньше на 29,4 %. Похожие различия в 30,4 % в содержании К между арабикой и робустой получены Senila et al. [6]. По данным [13] в зависимости от географического происхождения в кофе арабика содержание К может колебаться в широких пределах 1271,0–3173,0 мг/100 г. Наименьшее его количество содержится в арабике из Эфиопии

(1530,4 мг/100 г) и Мексики (1271,0 мг/100 г), что меньше, чем в исследуемых образцах арабики, и приближено к содержанию в образцах робусты.

В исследуемых образцах кофе количество Р было больше, чем Са и S, но на порядок меньше, чем К, что не противоречит опубликованным данным [6, 9, 13]. В кофе арабика содержание Р было больше, чем в робусте на 18,3 %; Са – на 26,8; S – на 19,9 %. Количество Р в образцах кофе превышало количество Са на 28,5 и 37,5 % соответственно для арабики и робусты. Превышение количества Р над Са является типичным и может достигать в арабике до 49,5 % [1]. Количество Mg в исследуемых образцах кофе было меньше, чем в большинстве опубликованных исследованиях [6, 9, 13], но по данным [12], представленных на основании исследований 10 образцов турецкого кофе, количество Mg в них находится в пределах 83,0–237,9 мг/100 г.

Из микроэлементов наибольшая доля в исследуемых образцах кофе приходилась на Fe, количественно не превышая 4 мг/100 г. Аналогичные результаты получены в исследованиях Janda et al. [1], где содержание Fe составляло 4,84 мг/100 г. Количество Fe, как в образцах арабики (табл. 1), так и робусты (табл. 2), было больше, чем Mn и Cu. Но его количество в кофе может быть как больше, так и меньше, чем Mn, в зависимости от географического происхождения, например, в китайском кофе [13]. Количество Zn составляло в арабике 0,61 мг/100 г, а в робусте было в 2 раза меньше. Zn не всегда удается идентифицировать в кофе, что связано с методами определения, но его содержание в 10 образцах турецкого кофе от «не обнаружено» до 42,7 мг/100 г [12], в кофе из Польши от 0,51–0,67 [10] до 0,99 мг/100 г [1]. Rb в кофе определяют редко, он был идентифицирован только в одной работе [24].

Таблица 1

Профиль минеральных элементов кофе Арабика и кофейной гущи ($p < 0,05$)
Mineral profile of Arabica coffee and coffee grounds ($p < 0.05$)

Элемент	Соотношение, %			В пересчете на золу, мг/100 г		
	Кофе	КГ1	КГ2	Кофе	КГ1	КГ2
1	2	3	4	5	6	7
K ⁺	77,47	58,13	49,86	1561,00	1261,42	1059,02
Ca ²⁺	6,20	15,22	18,88	124,93	330,29	401,04
S ⁶⁺	5,25	9,88	11,66	105,79	214,40	247,66
P ⁵⁺	7,97	10,73	11,85	160,60	232,84	251,69
Mg ²⁺	2,65	5,06	6,67	53,40	109,80	141,67
Fe ³⁺	0,19	0,53	0,61	3,83	11,50	12,95
Mn ²⁺	0,10	0,19	0,22	2,02	4,12	4,67

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Cu ²⁺	0,07	0,16	0,17	1,41	3,47	3,61
Rb ⁺	0,07	0,05	0,03	1,41	1,08	0,63
Zn ²⁺	0,03	0,05	0,05	0,61	1,08	1,06

Таблица 2

Профиль минеральных элементов кофе Робуста и кофейной гущи (p < 0,05)
Mineral profile of Robusta coffee and coffee grounds (p < 0.05)

