

УДК 543.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОФЕ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ  
ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА****COFFEE RESEARCH USING OPTICAL METHODS  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL ANALYSIS**©**Тихонов Б. Б.**

канд. хим. наук

*Тверской государственной технической университет**г. Тверь, Россия, tiboris@yandex.ru*©**Tikhonov B.***Ph.D., Tver State Technical University**Tver, Russia, tiboris@yandex.ru*©**Кузнецов В. В.***БунаКофе, г. Тверь, Россия, viktor@bunacoffee.ru*©**Kuznetsov V.***BunaCoffee, Tver, Russia, viktor@bunacoffee.ru*

*Аннотация.* В работе рассмотрены аспекты применения оптических методов физико–химического анализа для установления идентичности экстракции функциональных групп веществ при разных способах приготовления кофе. Для проведения исследований были использованы методы инфракрасной спектроскопии диффузионного отражения, спектрофотометрии и рефрактометрии. Было проведено сравнение способов приготовления кофе в каппинге и аэропрессе Aerobie Aeropress Coffee Maker. В качестве варьируемых параметров были выбраны температура воды, используемой для заваривания, и скорость продавливания жидкости поршнем аэропресса. По результатам исследований коэффициент преломления всех образцов практически одинаков, а TDS несколько отличается, при этом в оптимальном диапазоне (1,15–1,35%) находится TDS только образцов, приготовленных при температуре воды 96 °С. По инфракрасным спектрам образцов, было выявлено, что, что наиболее полное извлечение кофеина, теобромина, теофиллина, тригонеллина и хлорогеновых кислот из кофейного зерна наблюдается при температуре воды 96 °С (при данной температуре спектры поглощения образцов из каппинга и аэропресса практически идентичны). В спектрах образцов в ультрафиолетовой области наблюдаются типичные для кофе пики кофеина, теобромина, теофиллина и тригонеллина (диапазон 270–275 нм), причем они наиболее ярко выражены в каппинге. Органолептический анализ образцов кофе показал, что оптимальным вкусом обладают образцы, приготовленные в каппинге (96 °С) и в аэропрессе (96 °С, продавливание в течение 5 секунд), при этом их вкус практически идентичен, что подтверждает данные инфракрасной спектроскопии. Полученные результаты свидетельствуют о высокой перспективности использования оптических методов физико–химического анализа для исследования качества и идентичности образцов кофе.

*Abstract.* The paper discusses aspects of application of optical methods of physical and chemical analysis to determine the identity of the functional groups of substances extraction at different ways of making coffee. Infrared spectroscopy, diffusion reflectance spectrophotometry and refractometry methods were used for the researches.

A comparison of coffee preparation methods was conducted in cupping and aeropresse Aerobie Aeropress Coffee Maker. Temperature of the water used to brew, and the punching speed of liquid by aeropressa piston were selected as variable parameters.

According to the research data the refractive index of all the samples is almost identical, but TDS is slightly different, and only TDS of samples prepared at a water temperature of 96 °C lies in the optimal range (1,15–1,35%).

According to the infrared spectra of the samples the most complete recovery of caffeine, theobromine, theophylline, trigonelline and chlorogenic acid from the coffee beans is observed at a water temperature of 96 °C (at this temperature the absorption spectra of samples from cupping and aeropressa are almost identical).

Typical for coffee peaks of caffeine, theobromine, theophylline and trigonelline (in the range of 270–275 nm) are observed in spectra of samples in the ultraviolet region, and they are most pronounced for the cupping. Sensory analysis of coffee samples showed that the samples prepared in cupping (96 °C) and aeropresse (96 °C, punching for 5 seconds) have optimal flavor, and their taste is practically identical, which is confirmed by the infrared spectroscopy data. The results show high prospects of using of optical methods of physical and chemical analysis to the quality and the identity of the coffee samples researches.

*Ключевые слова:* кофе, инфракрасная спектроскопия, спектрофотометрия, рефрактометрия.

*Keywords:* coffee, infrared spectroscopy, spectrophotometry, refractometry.

