

Цифровая цветометрия с использованием смартфонов в экспресс-контроле цветности сахара

Ольга В. Черноусова ¹	byolval@mail.ru	 0000-0002-8198-574X
Олег Б. Рудаков ²	robi57@mail.ru	 0000-0003-2527-2857
Мохамад Аббуд ²	chemistry@cchgeu.ru	 0009-0007-1829-3365

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

2 Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, 394006, Россия

Аннотация. Важный контролируемый параметр в сахарной промышленности - цветность сахара, обусловленная различными группами красящих веществ, образующихся при проведении технологических процессов в производстве. В классической методике предполагается использование сочетания методов рефрактометрии и фотоколориметрии. В работе предлагается использовать более современный метод - цифровую цветометрию с применением смартфонов для регистрации и обработки аналитического сигнала. Предложенная методика включает в себя более простой и экспрессный способ пробоподготовки исследуемых образцов. В качестве объектов анализа использовали пять образцов сахара, приобретенных в торговой сети. Из них три образца - кусковой сахар, два образца - кристаллический сахар, один образец - тростниковый сахар. По данным, полученным в ходе анализа, цветность в единицах ICUMSA двух образцов сахара удовлетворяет заявленной категории, а два образца имеют значения превышающие нормы цветности в своей категории. Тростниковый сахар ожидаемо имеет высокие значения цветности. Полученные результаты согласуются с данными, полученными на фотоколориметре. Это подтверждает возможность использования предложенной методики для определения цветности сахара. Мобильность системы и простота регистрации цветометрических характеристик в сочетании с экспрессностью и дешевизной, обуславливает перспективность использования данного способа не только в заводских лабораториях, но и вне лабораторий, в местах хранения и реализации. Кроме этого следует отметить удобство документирования и хранения электронных изображений в виде файлов, их статистической обработки и передачи по интернету в любую лабораторию или службу.

Ключевые слова: цифровая цветометрия, цветовая система RGB, сахар, мобильные устройства.

Digital colorimetry using smartphones in the express control of sugar chromaticity

Olga V. Chernousova ¹	byolval@mail.ru	 0000-0002-8198-574X
Oleg B. Rudakov ²	robi57@mail.ru	 0000-0003-2527-2857
Mohamed Abbod ²	chemistry@cchgeu.ru	 0009-0007-1829-3365

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

2 Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russia

Abstract. An important controlled parameter in the sugar industry is the color of sugar, which is determined by various groups of coloring substances formed during technological processes in production. The classical technique involves using a combination of refractometry and photocolourimetry methods. The work proposes to use a more modern method - digital colorimetry using smartphones for recording and processing the analytical signal. The proposed method includes a simpler and more rapid method of sample preparation of the samples under study. Five samples of sugar purchased from a retail chain were used as objects of analysis. Of these, three samples are lump sugar, two samples are crystalline sugar, and one sample is cane sugar. According to the data obtained during the analysis, the color in ICUMSA units of two sugar samples satisfies the declared category, and two samples have values exceeding the color standards in their category. Cane sugar, as expected, has high color values. The results obtained are consistent with the data obtained with a photocolourimeter. This confirms the possibility of using the proposed method to determine the color of sugar. The mobility of the system and the ease of recording colorimetric characteristics, combined with speed and low cost, make this method promising for use not only in factory laboratories, but also outside laboratories, in storage and distribution areas. In addition, it should be noted the convenience of documenting and storing electronic images in the form of files, their statistical processing and transmission via the Internet to any laboratory or service.

Keywords: digital colorimetry, RGB color system, sugar, mobile devices.

Введение

Цветность сахара является одним из нормируемых показателей качества. Она характеризует степень окрашенности раствора сахара, вызванную наличием красящих веществ сахарного производства в кристаллах сахара, выраженную в единицах оптической плотности (единицах ICUMSA). За окраску отвечают красящие вещества сахарного производства в виде сложных органических соединений различной степени конденсации и полимеризации, имеющие цвет

от светло-желтого до темно-коричневого и образовавшиеся в результате химического взаимодействия некоторых извлеченных из сырья вместе с сахарозой природных веществ между собой и с полученными в ходе превращений в полуфабрикатах технологического потока веществами, придающие окраску полуфабрикатам и готовой продукции. Для определения этого показателя используют межгосударственный стандарт ГОСТ 12572–2015 «САХАР. Метод определения цветности» [1].