Элемент	Соотношение, %			В пересчете на золу, мг/100 г		
	Кофе	КГ1	КГ2	Кофе	КГ1	КГ2
K ⁺	76,40	61,79	56,59	1206,36	1047,34	936,00
Ca ²⁺	6,24	12,43	14,99	98,52	210,65	247,93
S ⁶⁺	5,59	8,99	10,43	88,26	152,38	172,51
P ⁵⁺	8,58	11,75	11,93	135,48	199,16	197,32
Mg ²⁺	2,80	4,19	5,03	44,21	71,02	83,20
Fe ³⁺	0,20	0,56	0,61	3,16	9,54	10,09
Mn ²⁺	0,10	0,16	0,22	1,58	2,71	3,64
Cu ²⁺	0,05	0,07	0,13	0,79	1,18	2,15
Rb ⁺	0,02	0,02	0,02	0,32	0,34	0,33
Zn ²⁺	0,02	0,04	0,05	0,32	0,68	0,83

После первого экстрагирования изменилось соотношение минеральных элементов в КГ1, обусловленное уменьшением доли К и увеличением остальных минеральных элементов независимо от ботанического вида кофе. Исключением был Rb, количество которого в КГ1 из арабики уменьшалось (см. табл. 1), а из робусты – не изменялось (см. табл. 2).

Количество К в КГ1 из арабики и робусты уменьшилось на 23,7 и 15,2 % соответственно. Соли К обладают полной растворимостью в горячей воде, а ионы K⁺ – самым высоким коэффициентом переноса [18], поэтому он всегда присутствует в заваренном кофе в значительных количествах [1, 3, 13]. Olechno et al. [5] в своем обзоре сообщают, что для молотого и жареного кофе эффективность перехода калия в напиток при его приготовлении составляет 72,9–88,6 %, на что оказывает влияние способ приготовления. Наибольшая концентрация К была обнаружена в кофе арабика, приготовленном в аэропрессе [1]. Концентрация рубидия относительно высока в питьевом кофе, но он также остается в кофейной гуще [24].

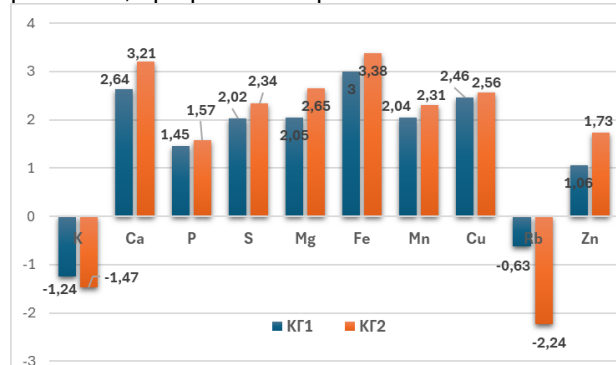
Среди минеральных элементов, доля которых увеличивалась в КГ1, выделяется Са. В КГ1 из арабики его количество возросло в 2,64 раза, а КГ из робусты – в 2,14 раз. Переход Са из кофе в напиток так же, как и других элементов зависит от способа приготовления кофе, но для

кофе эспрессо не превышает 25 % [1]. На увеличение количества Са в КГ могла оказать влияние вода, используемая для приготовления напитка из кофе, ионы Ca²⁺ которой способны образовывать нерастворимые комплексы с полифенолами кофе [5, 24].

