

## Исследование цветовых характеристик полупродуктов сахарного производства

Надежда. Г. Кульнева<sup>1</sup> ngkulneva@yandex.ru  
Гебре Бираро Эгнет<sup>1</sup>  
Павел. Н. Саввин<sup>1</sup> pashkasavvin@ya.ru  
Наталья. Н. Лобачева<sup>1</sup>

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

**Реферат.** Известно, что в условиях сахарного производства только около 80% сахарозы, извлеченной из свеклы, выводится в качестве товарного продукта. Остальное количество теряется при переработке или остается в полупродуктах. Цветность белого сахара определяется преимущественно цветностью возвращаемой на первую ступень кристаллизации клеровки желтых сахаров. Эффективным способом повышения качества клеровки является аффинация желтых сахаров. Красящие вещества содержатся преимущественно в пленке на поверхности кристаллов сахара. Для повышения эффективности аффинации опыты проводили путем послышной обработки кристаллов нормированного размера насыщенным раствором белого сахара. Для оценки численных характеристик окраски исследуемых образцов использовали сканерометрический метод с последующей компьютерной обработкой изображений в цветовом режиме RGB. Проведенные исследования свидетельствуют, что раствор исходного желтого сахара, имеющий визуальную желтую окраску, интенсивно поглощает в области спектра 450–480 нм, поэтому синяя компонента на графиках отсутствует. При проведении аффинации происходит удаление красящих веществ с поверхности кристаллов, что изменяет интенсивность поглощения света. Наблюдается осветление образцов при продолжительности аффинации до 3 мин. Дальнейшая обработка в течение 5–10 мин сопровождается частичной диффузией красящих веществ из межкристалльного раствора к поверхности кристаллов и повышением цветности. Длительная аффинация приводит к истиранию кристаллов, сопровождается непроизводительными затратами энергии на процесс перемешивания. Полученные результаты свидетельствуют, что эффективное удаление красящих веществ происходит в течение 1–3 мин проведения аффинации. При этом цветность желтого сахара снижается с 625 до 130–230 единиц оптической плотности, а цветность межкристалльного раствора повышается с 20 до 900–1600 единиц оптической плотности. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что основное количество красящих веществ, определяющих цветность желтых сахаров, содержится в пленке на поверхности кристаллов и легко удаляется аффинацией в течение 3 мин. Метод определения цветовых характеристик объектов в системе RGB адекватно характеризует окрашенность полупродуктов сахарного производства и может быть использован при проведении исследований.

**Ключевые слова:** желтый сахар, красящие вещества, аффинация, цветность, цветовой режим RGB

## Research of color characteristics of sugar production intermediates

Nadezhda G. Kulneva<sup>1</sup> ngkulneva@yandex.ru  
Gebre Biraro Egnet<sup>1</sup>  
Pavel N. Savvin<sup>1</sup> pashkasavvin@ya.ru  
Natal'ya N. Lobacheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Summary.** It is known that in a sugar production, only about 80% of sucrose, extracted from the beet, is output as a commercial product. The rest is lost during the processing or remains in intermediates. The color of white sugar is mainly determined by the color of the returned to the first stage of crystallization of the brown sugars melt. An effective way to improve the quality of melt is affination of brown sugars. Coloring substances are preferably present in the film on the surface of sugar crystals. To improve the efficiency of affination experiments were carried out by layer-by-layer processing of the normalized crystal size with the saturated solution of white sugar. To evaluate the numerical characteristics of the color of the samples studied scannerometric method followed by computer processing of images in RGB color mode was used. The studies suggest that the solution of the starting yellow sugar having visual yellow color intensively absorbs 450–480 nm of spectrum, so there is no blue component in the graphs. During the affination removing of coloring substances from the surface of crystals takes place changing the light absorption intensity. There is a bleaching of the samples at affination duration up to 3 minutes. Further 5–10 min treatment is accompanied by partial diffusion of colorants from mother liquor to the surface of crystals and improved chromaticity. Prolonged affination results in crystals abrasion; it is accompanied by unproductive energy consumption on the mixing process. The results obtained indicate that the effective removal of coloring substances occurs within 1–3 minutes of affination. In this case brown sugar chromaticity decreases from 625 to 130–230 units of optical density and mother liquor chromaticity is increased from 20 to 900–1600 units of optical density. The studies suggest that most of the coloring substances determining the chromaticity of yellow sugars is found in the film on the crystal surface and is easily removed by 3 min long affination. Method of determining of objects color characteristics in RGB system describes adequately the intermediates coloring of sugar production and can be used in research.