Для цитирования

Черноусова О.В., Рудаков О.Б., Аббуд М. Цифровая цветометрия с использованием смартфонов в экспресс-контроле цветности сахара // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 93–98. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-93-98

For citation

Chernousova O.V., Rudakov O.B., Abbod M. Digital colorimetry using smartphones in the express control of sugar chromaticity. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 93–98. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-93-98

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

В химическом анализе цветометрия используется уже около 35 лет [2]. Для изучения цветности пищевых продуктов на протяжении последних двух десятилетий активно применяется метод цифровой цветометрии (ЦЦМ) [3–9]. Кроме того, ЦЦМ используют для контроля качества лекарственных препаратов [10–13], в экологическом мониторинге [14–17], для контроля примесей в цементах [18], определения свойств полимеров [19]. Среди пищевых продуктов много исследований посвящено применению метода ЦЦМ для контроля качества молочной продукции [4–6], продолжают изучение возможностей этого метода для анализа растительных масел [7]. В то же время анализ цветности сахара этим методом при использовании мобильных устройствах используется мало. Так, например, в работе [20] используется зависимость цветовых характеристик, полученных при сканировании образцов. В работах иностранных коллег используются сложные хемометрические приемы для анализа цветности коричневого сахара [21] или для определения его содержания в напитках [22].

Первоначально цифровая цветометрия основывалась на применении фотокамер, сканеров, в последнее время все больше встречается работ с использованием смартфонов в качестве аналитического прибора [23]. Так, в обзоре [24] показано современное состояние и перспективы развития метода ЦЦМ при применении смартфона в качестве цветорегистрирующего устройства при экспресс-анализе для контроля объектов окружающей среды, биологических жидкостей, пищевых продуктов, лекарственных препаратов и некоторых специфических объектов, проведен анализ достоинств и недостатков смартфона, оснащенного различными программными продуктами.

Цель работы – определение цветности сахара и изучение возможности использования цветометрии на мобильных устройствах для контроля этого параметра.

Материалы и методы

В качестве объектов анализа (таблица 1) выбрали пять образцов сахара, приобретенных в торговой сети. Из них три образца – кусковой сахар, два образца – кристаллический сахар, один образец – тростниковый сахар.

В работе использовали следующие приборы и оборудование: рефрактометр ИРФ-454 Б2М, спектрофотометр марки КФК-3 КМ, для ЦЦМ применяли смартфон Huawei P Smart. Для подготовки образцов взвешивали на технических весах $50 \pm 0,1$ г сахара, переносили в коническую колбу вместимостью 250 см^3 . Затем в колбу добавляли 50 см^3 дистиллированной воды с $\text{pH} = 7,0$ (значение контролировали с помощью pH-метра),

растворяли сахар, затем фильтровали в сухую коническую колбу. В профильтрованном растворе рефрактометром определяли массовую долю сухих веществ по ГОСТ 31896–2012. Измерения оптической плотности растворов проводили в кювете с толщиной слоя 3 см при длине волны 420 нм, в качестве раствора сравнения использовали дистиллированную воду.

Для ЦЦМ использовали пластиковые бюксы высотой 28 мм, диаметром 25 мм, помещенные в органайзер размером 16x13,5 см (рисунок 1). В бюксы помещали образцы сахара, при этом сахар-рафинад предварительно измельчали в фарфоровой ступке. Условия освещения стандартизировали с использованием лампы дневного света. Условия съемки: ISO 400, S 1/280s, F 1,9, баланс белого «авто». Для вычислений использовали программное обеспечение для смартфонов Color Picker (рисунок 2). В качестве стандарта белизны применяли порошок кристаллического BaSO_4 .



Рисунок 1. Фотографии образцов в пластиковых бюксах в органайзере

Figure 1. Photos of samples in plastic bottles in an organizer



Рисунок 2. Скриншот программы Color Picker

Figure 2. Screenshot of the Color Picker program

Таблица 1.