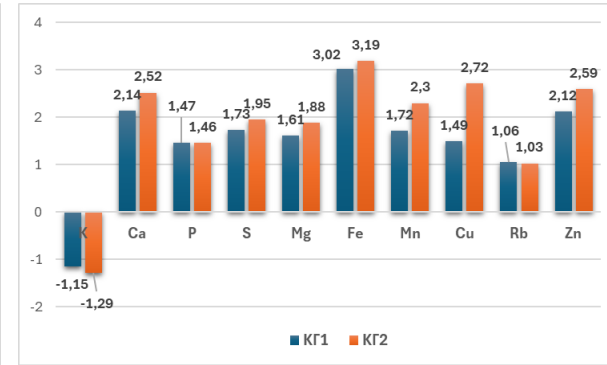
Многие авторы в напитках из кофе обнаруживают низкие уровни не только Са, но и Fe, Cu и Zn несмотря на их присутствие в кофейных зернах в больших количествах [1, 6, 12] и их более высокие концентрации в кофейной гуще, предполагая, что кофе как губка, поглощает часть этих элементов из горячей воды [23, 24]. На основе сравнительного анализа минеральных профилей кофе, напитка из кофе и кофейной гущи, авторы высказали мнение, что для каждого минерального элемента существует свой коэффициент перехода из кофе в напиток. По данным [5], эффективность извлечения Mg в напиток при приготовлении жареного молотого кофе составляет 45,8–89,7 %, а P – не превышает 45,85 %. Zn и Mn извлекаются в напиток не более чем на 28 %, а Fe и Cu – не более 8 % [10]. Это объясняет результаты, полученные в наших исследованиях, которые имели похожую тенденцию увеличения количества в КГ1 – S, P, Mg, Fe, Mn, Zn. Но только количество P увеличивалось одинаково в КГ1 из арабики и КГ1 из робусты – в 1,45 раза. Увеличение количества остальных макро- и микроэлементов в КГ1 из-

менялось в зависимости от ботанического вида кофе, используемого для экстракции (рис. 2). Так, увеличение количества S, Mg, Mn в КГ1 из арабики было более выражено, чем в КГ1 из робусты, а Fe и Zn, наоборот, в КГ1 из робусты было больше, чем в КГ1 из арабики. Но несмотря на это, профиль минеральных элементов КГ1

арабики и робусты имел одинаковый ряд: $K > Ca > P > S > Mg > Fe > Mn > Cu$, кроме Zn и Rb. От профиля минеральных элементов кофе ряд КГ отличался только другим соотношением Ca и P. Количество Ca в КГ1 стало превышать количество P.



Арабика



Робуста

Рис. 2. Коэффициенты изменения количества минеральных элементов в кофейной гуще КГ1 и КГ2 по сравнению с кофе
Coefficients of change in the amount of mineral elements in coffee grounds KG1 and KG2 compared to coffee

После экстрагирования кофейной гущи КГ1 (второе экстрагирование) в образующейся кофейной гуще КГ2 происходили дальнейшие изменения соотношения минеральных элементов, но тенденция, установленная при получении КГ1, сохранилась. Количество K продолжало уменьшаться, Rb – уменьшаться в КГ2 из арабики, а в КГ2 из робусты не изменяться, а остальных минеральных элементов – увеличиваться. В КГ2 преобладал K, составляя 49,86 и 56,59 %, соответственно для арабики и робусты, несмотря на уменьшение его количества на 47,4 % по сравнению с кофе, на 19,1 % по сравнению с КГ1 арабики и на 28,9 и 11,9 % для робусты соответственно (рис. 2).

Среди остальных минеральных элементов (кроме K) в КГ2 значительная доля приходилась на Ca, отличаясь между КГ2 из арабики и из робусты в 1,26 раза. По сравнению с КГ1 в КГ2 Ca содержалось больше на 21,5 и 17,7 % соответственно для КГ из арабики и робусты, тогда как количество P увеличилось на 8,2 % только в КГ2 из арабики. Статистически значимых различий между содержанием P в КГ1 и КГ2 из робусты не установлено. Что касается S и Mg, то их количество в КГ2 из арабики соответственно увеличилось на 15,5 и 29,0 %, из робусты – на 13,2 и 17,2 %. В целом по сравнению с кофе, используемым для экстрагирования, в КГ2 количество

макроэлементов увеличивалось в разы, кроме K, количество которого в разы уменьшалось (рис. 2).