Кофе относится к наиболее значимым для повседневного человека пищевкусным продуктам. Россия входит в число десяти самых потребляющих кофе стран [1, с. 15]. Объемы потребления этого напитка возрастают с каждым годом и за последние 15 лет увеличилось более чем на 50% (БизнесСтат: <http://businessstat.ru>). Популярность кофе обусловлена прежде всего его составом. Обжаренное кофейное зерно содержит более 200 различных ароматических, вкусовых и биологически активных веществ [2, с. 5]. Аромат и вкус кофе, играющий важную роль при оценке его качества, прежде всего, обусловлен наличием определенного комплекса вкусовых и летучих соединений, к наиболее важным из которых относятся алкалоиды — кофеин, теобромин и теофиллин, а также дубильные вещества (танин, катехины и др.) и хлорогеновые кислоты [3, с. 35]. Кроме этого, в кофе содержится большое число ароматических компонентов, состоящих из соединений разных классов органических веществ — альдегидов, кетонов, дикетонов, кислот, сернистых и азотистых соединений, фенолов, производных фуранов [2, с. 96].

Так как процесс заваривания кофе представляет собой экстракцию, то органолептические и физико-химические свойства, а также качество напитка определяется прежде всего полнотой экстракции, то есть степенью извлечения основных компонентов кофейного зерна (прежде всего — кофеина, теобромина, тригонеллина и хлорогеновых кислот) (Bunn: [http://www.bunn.com/sites/default/files/brochure/coffee\\_basics\\_scae\\_russian.pdf](http://www.bunn.com/sites/default/files/brochure/coffee_basics_scae_russian.pdf)). В настоящее время разработаны и применяются несколько различных способов приготовления кофейного напитка, отличающихся как своим физическим смыслом, так и эффективностью [4, с. 3]. Наиболее полную экстракцию функциональных и ароматических веществ кофейного зерна обеспечивает метод каппинга — свободного заваривания непосредственно в бразильской чашке (от англ. to cup — профессионально дегустировать кофе; профессиональный термин, обозначающий дегустацию кофе, в ходе которой определяются характеристики его вкуса и запаха) (Интернет-магазин кофе Torrefacto: <https://www.torrefacto.ru/blog/cupping>). Однако кофе, заваренный этим методом, неудобен для употребления клиентом, прежде всего, из-за большого количества взвешенных частиц. Большинство существующих альтернативных способов заваривания (аэропресс, воронка Харио, кемекс, сифон и т. д.) характеризуются меньшей эффективностью извлечения веществ кофейного зерна [4, с. 6]. Основными факторами, влияющими на эффективность заваривания кофе, являются свойства используемой воды, степень измельчения кофейных зерен,

температура и время заваривания, а также дополнительные механические воздействия (Bunn: [http://www.bunn.com/sites/default/files/brochure/coffee\\_basics\\_scae\\_russian.pdf](http://www.bunn.com/sites/default/files/brochure/coffee_basics_scae_russian.pdf)). В связи с этим основной задачей специалистов является варьирование данных факторов с целью приближения метода заваривания к каппинговому методу (как по глубине экстракции веществ, так и по вкусу и аромату кофе).

Оптические методы физико–химического анализа очень часто используются для анализа свойств кофейных зерен, молотого кофе и кофейного напитка. Важнейшим показателем качества кофейного напитка является TDS (Total Dissolved Solids) — «общее количество растворенных (в напитке) твердых веществ». Этот параметр характеризует степень крепости кофе и измеряется при помощи специального рефрактометра (Expert-СМ.ru: <http://expert-sm.ru/stati/poisk-idealnogo-vkusa-s-pomoschyu-nauki-extractmojo-i-refraktometr.html>).

Стандартным методом для определения содержания кофеина в кофе является фотометрический метод [5, с. 3], также он может определяться спектрофотометрически [6, с. 6]. Для определения содержания кофеина в обжаренном кофейном зерне и для оценки степени его окрашивания применен метод спектроскопии в ближней ИК–области спектра [7, с. 7480]. Таким образом, использование оптических методов анализа позволяет получить достаточно полную информацию о составе и свойствах кофе.

