

Оценка влагоудерживающей способности подсластителей

Алла В. Никулина¹ nik_a_68@mail.ru
Анна В. Аркадьева¹ lopata.98@yandex.ru
Лариса П. Бондарева¹ larbon@mail.ru

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

Аннотация. Влагоудерживающая способность является важным свойством для химических компонентов пищевой продукции, так как относится к одной из характеристик, определяющих товарное свойство продуктов. При этом данные о гидрофильности подсластителей в литературе практически отсутствуют, определенный критерий для ее оценки не приводится. Как правило, гидрофильность устанавливают как технофункциональное свойство, т.е. для конкретного пищевого продукта при замене в нем классического подсластителя другим, например, более дешевым. Из литературных данных известно применение изопиестического метода для оценки гидрофильности изомальта по сравнению с сахарозой. Статья посвящена выбору параметра, который может стать универсальным критерием для оценки влагоудерживающей способности подсластителей. Методом изопиестического метода изучена гидрофильность эритрита, цикломата натрия, глюкозы, сахарозы, сорбита. В качестве аналитического сигнала для оценки гидрофильности подсластителей применялась гравиметрически установленная площадь S под изопиестическими кривыми. Рассмотрена корреляция S с различными критериями оценки гидрофильности (гидрофобности) веществ: критерий Дэвиса, Гриффина, упрощенный критерий гидрофобности, интегральная энергия Гиббса, растворимость веществ в воде. Показано наличие корреляции площади под изопиестическими кривыми S только с интегральной энергией Гиббса из всех рассмотренных критериев. Полученные данные позволяют рекомендовать интегральную энергию Гиббса для оценки гидрофильности, и, следовательно, влагоудерживающей способности подсластителей.

Ключевые слова: эритрит, цикломат натрия, глюкоза, сахароза, сорбит, влагоудерживающая способность, гидрофильность

Evaluation of the water-holding capacity of sweeteners

Alla V. Nikulina¹ nik_a_68@mail.ru
Anna V. Arkadieva¹ lopata.98@yandex.ru
Larisa P. Bondareva¹ larbon@mail.ru

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

Abstract. Water-retaining capacity is an essential property for the chemical components of food products, as it refers to one of the characteristics that determine the commercial properties of products. At the same time, there are practically no data on the hydrophilicity of sweeteners in the literature; a specific criterion for assessing this property is not given. Hydrophilicity is typically defined as a techno-functional property, i.e. it is assessed for a certain food product as a whole, when replacing the classic sweetener with another, for example, cheaper. From the literature, the isopiestic method was used to assess the hydrophilicity of isomalt in comparison with sucrose. The article is devoted to choosing a parameter that can become a universal criterion for assessing the water-retaining capacity of sweeteners. The hydrophilicity of erythritol, cyclamate, glucose, sucrose, and sorbitol has been studied by isopiestic method. The gravimetrically determined area S under the isopiestic curve was used as an analytical signal to assess the hydrophilicity of sweeteners. The correlations of S with various criteria, such as the Davis and Griffin criteria, the simplified criterion for hydrophobicity, the integral Gibbs energy, and the solubility of substances in water, for assessing the hydrophilicity (hydrophobicity) of sweeteners are considered. A correlation of the area under the isopiestic curves S only with the integral Gibbs energy from all the considered criteria was shown. The data obtained allow us to recommend the integral Gibbs energy for assessing the hydrophilicity and, consequently, the water-retaining capacity of sweeteners.

Keywords: erythritol, sodium cyclamate, glucose, sucrose, sorbitol, water-retaining capacity, hydrophilicity

Введение

Потребительские свойства пищевых продуктов определяются в том числе влагоудерживающей способностью составляющих их компонентов. Влагоудерживающие свойства вещества напрямую связаны с его способностью к влагопоглощению (гидрофильностью). При этом данные по гидрофильности подсластителей в литературе практически отсутствуют. В основном рекомендуется определять гидрофильность подсластителя для каждого конкретного случая в сравнении с уже применяемым, например сахарозой. Известны значения гидрофильности фруктозы, глюкозы и сахарозы [1]. Также известно, что влагоудерживающая

способность сорбита, превышает этот критерий сахарозы в 1,4 раза [2]. Но наиболее часто в литературе не приводится численное значение гидрофильности подсластителя, а просто указывается, что, например, сорбит и ксилит – влагоудерживающие соединения [3].

Для определения гидрофильности поверхностно-активных веществ широко применяется изопиестический метод. Также известно его применение для определения водосвязывающих свойств сахарозаменителя изомальтата относительно аналогичных свойств сахарозы [4].

Цель работы – подбор критерия оценки влагоудерживающей способности подсластителей.

Для цитирования

Никулина А.В., Аркадьева А.В., Бондарева Л.П. Оценка влагоудерживающей способности подсластителей // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 269–273. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-269-273

For citation

Nikulina A.V., Arkadieva A.V., Bondareva L.P. Evaluation of the water-holding capacity of sweeteners. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 269–273. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-4-269-273

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

Материалы и методы

В качестве метода для оценки гидрофильности подсластителей выбран метод изопиестирования, заключающийся в измерении массы поглощенной воды определенным количеством подсластителя из паров воды различной активности. Для получения водяных паров с различной активностью применяются растворы соответствующих солей. Измерения проводятся до установления изопиестического равновесия между образцом и парами воды над насыщенным раствором соли.