**Keywords:** brown sugar, coloring substances, affination, chromaticity, RGB color mode

Для цитирования

Кульнева Н. Г., Гебре Бираро Эгнет, Саввин П. Н., Лобачева Н. Н. Исследование цветовых характеристик полупродуктов сахарного производства // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 300–304. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-300-304

For citation

Kulneva N.G., Gebre Biraro Egnet, Savvin P.N., Lobacheva N. N. Research of color characteristics of sugar production intermediates. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 300–304. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-300-304

**Введение**

В условиях сахарного производства только около 55% сахарозы, извлеченной из свеклы, выводится в качестве товарного продукта на первой ступени кристаллизации. Остальное количество остается в полупродуктах производства – желтых сахарах, которые используются в замкнутом цикле, а небольшая часть выводится с отходом производства – мелассой [1].

Проведенные исследования по статистической обработке декадных показателей качества полупродуктов производства показали отсутствие корреляции между качеством сиропа и смеси сиропа с клеровкой, из которых выкристаллизовывают сахарозу. При этом существенное влияние на цветность белого сахара оказывает цветность возвращаемой на первую ступень кристаллизации клеровки желтых сахаров (рисунок 1–2).



Рисунок 1. Временные ряды чистоты сиропа с клеровкой и чистоты сиропа

Figure 1. The time series of syrup purity with melt and syrup purity

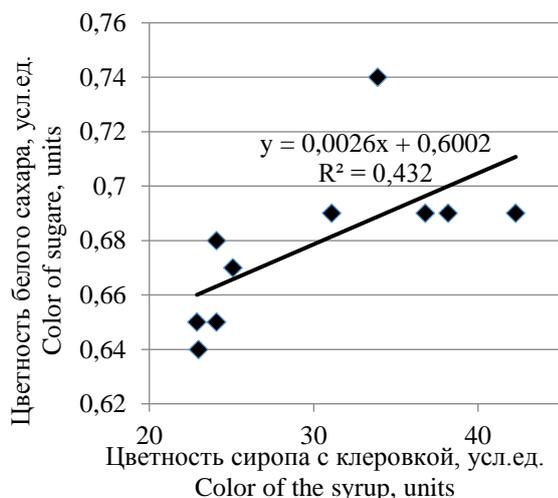


Рисунок 2. Диаграмма рассеяния цветности белого сахара и цветности сиропа с клеровкой ( $r_{xy} = 0,66$ )

Figure 2. The diagram of scattering of white sugar chromaticity and melt syrup chromaticity ( $r_{xy} = 0,66$ )

Существуют различные способы повышения качества клеровки желтых сахаров. К ним относят сульфитацию, использование солевых растворов при клеровании, электрохимическую активацию жидкости для растворения желтых сахаров, адсорбционную очистку и другие [2–4].

Одним из наиболее эффективных способов повышения качества клеровки является аффинация желтых сахаров. Известно, что несахара, в том числе красящие вещества, содержатся преимущественно в пленке на поверхности кристаллов желтого сахара. Проведение аффинационной очистки позволяет заменить пленку на поверхности кристаллов на раствор более высокой чистоты. Однако некоторая часть несахаров, имеющих сродство к сахарозе, внедряется в кристаллическую решетку, повышая цветность и снижая чистоту клеровки желтого сахара [1].

Для проведения эффективной аффинации представляет интерес исследование расположения несахаров в кристаллах желтого сахара. Опыты проводили путем послышной обработки кристаллов нормированного размера насыщенным раствором белого сахара. При этом из массы желтого сахара путем просеивания отбирали фракцию с размером кристаллов 0,3–0,5 мм. Данная фракция в исследуемом продукте составляла более 60%. Навеску кристаллов смешивали с раствором белого сахара массовой долей 82% при температуре 70 °C в течение 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20 мин с последующим центрифугированием в течение 5 мин со скоростью 5000 мин<sup>-1</sup>. Получали аффинированный сахар и аффинационный оттек, в которых можно определять интенсивность окраски различными методами [5, 6].

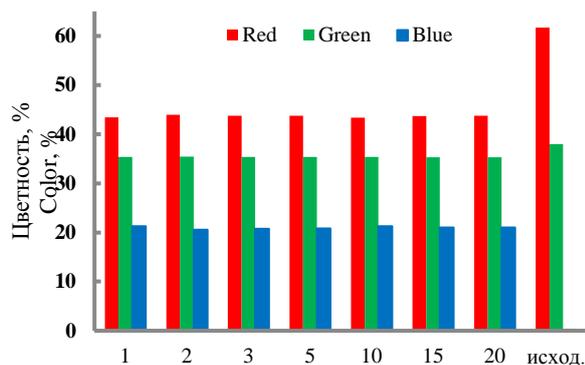
Для оценки численных характеристик окраски исследуемых образцов использовали сканерометрический метод с использованием планшетного сканера HP ScanJet 3570C с последующей компьютерной обработкой изображений в цветовом режиме RGB.