Целью данного исследования было установление идентичности экстракции функциональных групп веществ при разных способах приготовления кофе с помощью оптических методов физико–химического анализа.

#### *Материалы и методики*

В работе использовались следующие материалы:

– измельченные кофейные зерна кооператива Агути (урожай 2015 года, регион Ньери, станция обработки Гититу, Кения, 1700–1800 м над уровнем моря), обжаренные в течение 8 минут;

– минеральная вода “SPA Reine” (Бельгия) с pH=6,0 и уровнем минерализации 33 мг/л (состав, мг/л: кальций — 4,5; магний — 1,3; натрий — 3; калий — 0,5; гидрокарбонат — 15; хлор — 5; сульфат — 4; кремний — 7; нитраты — 1,9).

Заваривание проводилось в стандартной бразильской чашке и аэропрессе Aerobie Aeropress Coffee Maker (США).

Анализ инфракрасных спектров образцов проводился с помощью инфракрасного спектрофотометра с преобразованием Фурье и приставкой диффузионного отражения IRPrestige–21 (“Shimadzu”, Япония).

Анализ спектров образцов в видимой и ультрафиолетовой области проводился с помощью спектрофотометра СФ–2000 (ОКБ «Спектр», Россия).

В качестве фона для анализа спектров использовалась вода “SPA Reine”.

Измерение показателей преломления образцов проводился с помощью рефрактометров ИРФ–454 Б2М (коэффициент преломления) и PAL–Coffee (TDS — общее количество растворенных частиц, % масс.).

Кофе приготавливался 2 способами:

1. каппинг — 11 г измельченных кофейных зерен вносили в чашку и заливали 200 мл воды, оставляли для заваривания в течение 4 минут, после чего разбивали образующуюся на поверхности кофе «шапку» ложечкой, в результате чего частицы кофейных зерен осаждались на дно чашки;

2. аэропресс — 11 г измельченных кофейных зерен вносили в аэропресс и заливали 200 мл воды (во избежание неуправляемой турбулентности при переворачивании аэропресса, воду заливали непосредственно на фильтр, а не на поршень аэропресса), оставляли для заваривания в течение 2 минут, после чего разбивали образующуюся на поверхности кофе «шапку» ложечкой и продавливали кофе через фильтр аэропресса в бразильскую чашку. Меньшее

время заваривания, по сравнению с каппингом, компенсировалось увеличением скорости экстракции за счет давления поршня аэропресса и столба воздуха под ним на кофе.

В качестве варьируемых параметров были выбраны температура воды, используемой для заваривания, и скорость продавливания жидкости поршнем аэропресса.

### Результаты и их обсуждение

Был проведен ряд экспериментов по варьированию температуры заваривания и скорости продавливания жидкости поршнем аэропресса.

В Таблице представлены результаты измерения коэффициента преломления и TDS различных образцов.

Таблица.

#### ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И TDS ОБРАЗЦОВ КОФЕ

Метод	Время продавливания, сек	Температура воды, °С	TDS, % масс.	Коэффициент преломления
Каппинг	—	93	1,42	1,3355
Каппинг	—	96	1,46	1,3353
Аэропресс	5	85	1,39	1,3346
Аэропресс	5	93	1,48	1,3355
Аэропресс	5	96	1,28	1,3350
Аэропресс (2 фильтра)	5	96	1,29	1,3350
Аэропресс	15	96	1,45	1,3351
Аэропресс	20	96	1,28	1,3350

Как видно из Таблицы, во всех образцах коэффициент преломления был очень схожим, а TDS несколько отличается. Как известно из практики, оптимальный диапазон значений TDS (согласно требованиям нормативных документов) — 1,15–1,35%. В данном диапазоне находится TDS только 3 образцов, приготовленных при температуре воды 96 °С, в связи с чем эту температуру можно признать оптимальной.