Количество микроэлементов в КГ2 увеличивалось, но в меньшей степени, чем при первом экстрагировании. После первого экстрагирования количество Fe в КГ1 из арабики увеличилось в 3 раза, а после второго экстрагирования – только в 1,3 раза (см. табл. 1). В КГ из робусты была характерна такая же тенденция – увеличение в 3 раза при первом экстрагировании и в 1,06 раза при втором (см. табл. 2). Для Mn и Cu интенсивность увеличения их количества в КГ на разных этапах экстрагирования более существенно зависела от ботанического вида. В КГ из арабики интенсивность была более выраженной при первом экстрагировании, увеличивая количество Mn и Cu в 2,04 и 2,46 раз соответственно, а при втором экстрагировании интенсивность замедлялась. На втором этапе экстрагирования количество Mn в КГ2 из арабики увеличилось только в 1,3 раза, а количество Cu – в 1,04. В КГ2 из робусты тенденция была похожей, но более равномерной по этапам экстрагирования. На первом этапе экстрагирования в КГ1 из робусты количество Mn и Cu увеличилось в 1,71 и 1,49 раза соответственно, а на втором этапе в КГ2 – в 1,34 и 1,82 раза.

Интенсивность экстрагирования в зависимости от этапа прослеживалась для Zn, количество которого на первом этапе в КГ1 увеличивалось в 1,77 и 2,1 раза соответственно из арабики и робусты. Но на втором этапе экстрагирования в КГ2 из арабики статистически значимых изменений в содержании Zn установлено не было, хотя имела тенденция к уменьшению его количества, а в КГ2 из робусты количество Zn продолжало увеличиваться в 1,22 раза, хотя и не достигло значений характерных для КГ 2 из арабики.

В настоящее время появились исследования, рассматривающие КГ, образующиеся после заваривания кофе, как ингредиент в производстве мучных кондитерских изделий (печенья, маффинов), способствующий расширению их ассортимента, придания характерного цвета, вкуса и аромата, обогащения пищевыми волокнами и фенольными антиоксидантами [19, 20]. Возможность обогащения мучных кондитерских изделий минеральными элементами за счет КГ не рассматривается.

В то же время очень много научных исследований связано с определением состава минеральных элементов в заваренном кофе и расчет степени удовлетворения потребностей в них согласно RDA (Recommended daily allowances) при употреблении нескольких чашек кофе в день [5, 6, 10, 13]. Способ приготовления напитка из кофе, продолжительность контакта твердых частиц кофе с горячей водой с 1 до 5 минут могут увеличить количество минеральных элементов в напитке до 60 % [1, 6]. Olechno et al. [5] в своем обзоре, обобщая опубликованные результаты исследований минерального состава кофе и способов приготовления напитка, установили, что молотый кофе (результаты приведены в мг/100 мл) может обеспечить определенное количество магния дневной нормы потребления для женщин – 1,1–7,5 % и для мужчин – 0,9–6,4 %; калия – 1,6–6,6 % суточной нормы потребления, максимум: 12,9 %; а также немного меньшее количество фосфора (1,4–

2,2 % суточной нормы потребления, максимум: 7,2 %), натрия (ниже 0,1–2,2 % суточной нормы потребления) и кальция (0,3–0,7 % для женщин и 0,2–0,6 % для мужчин). Растворимый кофе, проанализированный авторами [5] в обсуждаемых исследованиях, как правило, имеет более высокое среднее содержание отдельных элементов (за исключением калия и кальция), чем заварной напиток из молотого кофе. По данным [13], употребление двух чашек растворимого кофе (4 г) удовлетворяет суточную потребность, %, в К, Mg и Mn на 9,5; 5,2; 4,4 соответственно. Остальные минеральные элементы не покрывают суточную потребность более чем на 2 %, так как преимущественно остаются в КГ.

Тем не менее, в КГ как после первого, так и после второго экстрагирования содержится достаточное количество минеральных элементов, чтобы увеличить их количество в пищевых продуктах. В таблице 3 приведены расчетные данные о возможном обогащении порции продукта массой 100 г в случае использования 10 г сухого порошка из КГ1 и КГ2. Обоснованием выбора массы КГ послужили опубликованные исследования по составу печенья и маффинов с приемлемым качеством для потребителя [19, 20].