Система RGB – один из официально принятых методов характеристики цвета. В основу системы положена трехкомпонентная теория, согласно которой смешением трех основных цветов (красного-R, зеленого-G и синего-B) в подходящих соотношениях получают все остальные спектральные цвета, а также ахроматический белый цвет. Красный цвет соответствует 700 нм, зеленый – 546,1 нм, синий – 435,8 нм [7]. Значение каждой цветовой компоненты в RGB-модели измеряется по шкале от 0 до 255 усл. ед.

Объекты сканировали в цветовом режиме True Color, оптическое разрешение 600 dpi, размер не менее 1000x1000 pix. Для стандартизации результатов и исключения погрешности цветопередачи сканирование проводили в присутствии белого листа с нанесенной спектральной шкалой

и шкалой яркости (для автоматического определения баланса белого). Образцы помещали в кювету для спектрофотометрии с толщиной поглощающего слоя 5,0 см и сканировали с помощью специальной приставки [6, 7].

Цифровое изображение обрабатывали при помощи программы ImageJ 1.46. За результат принимали среднеарифметическое значение для каждой из цветовых компонент (рисунок 3), а также интенсивность окраски (рисунок 4).



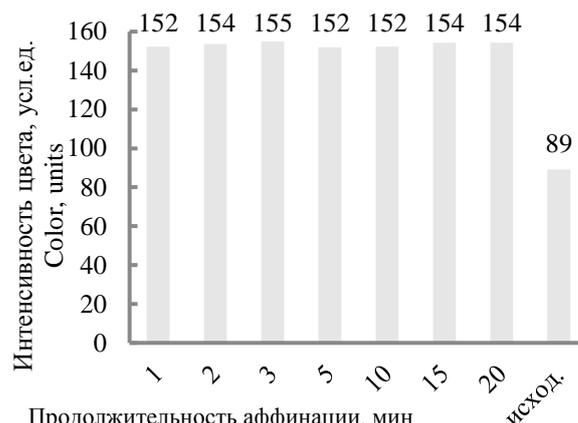
Продолжительность аффинации, мин.  
Duration of affinity, min

Рисунок 3. Соотношение цветовых компонент для образцов сахара при различной продолжительности аффинации

Figure 3. The ratio of color components for the sugar samples at varying lengths affination

Проведенные исследования свидетельствуют, что раствор исходного желтого сахара, имеющий визуальную желтую окраску, интенсивно поглощает в области спектра, соответствующего длине волны 450–480 нм, поэтому синяя компонента на графиках отсутствует. При проведении аффинации происходит удаление красящих веществ с поверхности кристаллов сахара, что изменяет интенсивность поглощения света. Наблюдается осветление образцов по мере увеличения продолжительности аффинации до 3 мин,

что можно объяснить заменой пленки интенсивно окрашенного раствора на поверхности кристаллов желтого сахара на раствор низкой цветности. Увеличение продолжительности обработки до 5 мин приводит к диффузии красящих веществ из межкристалльного раствора на поверхность кристаллов – интенсивность их удаления снижается. Длительная аффинация способствует истиранию кристаллов, сопровождается непроизводительными затратами энергии на процесс перемешивания.



Продолжительность аффинации, мин  
Duration of affinity, min

Рисунок 4. Интенсивность осветления образцов сахара в зависимости от продолжительности аффинации

Figure 4. The intensity of sugar samples clarification depending on duration of affination

Влияние продолжительности аффинации на эффективность осветления желтого сахара исследовали также фотоколориметрическим методом, который является традиционным для сахарного производства. Полученные образцы аффинированного желтого сахара и аффинационного раствора растворяли дистиллированной водой, определяли цветность на фотоколориметре КФК-3 при длине волны 490 нм (рисунок 5–6).