Для выполнения исследований в эксикаторы с растворами солей с различной активностью паров воды a_w [5] (таблица 1) помещали предварительно высушенные до постоянной массы (m_0) образцы (глюкоза, сорбит, сахароза, эритрит, цикломат натрия), закрывали и выдерживали при постоянной температуре $298 \pm 2,0$ °К, периодически определяя массу подсластителя с поглощенной водой на аналитических весах с точностью $\pm 0,0001$ г.

Таблица 1.

Активностью паров воды над насыщенным раствором солей [5]

Table 1.

The activity of water vapor over a saturated salt solution [5]

Вещество Substance	a_w
$Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	0,315
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	0,529
$NaNO_3$	0,738
KCl	0,843
KNO_3	0,925
$Pb(NO_3)_2$	0,954
$K_2Cr_2O_7$	0,980

Измерения проводили каждые 15 мин. Изопиестическое равновесие между образцами подсластителей и парами воды достигнуто не было, масса образцов непрерывно увеличивалась, визуальным сигналом окончания эксперимента служил эффект «стеклования» подсластителя, время его появления варьировалось от 30 мин. до 7 ч.

Обсуждение

Массу воды, поглощенной 1 г подсластителя (таблица 2) рассчитывали по формуле 1:

$$i = \frac{m - m_0}{m_0} = \frac{m_{ж}}{m_0}, \quad (1)$$

где m – масса образца подсластителя при достижении эффекта «стеклования»; $m_{ж}$ – масса поглощенной воды.

По полученным данным строили изопиесты (рисунок 1) в координатах $i=f(a_w)$.

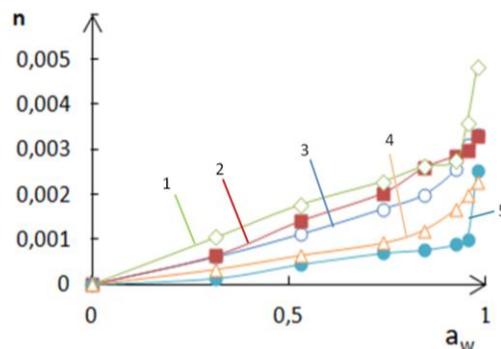


Рисунок 1. Изопиесты сорбции паров воды подсластителями: сорбит (1), сахароза (2), глюкоза (3), цикломат натрия (4), эритрит (5)

Figure 1. Isopiestic of water vapor sorption by sweeteners: sorbitol (1), sucrose (2), glucose (3), sodium cyclamate (4), erythritol (5)

По полученным изопиестам сорбции воды можно сделать вывод, что максимальной гидрофильностью из рассмотренных подсластителей обладает сорбит, а минимальной – эритрит. Сорбция паров воды подсластителями в малой и средней области парциальных давлений увеличивается практически линейно, что объясняется постепенной гидратацией полярных групп подсластителей на поверхности кристалла. В области высоких значений парциальных давлений, когда вся поверхность кристалла гидратирована, наступает многослойная сорбция паров воды, что приводит к резкому увеличению количества поглощаемой воды.

В качестве возможного критерия гидрофильности подсластителей рассчитали значения интегральной энергии Гиббса гидратации $\Delta_h G$, Дж/моль [5]:

$$\Delta_h G = nRT \ln a_w - RT \int_0^{a_w} n d \ln a_w \quad (2)$$

где n – количество поглощенной воды, моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура, °К; a_w – активность воды.

$\int_0^{a_w} n d \ln a_w$ определяли гравиметрически как площадь под изопиестами сорбции воды. Полученная величина выбрана в качестве аналитического сигнала метода, показывающего величину гидратации подсластителя.

Для оценки полярности молекул при изучении ПАВ применяются различные методы расчета гидрофильно-липофильного баланса поверхностно-активных веществ. Эти подходы также были оценены как возможные критерии гидрофильности подсластителей – рассмотрели критерии Гриффина, Дэвиса и упрощенный критерий гидрофобности. Расчет проводили приняв, что суммарная гидрофобность молекулы подсластителя рассчитывается с учетом

количества углеводородных фрагментов (гидрофобная часть) и полярных функциональных групп (гидрофильная часть).

Расчет критерия Гриффина проводили по формуле:

$$H_{ГЛБ} = 20 * \frac{M_h}{M}, \quad (3)$$

где M_h – молекулярная масса гидрофильной части молекулы, M – молекулярная масса всей молекулы.

Критерий Дэвиса определяли, как

$$H_d = 7 + \sum_{i=1}^m H_i - 0,475 * n, \quad (4)$$

где m – количество гидрофильных групп в молекуле; H_i – число для i -ой гидрофильной группы; n – количество атомов углерода в молекуле.

Упрощенный критерий гидрофобности рассчитывали по формуле:

$$H_z = n_h - 4\sqrt{n_i}, \quad (5)$$

где n_h – число элементарных гидрофобных фрагмент; n_i – число полярных функциональных групп.