Также для определения идентичности данных образцов между собой были получены инфракрасные спектры, позволяющие оценить наличие функциональных групп и компонентов, типичных для кофе (Рисунок 1).

В инфракрасных спектрах образцов, приготовленных при 93 °С, наблюдаются типичные для кофе пики кофеина, теобромина, теофиллина и тригонеллина (диапазон 670 см<sup>-1</sup>, 745–760 см<sup>-1</sup>), однако в аэропрессе они выражены более ярко, что свидетельствует о существенных различиях в свойствах 2 образцов. В ИК-спектрах образцов, приготовленных при 96 °С, также наблюдаются типичные для кофе пики кофеина, теобромина, теофиллина и тригонеллина (диапазон 670 см<sup>-1</sup>, 745–760 см<sup>-1</sup>), причем они наиболее ярко выражены в каппинге и образце из аэропресса (5 сек.). Таким образом, наиболее близким к каппингу в данной области спектра является образец из аэропресса (5 сек.), что подтверждается и данными в области спектра 1800–1200 см<sup>-1</sup> (Рисунок 2), где спектры каппинга и аэропресса (5 сек.) практически идентичны. При этом в этих 2 образцах ярко выражены пики кофеина, теобромина, теофиллина и тригонеллина (1710–1717 см<sup>-1</sup>, 1690–1695 см<sup>-1</sup>, 1645–1658 см<sup>-1</sup>, 1548–1550 см<sup>-1</sup>), которые незаметны в образцах из аэропресса (20 и 10 сек.). Менее выражены в образцах из каппинга и аэропресса (5 сек.) пики хлорогеновых кислот и их производных (1625–1630 см<sup>-1</sup>, 1390–1440 см<sup>-1</sup>, 1210–1320 см<sup>-1</sup>, что подтверждает их невысокое влияние на вкус продукта. Напротив, спектры каппинга и аэропресса (5 сек.) при 93 °С в данном диапазоне существенно отличаются (в образце из аэропресса (5 сек.) более ярко выражены пики кофеина, теобромина, теофиллина и тригонеллина (1710–1717 см<sup>-1</sup>, 1690–1695 см<sup>-1</sup>, 1645–1658 см<sup>-1</sup>, 1548–1550 см<sup>-1</sup>), хлорогеновых кислот и их производных (1625–1630 см<sup>-1</sup>, 1390–1440 см<sup>-1</sup>, 1210–1320 см<sup>-1</sup>, которые практически незаметны в каппинге).