Использование сухой кофейной гущи КГ1 и КГ2 в количестве 10 % в производстве мучных кондитерских изделий позволит обогатить их макроэлементами (К, Р, Са, Mg) только до 4 %. В большей степени КГ будет обогащать микроэлементами, особенно Mn и Cu. Так, при использовании 10 % КГ2 из арабики в пищевых продуктах удовлетворение суточной потребности Cu составит 36,1 %. Обеспечение суточной потребности в Fe за счет КГ1 и КГ2 меньше, чем Mn и Cu, но больше, чем макроэлементами, составляя до 12,95 % для мужчин и 7,1 % для женщин. Количество Zn в КГ1 и КГ2 незначительно, и не превышает 1 % от суточной потребности человека. Поэтому рассматривать КГ как источник Zn нельзя.

Таблица 3

**Содержание минеральных элементов в 10 г сухой кофейной гущи,
% от суточной нормы потребления**
Content of mineral elements in 10 g of dry coffee grounds, % of the daily intake

Элемент	Суточная физиологическая потребность, мг		Содержание, % от суточной нормы потребления			
			КГ арабика		КГ робуста	
	М	Ж	КГ1	КГ2	КГ1	КГ2
1	2	3	4	5	6	7
К	3500		3,60	3,02	2,99	2,67

1	2	3	4	5	6	7
Ca	1000		3,30	4,01	2,09	2,48
P	700		3,33	3,60	2,85	2,82
Mg	420		2,61	3,37	1,69	1,98
Fe	10	18	11,50 6,39	12,95 7,19	9,54 5,30	10,09 5,61
Mn	2		20,60	23,35	13,55	18,20
Cu	1		34,70	36,10	11,8	21,5
Zn	12		0,90	0,88	0,57	0,69

Заключение. В работе представлены результаты исследований профиля минеральных элементов КГ и обсуждается возможность их использования в качестве ингредиента в мучные кондитерские исследования с целью обогащения минеральными элементами. КГ получали после двух экстрагирования – после заваривания кофе (первое экстрагирование) КГ1, после чего его высушивали до постоянной массы и использовали для экстрагирования (второе экстрагирование), получая КГ2. В кофе, КГ1 и КГ2 идентифицировано 10 минеральных элементов. Экстрагирование привело к увеличению массовой доли золы в КГ1 и КГ2 по сравнению с кофе и количественному изменению профиля минеральных элементов. При этом уменьшилась доля калия и увеличилось количество остальных минеральных элементов, особенно Са, Mg и Fe, что продолжалось на втором этапе экстрагирования с разной интенсивностью в зависимости от минерального элемента и ботанического вида кофе. Но, несмотря на это, КГ1 и КГ2 при использовании в качестве ингредиента

в составе мучных кондитерских изделий в количестве 10 % смогут обогатить готовые продукты в макроэлементах не более чем на 4 % суточной нормы потребления. Более эффективно будет обогащение микроэлементами, такими как Mn, Cu и Fe, позволяя обеспечить суточную потребность до 23; 36; 12,9 % (для мужчин) и 7,2 % (для женщин).

Данные минерального состава КГ и возможность второго экстрагирования, которое приводит к увеличению количества минеральных элементов, могут стать стимулом использования КГ после двух экстрагирования в составе различных пищевых продуктов, что позволит рационально использовать кофейные отходы.

В формировании количественного профиля минеральных элементов КГ, а также заваренного кофе, определенную роль играет питьевая вода, регулируя минеральный профиль которой можно добиться изменений соотношения минеральных элементов или обогащения необходимыми минеральными элементами, что требует дополнительных исследований.