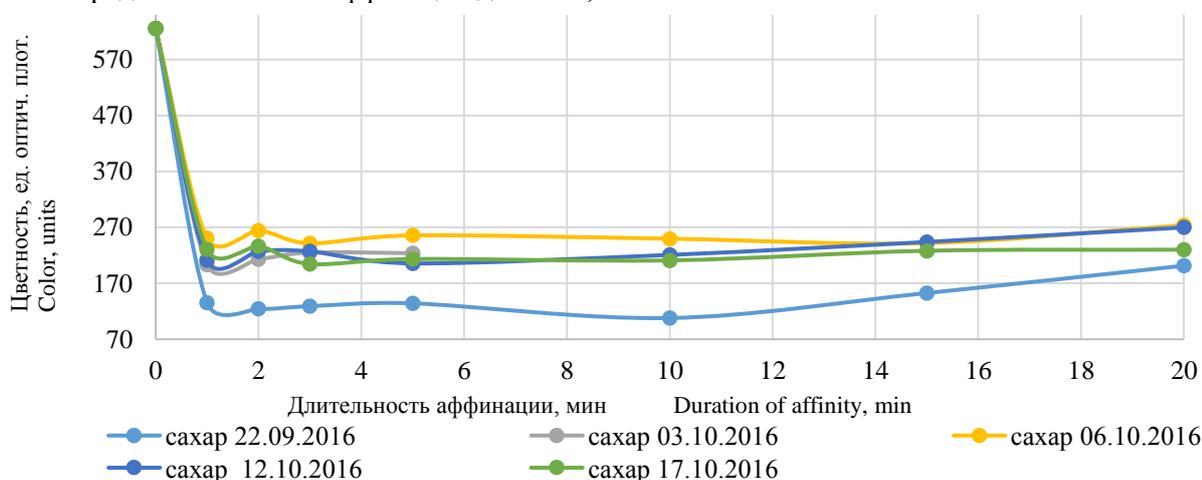


Рисунок 5. Цветность аффинированного желтого сахара в зависимости от продолжительности аффинации  
Figure 5. Chromaticity of affinated yellow sugar, depending on the affination length

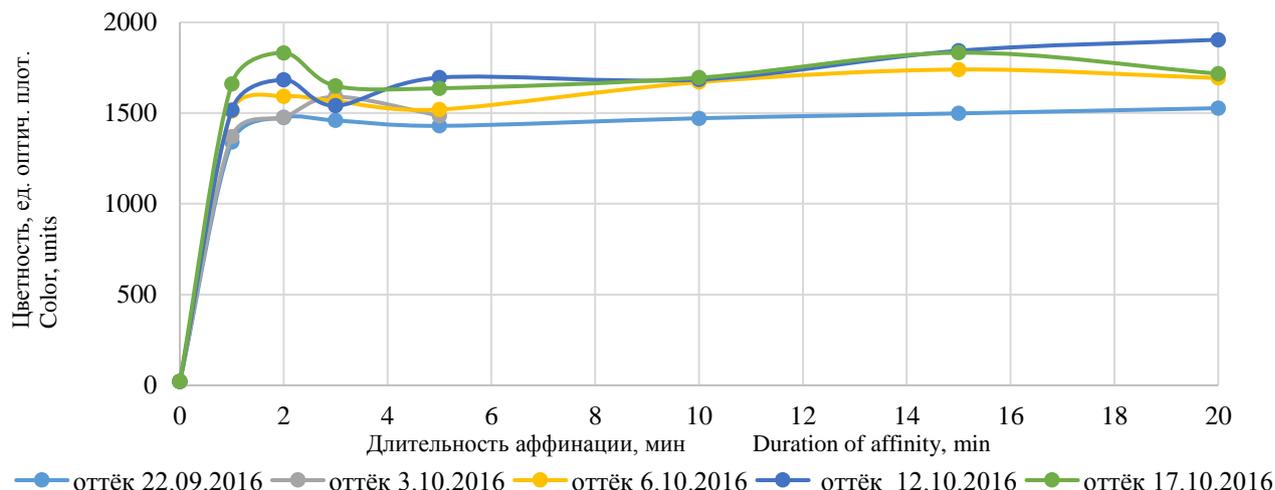


Рисунок 6. Цветность аффинационного оттока в зависимости от продолжительности аффинации  
 Figure 6. Chromaticity of affination swelling depending on the affination duration