Объекты анализа

Table 1.

Objects of analysis

Образец Sample	Наименование Name	Категория, происхождение Category, origin	Производитель Manufacturer	Нормативный документ Regulatory document
1	Русский сахар Russian sugar	Сахар белый кусковой категории ТС 2, свекловичный White lump sugar of TC 2 category, beet sugar	«РУСАГРО – БЕЛГОРОД» ЖШК – «НИКА» филиалы "RUSAGRO - BELGOROD" ZhSHK - "NIKA" branches	ГОСТ 33222–2015
2	Селяночка Selyanochka	Сахар белый кристаллический категории ТС 2, свекловичный White crystalline sugar, beet sugar, category TC 2	ООО «Перелешинский сахарный комбинат» Pereleshinsky Sugar Mill LLC	ГОСТ 33222–2015
3	Бакалейный стандарт Grocery standard	Сахар белый кристаллический категории ТС 3, свекловичный White crystalline sugar, beet sugar, category TC 3	ООО «Орбита» Orbita LLC	ГОСТ 33222–2015
4	Чайковский Chaikofsky	Сахар белый кусковой категории экстра, свекловичный White lump sugar, extra category, beet sugar	ООО «РУСАГРО-ТАМБОВ» RUSAGRO-TAMBOV LLC	ГОСТ 33222–2015
5	Global Village	Сахар нерафинированный тростниковый кусковой прессованный	ЗАО «Санкт-Петербургский сахарный завод» CJSC "St. Petersburg Sugar Plant	ТУ 9111–002–15157693–2005

Результаты

По результатам измерений оптической плотности на фотоколориметре и определения показаний на рефрактометре вычисляли цветность в единицах ICUMSA:

$$Ц = \frac{D_{420} \cdot 100 \cdot 1000}{CB \rho l},$$

где D_{420} – оптическая плотность; 100 – коэффициент перевода на 100 % сухих веществ; 1000 – коэффициент индексации результата в диапазон целых чисел; CB – массовая доля сухих веществ, %; ρ – плотность раствора сахара, г/см³; l – толщина поглощающего слоя, см.

Затем получали изображения растворов сахара на смартфоне в пластиковых бюксах и параллельно изображения порошка кристаллического BaSO₄.

Фотографии обрабатывали с помощью бесплатного программного обеспечения Color Picker. Расчеты проводили в трёхкомпонентной цветовой системе RGB.

Цветность порошков сахара в цифровой цветометрии оценивали в долях от стандарта белизны по формулам (3):

$$F'_R = F_R(o) / F_R(ст) \quad (1)$$

$$F'_G = F_G(o) / F_G(ст) \quad (2)$$

$$F'_B = F_B(o) / F_B(ст) \quad (3)$$

где F'_R , F'_G , F'_B – относительные изменения красной, зеленой и голубой компонент цветности в долях от стандарта; $F_R(ст)$, $F_G(ст)$, $F_B(ст)$ – значения красной, зеленой и голубой компонент цветности для стандарта; $F_R(ст)$, $F_G(ст)$, $F_B(ст)$ – значения красной, зеленой и голубой компонент цветности для образца сахара. Стандартный образец сравнения (BaSO₄) использовали для нивелирования погрешностей, обусловленных возможными различиями в освещенности проб.

Результаты определения цветности сахара представлены в таблицах 2 и 3.

Обсуждение

По данным, полученным в ходе анализа, цветность в единицах ICUMSA двух образцов сахара удовлетворяет заявленной категории, а два образца имеют значения превышающие нормы цветности в своей категории. Тростниковый сахар ожидаемо имеет высокие значения. Анализируя данные, представленные в таблице 3, можно сделать вывод, что более чувствительной к цветности сахара является интенсивность синей компоненты цветности (F'_B), наименее чувствительной является интенсивность красной компоненты цветности (F'_R). Наиболее приближенным к белому цвету является сахар марки экстра, наименьшая белизна у тростникового сахара, что хорошо согласуется с данными, полученными на фотоколориметре. Это подтверждает возможность использования предложенной методики определения цветности сахара.