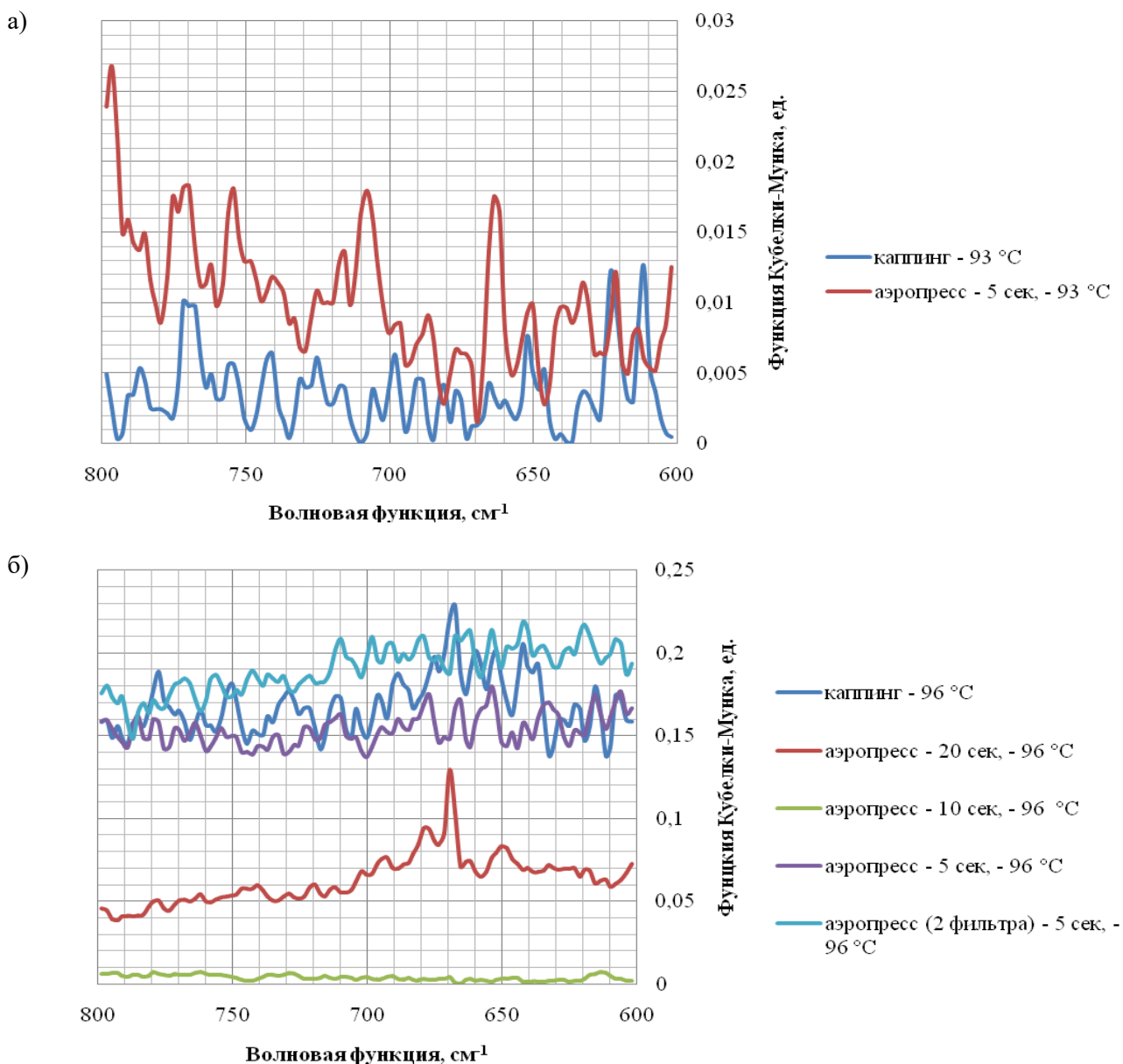


Рисунок 1. Инфракрасные спектры образцов кофе в диапазоне 800–600 см<sup>-1</sup>: а) при температуре заваривания 93 °С; б) при температуре заваривания 96 °С.

Таким образом, анализируя инфракрасные спектры образцов, можно сделать вывод о том, что температуры заваривания 93 °С недостаточно для полной экстракции кофеина, теобромину, теофиллина, тригонеллина и хлорогеновых кислот, что отрицательно сказывается на вкусе образцов, а при 96 °С наблюдается более полное их извлечение.

Кроме того, очевидно, что более медленное продавливание аэропресса и, соответственно, меньшее давление поршня на кофе, существенно ухудшает качество напитка, снижая эффективность экстракции вкусовых и ароматических веществ.

Далее были получены спектры образцов в видимой и ультрафиолетовой области (Рисунок 3).