Список источников

1. Janda K., Jakubczyk K., Baranowska-Bosiacka I., et al. Mineral composition and antioxidant potential of coffee beverages depending on the brewing method // *Foods*. 2020. Vol. 9, is. 2. P. 121. DOI: 10.3390/foods9020121. EDN: PHJGOJ.
2. Freitas V.V., Borges L.L.R., Vidigal M., et al. Coffee: a comprehensive overview of origin, market, and the quality process // *Trends in Food Science & Technology*. 2024. Vol. 146. 104411. DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104411. EDN: YWSCGY.
3. Al-Fawaeir S., Alawneh J.M., Al-Odat I. Influence of coffee consumption on serum lipid profile parameters: Can coffee consumption lead to health consequences in humans? // *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023. Vol. 14. 100904. DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100904. EDN: DATWDS.
4. Açıklan B., Sanlier N. Coffee and its effects on the immune system // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 114. P. 625–632. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.06.023. EDN: GJTQUI.
5. Olechno E., Púscion-Jakubik A., Socha K., et al. Coffee brews: are they a source of macroelements in human nutrition? // *Foods*. 2021. Vol. 10, Is. 6. 1328. DOI: 10.3390/foods10061328. EDN: MWCAQD.
6. Senila M., Kovacs E., Senila L. Essential and nonessential elements, lipids and volatile compounds in coffee and transfer to coffee brews: Assessment of the benefits and potential risks for human health // *Food Science & Nutrition*. 2025. Vol. 13, is. 1. e4640. DOI: 10.1002/fsn3.4640. EDN: OGYGEE.

7. Worku M. Production, productivity, quality and chemical composition of Ethiopian coffee // *Cogent Food & Agriculture*. 2023. Vol. 9, is. 1. 2196868. DOI: 10.1080/23311932.2023.2196868. EDN: OTJHWL.
8. Токарев П.И., Елисеев М.Н., Елисеева Л.Н., и др. Качество кофе сорта арабика разных стран-производителей // *Пиво и напитки*. 2024. № 1. С. 33–39. DOI: 10.52653/PIN.2024.01.07. EDN: GRALSX.
9. Şemen S., Mercan S., Yayla M., et al. Elemental composition of green coffee and its contribution to dietary intake // *Food Chemistry*. 2017. № 215. P. 92–100. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.176.
10. Pokorska-Niewiada K., Scheffler A., Przedpełska L., et al. Tracking trace elements found in coffee and infusions of commercially available coffee products marketed in Poland // *Foods*. 2024. Vol 13, is. 14. 2212. DOI: 10.3390/foods13142212. EDN: LXUQJJ.
11. Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Тверской В.Р. Оценка антиоксидантных свойств напитков, приготовленных из кофе разными способами // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2024. Т. 13, № 2 (66). С. 100–105. EDN: XVIIIIF.
12. Özdeştan Ö. Evaluation of bioactive amine and mineral levels in Turkish coffee // *Food Research International* 2014. Vol. 61. P. 167–175. DOI:10.1016/j.foodres.2013.12.027.
13. Oliveira M., Ramos S., Delerue-Matos C., et al. Espresso beverages of pure origin coffee: Mineral characterization, contribution for mineral intake and geographical discrimination // *Food Chemistry*. 2015. Vol. 177. P. 330–338. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.01.061.
14. Albals D., Al-Momani I.F., Issa R., et al. Multi-element determination of essential and toxic metals in green and roasted coffee beans: A comparative study among different origins using ICP-MS // *Science Progress*. 2021. Vol. 104, № 2. P. 1–17. DOI: 10.1177/00368504211026162.
15. Grembecka M., Malinowska E., Szefer P. Differentiation of market coffee and its infusions in view of their mineral composition // *Science of the Total Environment* 2007. Vol. 383, Is. 1-3. P. 59–69. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.04.031.
16. Kalschnea D.L., Silvaa N.K., Flores E.L.M., et al. Coffee processing methods and cultivars: Influence on the mineral, organic acid, and sensory profile of high-quality coffee arabica beans // *Journal of Food Technology and Preservation*. 2020. Vol. 2, is. 1. P.1–9. DOI: 10.36266/JFTP/111.
17. Cordoba N., Fernandez-Alduenda M., Moreno F.L., et al. Coffee Extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 96. P. 45–60. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.12.004. EDN: XPCYVH.
18. Cruz R., Morais S., Casal S. Mineral composition variability of coffees // *Processing and Impact on Active Components in Food*. 2015. P. 549–558. DOI:10.1016/B978-0-12-404699-3.00066-4.
19. Martinez-Saez N., García A. T., Pérez I. D., et al. Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products // *Food Chemistry*. 2017. Vol. 216. P. 114–122. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.173.
20. Benincá D.B. do Carmo L.B., Grancieri M., et al. Incorporation of spent coffee grounds in muffins: A promising industrial application // *Food Chemistry Advances*. 2023. Vol. 3. 100329. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100329. EDN: AESIWP.
21. Bijla L., Ibourki M., Bouzid H.A., et al. Proximate composition, antioxidant activity, mineral and lipid profiling of spent coffee grounds collected in corocco reveal a great potential of valorization // *Waste and biomass valorization*. 2022. Vol. 13, № 11. P. 4495–4510. DOI: 10.1007/s12649-022-01808-8. EDN: GGQUVO.
22. Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Тверской В.Р., и др. Кофе: содержание кофеина и антиоксидантная активность на разных этапах экстрагирования // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 10 (211). С. 192–199. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-10-192-199. EDN: JUIRDU.
23. Bravo J., Monente C., Juárez I., et al. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee // *Food Research International*. 2013. Vol. 50, is. 2. P. 610–616. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.026.