Предлагаемая методика характеризуется доступностью оборудования, программного обеспечения. Кроме того, мобильность системы и простота регистрации цветометрических характеристик в сочетании с экспрессностью и дешевизной, доступностью пробоподготовки, обуславливает перспективность использования данного способа в заводских лабораториях.

Таблица 2.

Результаты определения цветности

Table 2.

Color determination results

Образец Sample	Цветность Color	
	ICUMSA	ГОСТ 33222–2015
1	93,9	104,0
2	148,6	
3	160,6	195,0
4	96,1	45,0
5	3656	-

Таблица 3.

Результаты определения цветности образцов сахара, помещенных в пластиковые бьюксы,
с помощью смартфона

Table 3.

Results of determining the color of sugar samples using a smartphone

Образец Sample	Цветность Color							
	F _R	S _R , %	F _G	S _R , %	F _B	S _R , %	F _{ср}	S _R , %
1	0.963±0.010	0,95	0.960±0.018	1,59	0.965±0.007	0,64	0.964±0.009	0,84
2	0.932±0.017	1,60	0.922±0.024	2,30	0.908±0.016	1,57	0.922±0.018	1,72
3	0.911±0.021	2,02	0.893±0.025	2,47	0.864±0.021	2,15	0.891±0.020	1,96
4	0.970±0.014	1,23	0.973±0.020	1,76	0.980±0.006	0,54	0.976±0.012	1,08
5	0.703±0.016	1,95	0.513±0.027	4,61	0.410±0.018	3,81	0.543±0.018	2,96

Закключение

С помощью ЦЦМ можно структурировать результаты измерений в электронных базах данных, заметно повысить экспрессность анализа. Использование смартфонов делает метод ЦЦМ мобильным и доступным не только высококвалифицированным специалистам, но и обычным потребителям, что является неоспоримым преимуществом этого метода. Предложенный способ оценки белизны требует дальнейшей валидации, еще нет критериев, по которым можно оценить соответствие сахара определенной категории,

т. к. шкала RGB использована впервые в этой области. К достоинствам разработанного подхода следует отнести то, что предложен эталон, с которым можно было бы сравнивать цвет сахара, подобно стандартам для оценки цветности других пищевых продуктов (например, муки). Метрологические характеристики ЦЦМ, сопоставимы с классическими оптическими методами анализа. Кроме этого следует отметить удобство документирования и хранения электронных изображений в виде файлов, их статистической обработки и передачи по интернету в любую лабораторию или службу.

Литература

- ГОСТ 12572–2015. Сахар. Метод определения цветности. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.
- Шульц Э.В., Моногарова О.В., Осолок К.В. Цифровая цветометрия: аналитические возможности и перспективы использования // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2019. Т. 60. № 2. С. 79–87.
- Neto J.H.S. Speciation analysis based on digital image colorimetry: Iron (I/II) in white wine // Talanta. 2019. V. 194. P. 86–89. doi: 10.1016/j.talanta.2018.09.102
- Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С. Идентификация и аутентификация сухого коровьего молока с использованием смартфона и хеометрического анализа // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2023. Т. 64. № 1. С. 49–59. doi: 10.55959/MSU0579-9384-2-2023-64-1-49-59.
- Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Третьяков А.В. Установление фальсификации сливочного масла цветометрическим методом с использованием смартфона и хеометрического анализа // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2023. Т. 66. № 2. С. 53–61. doi: 10.6060/ivkkt.20236602.6717
- Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Третьяков А.В. Идентификация и аутентификация молока с использованием цифровой цветометрии индикаторных тест-систем, смартфона и хеометрического анализа // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78. № 1. С. 24–33. doi: 10.31857/S0044450223010024
- Перегончая О.В., Соколова С.А., Дьяконова О.В., Королькова Н.В. Цифровая цветометрия при определении цветного числа растительных масел // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2022. № 2(19). С. 125–134. doi: 10.53914/issn2311-6870_2022_2_125
- Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Третьяков А.В. и др. Установление порчи морепродуктов методом цифровой цветометрии индикаторных тест-систем // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2023. Т. 89. № 9. С. 25–33. doi: 10.26896/1028-6861-2023-89-9-25-33
- Сергеев А.И., Калинина И.Г., Шилкина Н.Г. и др. Изменение физико-химических и органолептических характеристик яблочного пюре при повышенных температурах хранения // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 259–271. doi: 10.21603/2074-9414-2023-2-2430
- Чапленко А.А., Моногарова О.В., Осолок К.В. Идентификация нестероидных противовоспалительных средств методом цифровой цветометрии с применением способа главных компонент // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2020. Т. 9. № 1. С. 55–59. doi: 10.33380/2305-2066-2020-9-1-55-59
- Моногарова О.В., Чапленко А.А., Осолок К.В. Идентификация и определение левомецитина в лекарственных препаратах методом мультисенсорной цифровой цветометрии // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2020. Т. 61. № 1. С. 3–10.
- Моногарова О.В., Чапленко А.А., Осолок К.В. Мультисенсорный цветометрический анализ препаратов дигрогестерона, троксерутина и адемтеионина с использованием штрих-кодов // Фармация и фармакология. 2021. Т. 9. № 1. С. 64–72. doi: 10.19163/2307-9266-2021-9-1-64-72
- Рудаков О.Б., Рудакова Л.В., Аббуд М. Цифровая цветометрия в фармацевтическом анализе и контроле продуктов питания // Аналитика. 2024. Т. 14. № 1. С. 58–67. doi: 10.22184/2227-572X.2024.14.1.58.66