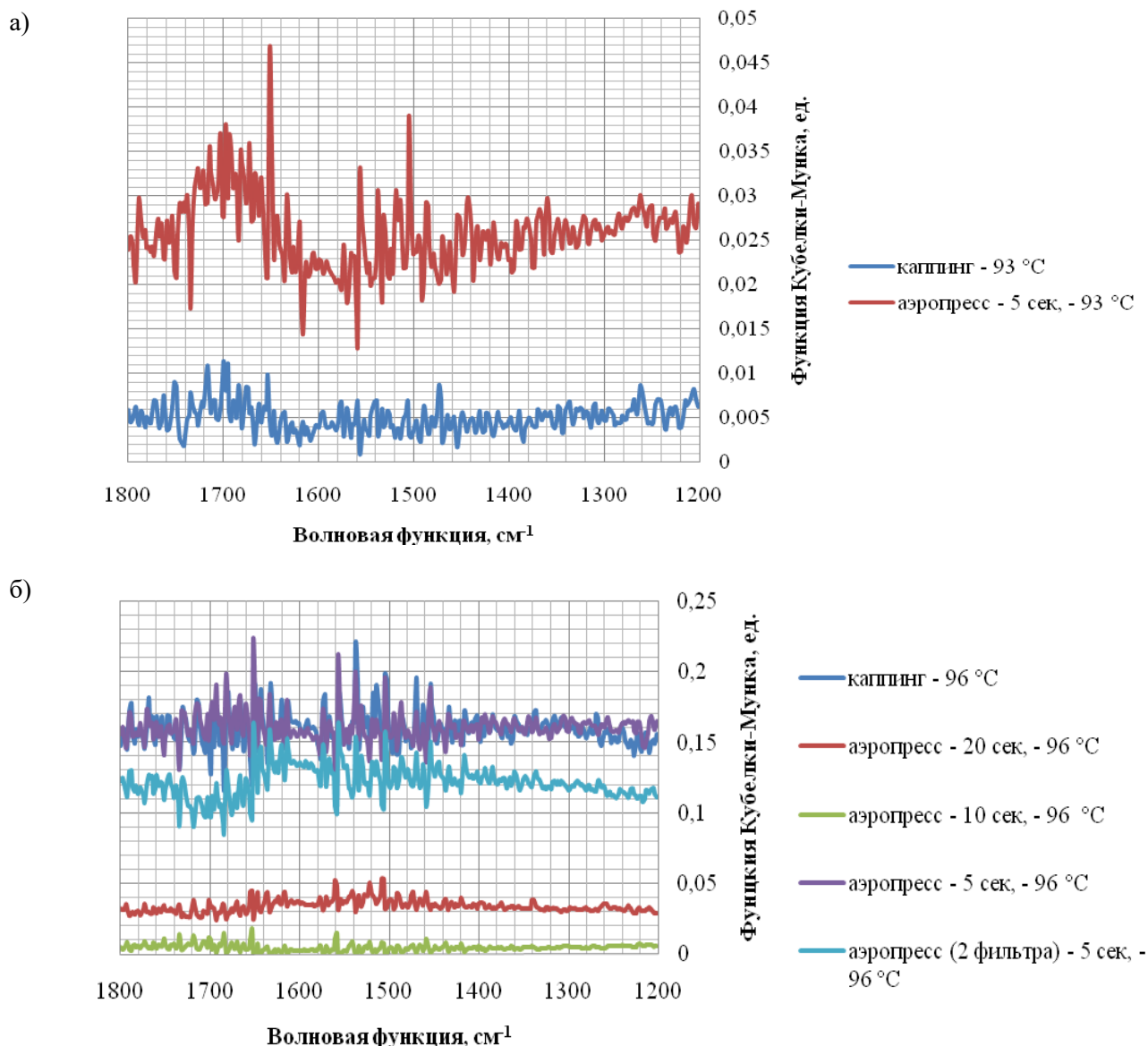


Рисунок 2. Инфракрасные спектры образцов кофе в диапазоне 1800–1200 см<sup>-1</sup>: а) при температуре заваривания 93 °С; б) при температуре заваривания 96 °С

В данных спектрах наблюдаются типичные для кофе пики кофеина, теобромина, теофиллина и тригонеллина (диапазон 270–275 нм), причем они наиболее ярко выражены в каппинге (пик в этом диапазоне у каппинга более четкий, в отличие от сглаженных пиков для образцов из аэропресса). Также во всех образцах наблюдаются менее выраженные пики хлорогеновых кислот (диапазон 300–330 нм), причем они также наиболее сильно выражены в каппинге. С ускорением продавливания существенно снижается интенсивность пиков как в диапазоне 270–275 нм, так и в диапазоне 300–330 нм. Наиболее близким по форме спектра к каппингу является образец, полученный при медленном продавливании аэропресса (20 секунд). Однако сделать вывод о том, что эти образцы идентичны, нельзя, так как интенсивность пиков в каппинге может быть несколько завышена за счет мешающего влияния взвешенных частиц.