24. Debastiani R., dos Santos C.E.I., Ramos M. M., et al. Elemental analysis of Brazilian coffee with ion beam techniques: from ground coffee to the final beverage // *Food Research International*. 2019. Vol. 119. P. 297–304.

References

1. Janda K, Jakubczyk K, Baranowska-Bosiacka I, et al. Mineral composition and antioxidant potential of coffee beverages depending on the brewing method. *Foods*. 2020;9(2):121. DOI: 10.3390/foods9020121. EDN: PHJGOJ.
2. Freitas VV, Borges LLR., Vidigal M, et al. Coffee: a comprehensive overview of origin, market, and the quality process. *Trends in Food Science & Technology*. 2024;146:104411. DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104411. DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104411. EDN: YWSCGY.
3. Al-Fawaeir S, Alawneh JM., Al-Odat I. Influence of coffee consumption on serum lipid profile parameters: Can coffee consumption lead to health consequences in humans? *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023;14:100904. DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100904.
4. Açıkalin B, Sanlier N. Coffee and its effects on the immune system. *Trends in Food Science & Technology*. 2021;114:625-632. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.06.023. EDN: GJTQUI.
5. Olechno E, Púscion-Jakubik A, Socha K, et al. Coffee brews: are they a source of macroelements in human nutrition? *Foods*. 2021;10(6):1328. DOI: 10.3390/foods10061328. EDN: MWCAQD.
6. Senila M, Kovacs E, Senila L. Essential and nonessential elements, lipids and volatile compounds in coffee and transfer to coffee brews: Assessment of the benefits and potential risks for human health. *Food Science & Nutrition*. 2025;13(1):e4640. DOI: 10.1002/fsn3.4640. EDN: OGYGEE.
7. Worku M. Production, productivity, quality and chemical composition of Ethiopian coffee. *Cogent Food & Agriculture*. 2023;9(1):2196868. DOI: 10.1080/23311932.2023.2196868. EDN: OTJHWL.
8. Tokarev PI, Eliseev MN, Eliseeva LN., et al. The arabica coffee quality from different producing countries. *Pivo i napitki*. 2024;(1):33–9. (In Russ.). DOI: 10.52653/PIN.2024.01.07.
9. Şemen S, Mercan S, Yayla M, et al. Elemental composition of green coffee and its contribution to dietary intake. *Food Chemistry*. 2017;215:92-100. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.176.
10. Pokorska-Niewiada K, Scheffler A, Przedpelska L, et al. Tracking trace elements found in coffee and infusions of commercially available coffee products marketed in Poland. *Foods*. 2024;13(14):2212. DOI: 10.3390/foods13142212. EDN: LXUQJJ.
11. Nilova LP, Malyutenkova SM, Tverskoi VR. Assessment of the antioxidant properties of drinks brewed from coffee by different methods. *XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus*. 2024;13(2):100-105. (In Russ.). EDN: XVILF.
12. Özdeştan Ö. Evaluation of bioactive amine and mineral levels in Turkish coffee. *Food Research International*. 2014;61:167-75. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.12.027.
13. Oliveira M, Ramos S, Delerue-Matos C, et al. Espresso beverages of pure origin coffee: Mineral characterization, contribution for mineral intake and geographical discrimination. *Food Chemistry*. 2015;177:330-338. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.01.061.
14. Albals D, Al-Momani IF, Issa R, et al. Multi-element determination of essential and toxic metals in green and roasted coffee beans: A comparative study among different origins using ICP-MS. *Science Progress*. 2021;104(2):1-17. DOI: 10.1177/00368504211026162.
15. Grembecka M, Malinowska E, Szefer P. Differentiation of market coffee and its infusions in view of their mineral composition. *Science of the Total Environment*. 2007;383(1-3):59-69. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.04.031.
16. Kalschnea DL, Silvaa NK, Flores ELM., et al. Coffee processing methods and cultivars: Influence on the mineral, organic acid, and sensory profile of high-quality coffee arabica beans. *Journal of Food Technology and Preservation*. 2020;2(1):1-9. DOI: 10.36266/JFTP/111.
17. Cordoba N, Fernandez-Alduenda MMoreno FL, et al. Coffee Extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;96:45-60. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.12.004.