- 14 Голованов В.И. Основные влияющие факторы при определении мутности и цветности воды фотографическим методом // Журнал аналитической химии. 2020. Т. 75. № 3. С. 248–258. doi: 10.31857/S0044450220030056
- 15 Ракутько С.А., Васькин А.Н., Ракутько Е.Н. Применение морфо-цветометрического анализа в биоиндикации экосистем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3(67). С. 445–458. doi: 10.32786/2071–9485–2022–03–51
- 16 Ракутько С.А., Ракутько Е.Н. Способ биоиндикации агроэкосистем с применением метода компьютерной морфоцветометрии // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023. № 1(70). С. 111–119. doi: 10.24412/2078–1318–2023–1–111–119
- 17 Галицкая А.А., Акопян А.А., Дыкман Л.А., Богатырев В.А. Цветометрическая система мониторинга роста микроводоросли *Dunaliella salina* в лабораторных условиях // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23. № 1. С. 104–109. doi: 10.18500/1816–9775–2023–23–1–104–109
- 18 Рудаков О.Б., Черноусова О.В., Вострикова Т.О., Усачев С.М. Цветометрический контроль цементов мобильными устройствами // Химия, физика и механика материалов. 2019. № 3(22). С. 35–48.
- 19 Иванов В.Б., Солина, Е.В., Саморядов А.В. Анализ устойчивости полимерных материалов в экстремальных условиях методом цветометрии // Российский химический журнал. 2020. Т. 64. № 4. С. 30–38. doi: 10.6060/rcj.2020644.3
- 20 Беляева Л.И., Пружин М.К., Остапенко А.В., Сысоева Т.И. Взаимосвязь цветовых характеристик белого сахара в растворе и кристаллическом виде // Пищевая промышленность. 2022. № 10. С. 76–79. doi: 10.52653/PPI.2022.10.10.017
- 21 Alves V., dos Santos J.M., Pinto E., Ferreira I.M. et al. Digital image processing combined with machine learning: A new strategy for brown sugar classification // Microchemical Journal. 2024. V. 196. P. 109604. doi: 10.1016/j.microc.2023.109604
- 22 Schlesner S.K., Voss M., Helfer G.A., Costa A.B. et al. Smartphone-based miniaturized, green and rapid methods for the colorimetric determination of sugar in soft drinks // Green Analytical Chemistry. 2022. V. 1. P. 100003. doi:10.1016/j.greeac.2022.100003
- 23 Mahato K., Chandra P. Paper – based miniaturized immunosensor for naked eye ALP detection based on digital image colorimetry integrated with smartphone // Biosensors and Bioelectronics. 2019. V. 128. P. 9–16. doi: 10.1016/j.bios.2018.12.006
- 24 Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Амелин В.Г. Использование смартфона в химическом анализе // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78. № 4. С. 317–353. doi: 10.31857/S0044450223030131