При снижении температуры до 93 °С как в каппинге, так и в аэропрессе происходит существенное увеличение количества взвешенных и окрашенных частиц, что приводит к существенному повышению оптической плотности во всем диапазоне длин волн (что подтверждают также повышенные значения TDS для этих образцов).

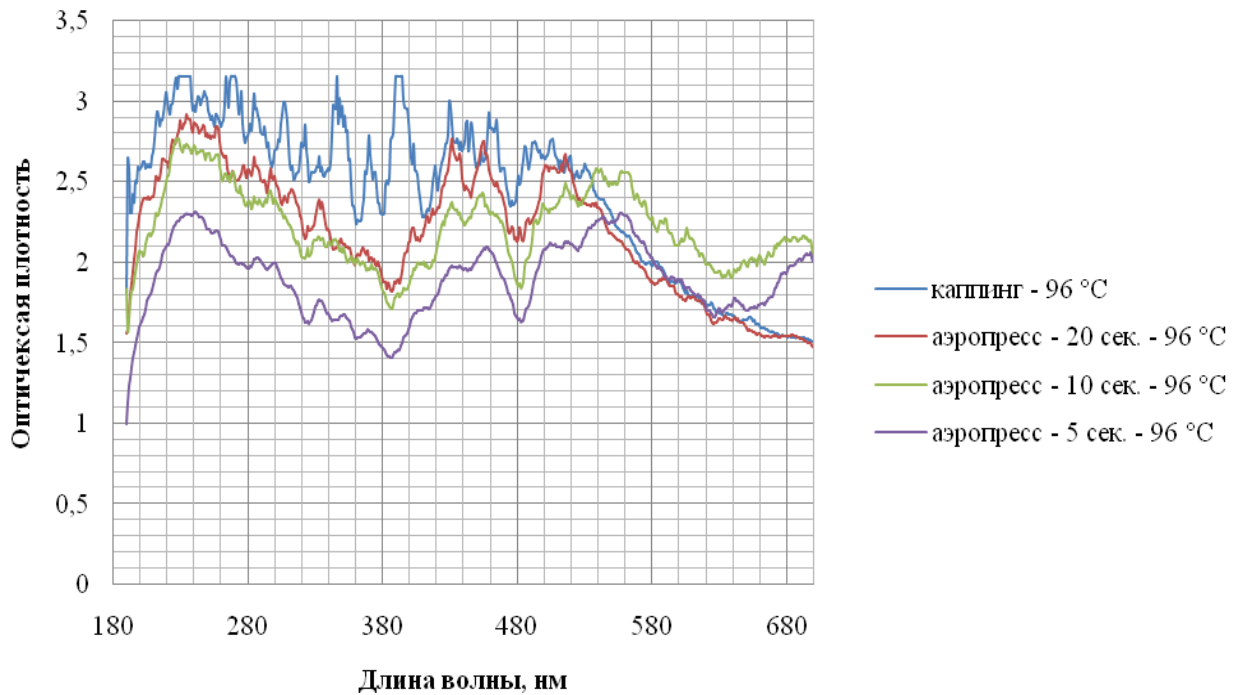


Рисунок 3. Спектры образцов кофе в видимой и ультрафиолетовой областях.

Органолептический анализ образцов кофе показал, что оптимальным вкусом обладают образцы, приготовленные в каппинге (96 °C) и в аэропрессе (96 °C, продавливание в течение 5 секунд), при этом их вкус практически идентичен, что подтверждает данные инфракрасной спектроскопии. Образцы имеют легкий вкус сладких сушеных ягод, сдержанную кислотность, ноты черного чая, чая из шиповника, спелого фейхоа; в послевкусии обнаруживаются ноты сушеной черники, какао и черного китайского чая.

Кроме того, было выявлено, что температура кофе после экстракции в аэропрессе при 96 °C — 65–70 °C (эквивалентно температуре каппинга через 7 минут), что комфортно для мгновенного употребления.