Полученные результаты свидетельствуют, что эффективное удаление красящих веществ происходит в течение 1–3 мин проведения аффинации, что соответствует их максимальному содержанию в пленке на поверхности кристаллов. При этом цветность желтого сахара снижается с 625 до 130–230 единиц оптической плотности, а цветность межкристалльного раствора повышается с 20 до 900–1600 единиц оптической плотности.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Honig P. Principles of sugar technology. Elsevier, 2013.
- 2 Кульнева Н.Г., Шматова А.И. Разработка технологии получения и очистки концентрированных сахарных растворов с использованием электрического поля // Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 4. С. 210–215
- 3 Кульнева Н.Г. и др. Использование целлюлозы для очистки концентрированных сахарных растворов // Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 3.– С. 182–185.
- 4 Zhang Q., Qian X., Tang B. Environmentally friendly preparation of a strong basic anion exchange fibers and its application in sugar decolorization // Reactive and Functional Polymers. 2014. V. 76. P. 41–48.
- 5 Lima R.B. et al. Sucrose and color profiles in sugarcane (*Saccharum sp.*) juice analyzed by UFLC-ELSD and Synapt High-Definition Mass Spectrometry during radiation treatment // Radiation Physics and Chemistry. 2016. V. 121. P. 99–105.
- 6 Sartori J.A.S. et al. Elucidation of Color Reduction Involving Precipitation of NonSugars in Sugarcane (*Saccharum sp.*) Juice by Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry // Journal of Food Processing and Preservation. 2015. V. 39. №. 6. P. 1826–1831.
- 7 Пономарева Е.И. и др. Цветовые характеристики зерна ржи, подготовленного разными способами // Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 4. С. 120–122.

### Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать выводы, что основное количество красящих веществ, определяющих цветность желтых сахаров, содержится в пленке на поверхности кристаллов и легко удаляется аффинацией в течение 1–3 мин; метод определения цветовых характеристик объектов в системе RGB адекватно характеризует окрашенность полупродуктов сахарного производства и может быть использован при проведении исследований.

### REFERENCES

- 1 Honig P. Principles of sugar technology. Elsevier, 2013.
- 2 Kulneva N.G., Shmatova A.I. Development of technology for production and purification of the concentrated sugar solutions with the electric field. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET] 2014. no. 4. pp. 210–215 (in Russian)
- 3 Kulneva N.G. et al. Application of cellulose for the purification of concentrated sugar solutions *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET] 2015. no. 3. pp. 182–185. (in Russian)
- 4 Zhang Q., Qian X., Tang B. Environmentally friendly preparation of a strong basic anion exchange fibers and its application in sugar decolorization. *Reactive and Functional Polymers*. 2014. vol. 76. pp. 41–48.
- 5 Lima R.B. et al. Sucrose and color profiles in sugarcane (*Saccharum sp.*) juice analyzed by UFLC-ELSD and Synapt High-Definition Mass Spectrometry during radiation treatment. *Radiation Physics and Chemistry*. 2016. vol. 121. pp. 99–105.
- 6 Sartori J.A.S. et al. Elucidation of Color Reduction Involving Precipitation of NonSugars in Sugarcane (*Saccharum sp.*) Juice by Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2015. vol. 39. no. 6. pp. 1826–1831.
- 7 Ponomareva E. I. et al. Color characteristics of rye grain, prepared in different ways *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET] 2013. no. 4. pp. 120–122 (in Russian).

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Надежда. Г. Кульнева** д. т. н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ngkulneva@yandex.ru

**Гебре Бираро Эгнет** аспирант, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,

**Павел. Н. Саввин** к. х. н., доцент, кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, pashkasavvin@ya.ru

**Наталья. Н. Лобачева** к. т. н., доцент, кафедра иностранных языков, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,

**КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА**

**Надежда. Г. Кульнева** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию

**Гебре Бираро Эгнет** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

**Павел. Н. Саввин** консультация в ходе исследования

**Наталья. Н. Лобачева** несёт ответственность за плагиат

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ПОСТУПИЛА 22.02.2017**

**ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 01.02.2017**

**INFORMATION ABOUT AUTHORS**

**Nadezhda G. Kulneva** doctor of technical sciences, professor, fermentation technology and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ngkulneva@yandex.ru

**Gebre Biraro Egnnet** graduated student, fermentation technology and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,

**Pavel N. Savvin** candidate of chemical sciences, assistant professor, chemistry and chemical technology, organic compounds and polymer processing department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, pashkasavvin@ya.ru

**Natal'ya N. Lobacheva** candidate of technical sciences, assistant professor, foreign languages department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,

**CONTRIBUTION**

**Nadezhda G. Kulneva** wrote the manuscript, correct it before filing in editing

**Gebre Biraro Egnnet** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Pavel N. Savvin** consultation during the study

**Natal'ya N. Lobacheva** is responsible for plagiarism

**CONFLICT OF INTEREST**

The authors declare no conflict of interest.

**RECEIVED 2.22.2017**

**ACCEPTED 2.1.2017**