18. Cruz R, Morais S, Casal S. Mineral composition variability of coffees. In: *Processing and Impact on Active Components in Food*. 2015. P. 549–558. DOI: 10.1016/b978-0-12-404699-3.00066-4.
19. Martinez-Saez N, García AT, Pérez ID, et al. Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chemistry*. 2017;216:114-122. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.173.
20. Benincá DB, do Carmo LB, Grancieri M, et al. Incorporation of spent coffee grounds in muffins: A promising industrial application. *Food Chemistry Advances*. 2023;3:100329. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100329. EDN: AESIWP.
21. Bijla L, Ibourki M, Bouzid HA, et al. Proximate composition, antioxidant activity, mineral and lipid profiling of spent coffee grounds collected in corocco reveal a great potential of valorization. *Waste and biomass valorization*. 2022;13(11):4495-4510. DOI: 10.1007/s12649-022-01808-8.
22. Nilova LP, Malyutenkova SM, Tverskoi VR, et al. Coffee: caffeine content and antioxidant activity at different stages of extraction. *Bulliten of KSAU*. 2024;10:192-199 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-10-192-199. EDN: JUIRDU.
23. Bravo J, Monente C, Juárez I, et al. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food Research International*. 2013;50(2):610-616. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.026.
24. Debastiani R, dos Santos CEI, Ramos MM, et al. Elemental analysis of Brazilian coffee with ion beam techniques: from ground coffee to the final beverage. *Food Res. Int*. 2019;119:297-304. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.02.007.

Статья принята к публикации 27.03.2025 / The article accepted for publication 27.03.2025.

Информация об авторах:

Людмила Павловна Нилова¹, доцент Института промышленного менеджмента, экономики и торговли, кандидат технических наук, доцент

Василий Ростиславович Тверской², аспирант Института промышленного менеджмента, экономики и торговли

Ольга Владимировна Смирнова³, доцент кафедры товароведения и таможенной экспертизы, кандидат экономических наук

Светлана Михайловна Малютенкова⁴, доцент Института промышленного менеджмента, экономики и торговли, кандидат технических наук, доцент

Information about the authors:

Lyudmila Pavlovna Nilova¹, Associate Professor at the Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Vasily Rostislavovich Tverskoy², Postgraduate student at the Institute of Industrial Management, Economics and Trade

Olga Vladimirovna Smirnova³, Associate Professor at the Department of Commodity Science and Customs Expertise, Candidate of Economic Sciences

Svetlana Mikhailovna Malyutenkova⁴, Associate Professor at the Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