Таким образом, с помощью варьирования параметров заваривания кофе в аэропрессе, с использованием оптических методов физико–химического анализа (спектрофотометрия, инфракрасная спектроскопия, рефрактометрия) было проведено максимальное приближение данного метода заваривания к каппинговому методу — наиболее эффективному методу экстракции вкусовых и ароматических веществ из молотых кофейных зерен.

#### Выводы

Исследованы образцы кофе, заваренные разными способами: в бразильской чашке (каппинг) и аэропрессе. С использованием оптических методов физико–химического анализа проведено максимальное приближение заваривания в аэропрессе к каппинговому методу и выбраны оптимальные условия заваривания, при которых достигается наибольшая эффективность экстракции ароматических и вкусовых веществ кофейного зерна: температура воды — 96 °C, время продавливания — 5 секунд.

#### Список литературы:

1. Кудрин А. Л. Обзор российского рынка кофе // Экономика России: XXI век. 2014. №16. С. 14–25.

2. Татарченко И. А. Разработка новых видов чайной и кофейной продукции и совершенствование оценки их качества: дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2015. 200 с.

3. Татарченко И. И. Научное обоснование и разработка комплексных методов оценки качества пищевкусных продуктов (табака, чая, кофе): дис. ... д-ра техн. наук. Краснодар, 2003. 400 с.
4. Варламов А., Балестрино Д. Физика приготовления кофе // Квант. 2001. №4. С. 3–7.
5. Киракосов Ю. М., Даниленко И. А. Метод определения кофеина в чае, кофе и других кофеинсодержащих продуктах // Изв. вузов. Пищ. технология. Краснодар. 1993. 11 с.
6. Минаева Н. Н., Смирнова А. В., Мирошник З. А. Спектральные методы анализа кофеина в кофепродуктах // Вестн. ЛГТУ. 2006. №1. С. 5–8.
7. Pizarro C., Esteban–Diez I., Gonzalez–Saiz J.–M., Forina M. Use of near–infrared spectroscopy and feature selection techniques for predicting the caffeine content and roasting color in roasted coffees. J. Agr. and Food Chem, 2007, v. 55, no.18, pp. 7477–7488.

*References:*

1. Kudrin A. L. Obzor rossiiskogo rynka kofe. Ekonomika Rossii: KhKhI vek, 2014, no. 16, pp. 14–25.
2. Tatarchenko I. A. Razrabotka novykh vidov chainoi i kofeinoi produktsii i sovershenstvovanie otsenki ikh kachestva: diss. ... kand. tekhn. nauk. Krasnodar, 2015, 200 p.
3. Tatarchenko I. I. Nauchnoe obosnovanie i razrabotka kompleksnykh metodov otsenki kachestva pishchevkusovykh produktov (tabaka, chaya, kofe): dis. ....dok. tekhn. nauk. Krasnodar, 2003, 400 p.
4. Varlamov A., Balestrino D. Fizika prigotovleniya kofe. Kvant, 2001, no. 4, pp. 3–7.
5. Kirakosov Yu. M., Danilenko I. A. Metod opredeleniya kofeina v chae, kofe i drugikh kofeinsoderzhashchikh produktakh. Izv. vuzov. Pishch. Tekhnologiya, Krasnodar, 1993, 11 p.
6. Minaeva N. N., Smirnova A. V., Miroshnik Z. A. Spektralnye metody analiza kofeina v kofeproduktakh. Vestn. LGTU, 2006, no. 1, pp. 5–8.
7. Pizarro Consuelo, Esteban–Diez Isabel, Gonzalez–Saiz Jose–Maria, Forina Michele. Use of near–infrared spectroscopy and feature selection techniques for predicting the caffeine content and roasting color in roasted coffees. J. Agr. and Food Chem, 2007, v. 55, no. 18, pp. 7477–7488.

*Работа поступила  
в редакцию 19.10.2016 г.*

*Принята к публикации  
21.10.2016 г.*