References

- 1 GOST 12572-2015. Sugar. Chromaticity method. M., Standartinform, 2016. 8 p. (in Russian).
- 2 Schulz E.V., Monogarova O.V., Oskolok K.V. Digital color metering: analytical capabilities and prospects for use. Bulletin of Moscow University. Series 2: Chemistry. 2019. vol. 60. no. 2. pp. 79–87. (in Russian).
- 3 Neto J.H.S. Speciation analysis based on digital image colorimetry: Iron (I/III) in white wine. Talanta. 2019. vol. 194. pp. 86–89. doi: 10.1016/j.talanta.2018.09.102
- 4 Amelin V.G., Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S. Identification and authentication of powdered cow's milk using a smartphone and chemometric analysis. Bulletin of Moscow University. Episode 2: Chemistry. 2023. vol. 64. no. 1. pp. 49–59. doi: 10.55959/MSU0579–9384–2–2023–64–1–49–59 (in Russian).
- 5 Amelin V.G., Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S., Tretyakov A.V. Determination of falsification of butter by the colorimetric method using a smartphone and chemometric analysis. News of higher educational institutions. Series: Chemistry and chemical technology. 2023. vol. 66. no. 2. pp. 53–61. doi: 10.6060/ivkkt.20236602.6717 (in Russian).
- 6 Amelin V.G., Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S., Tretyakov A.V. Identification and authentication of milk using digital colorimetry of indicator test systems, smartphone and chemometric analysis. Journal of Analytical Chemistry. 2023. vol. 78. no. 1. pp. 24–33. doi: 10.31857/S0044450223010024 (in Russian).
- 7 Peregonchaya O.V., Sokolova S.A., Dyakonova O.V., Korolkova N.V. Digital colorimetry in determining the color number of vegetable oils. Technologies and merchandising of agricultural products. 2022. no. 2(19). pp. 125–134. doi: 10.53914/issn2311–6870_2022_2_125 (in Russian).
- 8 Amelin V.G., Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S., Tretyakov A.V. and others. Establishment of spoilage of seafood using digital colorimetry of indicator test systems. Factory Laboratory. Diagnostics of materials. 2023. vol. 89. no. 9. pp. 25–33. doi: 10.26896/1028–6861–2023–89–9–25–33 (in Russian).
- 9 Sergeev A.I., Kalinina I.G., Shilkina N.G. and others. Changes in physicochemical and organoleptic characteristics of applesauce at elevated storage temperatures. Equipment and technology of food production. 2023. vol. 53. no. 2. pp. 259–271. doi: 10.21603/2074–9414–2023–2–2430 (in Russian).
- 10 Chaplenko A.A., Monogarova O.V., Oskolok K.V. Identification of non-steroidal anti-inflammatory drugs by digital colorimetry using the principal component method. Development and registration of medicines. 2020. vol. 9. no. 1. pp. 55–59. doi: 10.33380/2305–2066–2020–9–1–55–59 (in Russian).
- 11 Monogarova O.V., Chaplenko A.A., Oskolok K.V. Identification and determination of chloramphenicol in medicinal preparations using multisensory digital colorimetry. Bulletin of Moscow University. Episode 2: Chemistry. 2020. vol. 61. no. 1. pp. 3–10. (in Russian).
- 12 Monogarova O.V., Chaplenko A.A., Oskolok K.V. Multisensory colorimetric analysis of dydrogesterone, troxerutin and ademetonine drugs using barcodes. Pharmacy and pharmacology. 2021. vol. 9. no. 1. pp. 64–72. doi: 10.19163/2307–9266–2021–9–1–64–72 (in Russian).
- 13 Rudaakov O.B., Rudakova L.V., Abboud M. Digital colorimetry in pharmaceutical analysis and control of food products. Analytics. 2024. vol. 14. no. 1. pp. 58–67. doi: 10.22184/2227–572X.2024.14.1.58.66 (in Russian).
- 14 Golovanov V.I. The main influencing factors in determining the turbidity and color of water by the photographic method. Journal of Analytical Chemistry. 2020. vol. 75. no. 3. pp. 248–258. doi: 10.31857/S0044450220030056 (in Russian).
- 15 Rakutko S.A., Vaskin A.N., Rakutko E.N. Application of morpho-colorimetric analysis in bioindication of ecosystems. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. no. 3(67). pp. 445–458. doi: 10.32786/2071–9485–2022–03–51 (in Russian).

16 Rakutko S.A., Rakutko E.N. A method of bioindication of agroecosystems using the method of computer morpho-colorimetry. *News of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2023. no. 1(70). pp. 111–119. doi: 10.24412/2078–1318–2023–1–111–119 (in Russian).

17 Galitskaya A.A., Akopyan A.A., Dykman L.A., Bogatyrev V.A. Colorimetric system for monitoring the growth of microalgae *Dunaliella salina* in laboratory conditions. *News of Saratov University*. New episode. Series: Chemistry. Biology. Ecology. 2023. vol. 23. no. 1. pp. 104–109. doi: 10.18500/1816–9775–2023–23–1–104–109 (in Russian).

18 Rudakov O.B., Chernousova O.V., Vostrikova T.O., Usachev S.M. Colorimetric control of cements using mobile devices. *Chemistry, physics and mechanics of materials*. 2019. no. 3(22). pp. 35–48. (in Russian).

19 Ivanov V.B., Solina, E.V., Samoryadov A.V. Analysis of the stability of polymer materials under extreme conditions using colorimetry. *Russian Chemical Journal*. 2020. vol. 64. no. 4. pp. 30–38. doi: 10.6060/rcj.2020644.3 (in Russian).

20 Belyaeva L.I., Pruzhin M.K., Ostapenko A.V., Sysoeva T.I. The relationship between the color characteristics of white sugar in solution and crystalline form. *Food industry*. 2022. no. 10. pp. 76–79. doi: 10.52653/PPI.2022.10.10.017 (in Russian).

21 Alves V., dos Santos J.M., Pinto E., Ferreira I.M. et al. Digital image processing combined with machine learning: A new strategy for brown sugar classification. *Microchemical Journal*. 2024. vol. 196. pp. 109604. doi: 10.1016/j.microc.2023.109604

22 Schlesner S.K., Voss M., Helfer G.A., Costa A.B. et al. Smartphone-based miniaturized, green and rapid methods for the colorimetric determination of sugar in soft drinks. *Green Analytical Chemistry*. 2022. vol. 1. pp. 100003. doi:10.1016/j.greeac.2022.100003

23 Mahato K., Chandra P. Paper – based miniaturized immunosensor for naked eye ALP detection based on digital image colorimetry integrated with smartphone. *Biosensors and Bioelectronics*. 2019. vol. 128. pp. 9–16. doi: 10.1016/j.bios.2018.12.006

24 Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S., Amelin V.G. Using a smartphone in chemical analysis. *Journal of Analytical Chemistry*. 2023. vol. 78. no. 4. pp. 317–353. doi: 10.31857/S0044450223030131 (in Russian).

Сведения об авторах

Ольга В. Черноусова к.х.н., преподаватель, цикловая комиссия химических технологий и управления в технических системах, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, byolval@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8198-574X>

Олег Б. Рудаков д.х.н., профессор, кафедра химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, robi57@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2527-2857>

Мохамед Аббод аспирант, кафедра химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, chemistry@cchgeu.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-1829-3365>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga V. Chernousova Cand. Sci. (Chem.), lecturer, commission of chemical technologies and management in technical systems department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, byolval@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8198-574X>

Oleg B. Rudakov Dr. Sci. (Chem.), professor, chemistry and chemical technology of materials department, Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russia, robi57@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2527-2857>

Mohamed Abbod graduate student, chemistry and chemical technology of materials department, Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russia, chemistry@cchgeu.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-1829-3365>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/04/2024	После редакции 24/04/2024	Принята в печать 13/05/2024
Received 04/04/2024	Accepted in revised 24/04/2024	Accepted 13/05/2024