Все рассчитанные критерии приведены в таблице 2. Установлено, что с известными литературными данными [1, 2] и полученными изопиестическим методом площадями под изопиестами сорбции воды $\int_0^{a_w} ndlna_w$ удовлетворительно коррелирует только интегральная энергия Гиббса $\Delta_h G$.

Отсутствие корреляции с критериями гидрофильно-липофильного баланса объясняется, в частности образованием циклических форм сахаров.

Максимальное количество гидрофильных групп содержится в молекуле сахарозы, однако ее существование в циклической форме приводит к тому, что свободными являются только 4 полярные группы, что объясняет, почему это не самое гидрофильное вещество из изученных.

Наибольшей гидрофильностью характеризуется сорбит (шестиатомный спирт), так как его молекула линейна, то все полярные группы доступны для гидратации.

Также отсутствует корреляция с растворимостью подсластителей в воде

Таблица 2.

Различные критерии оценки гидрофильности и адсорбция А воды подсластителями (20 °С, относительная равновесная влажности 100 %, время сорбции 25 дней

Table 2.

Various hydrophilicity evaluation criteria and adsorption A of water by sweeteners (20 °C, relative equilibrium humidity 100%, sorption time 25 days

	$\int_0^{a_w} ndlna_w$	A [1, 2]	$-\Delta_h G$, Дж/моль	Метод Гриффина Griffin method	Метод Дэвиса Davis method	Упрощенный критерий гидрофобности Simplified hydrophobicity criterion	Растворимость, г/100 г., 25 °С [1] Solubility, g/100 g, 25 °С [1]
Сорбит Sorbitol $C_6 H_{14} O_6$	0,3699	25,76	4,076	11,20	15,55	-3,79	235
Сахароза Sucrose $C_{12} H_{22} O_{11}$	0,3161	18,4	3,443	7,95	16,50	-1,26	214
Глюкоза Glucose $C_6 H_{12} O_6$	0,3059	14,5	3,338	9,43	13,65	-3,79	82
Цикломат натрия Sodium cyclomat $C_6 H_{12} NNaO_3 S$	0,1787	–	1,965	8,06	13,55	– 1,00	260
Эритрит Erythritol $C_4 H_{10} O_4$	0,1002	–	1,159	11,14	12,70	-4,00	57

Заключение

Построены изопиесты сорбции паров воды подсластителями, проведен анализ полученных кривых. Изучены различные критерии оценки гидрофобной и полярной составляющих

молекул. Рассчитанная интегральная энергия Гиббса гидратации подсластителей рекомендована в качестве критерия влагоудерживающей способности подсластителей.

Литература

1 Аркадьева А.В., Никулина А.В. Определение гидрофильности подсластителей методом изопиестирования // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. 2020. С. 8-9.
 2 Каклюгина А.С., Чалова И.А., Шмалько Н.А. Особенности разработки технологии диабетических кондитерских изделий // Казан.науч. чтения студентов и аспирантов. 2009. С. 285–286.
 3 Полянский К.К., Рудаков О.Б., Подпорошникова Г.К., Хрипушин В.В. и др. Натуральные и искусственные подсластители: свойства и экспертиза качества. М.: Дели-Принт, 2009, 252 с.

- 4 Баранов Б.А., Бондаренко Д.С. Кинетика сорбции изомальта и выявление его положительных свойств // Современные инновации. 2017. № 1(15). С. 16–19.
- 5 Жаббарова С.К., Исабаев И.Б., Курбанов М.Т., Алексеенко Е.В. и др. Перспективный подсластитель для мучных кондитерских изделий // Кондитерские изделия XXI века. 2019. С. 161-162.
- 6 Шиманова Е.К. Низкокалорийные подсластители в технологии мучных кондитерских изделий // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК. 2020. С. 106-110.
- 7 Лазарев В.А., Ершова А.Р. Свойства подслащающих веществ в технологии изготовления хлебобулочных изделий // Пища. Экология. Качество. 2020. С. 339-343.
- 8 Бадрутдинова М.В., Борисова С.В., Мингалеева З.Ш., Решетник О.А. Изучение возможности замены сахара-песка на высокотехнологичный подсластитель в производстве сдобных булочных изделий // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. №. 3.
- 9 Киор А.Н., Барсукова Н.В. Использование сахарозаменителей в производстве безглютеновых мучных изделий // Пищевые технологии и биотехнологии. 2019. С. 295-300.
- 10 Yang X., Lu Y., Hu G. Optimization of sweetener formulation in sugar-free yoghurt using response surface methodology // *CyTA-Journal of Food*. 2014. V. 12. №. 2. P. 121-126. doi: 10.1080/19476337.2013.804123
- 11 Ribeiro A.P.L., Guimarães J.S., Lago A.M.T., de Angelis Pereira M.C. et al. Oat bran and sweeteners in petit-suisse cheese: Technological and nutritional properties and consumer acceptance // *LWT*. 2021. V. 146. P. 111318. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111318
- 12 Mummaleti G., Sarma C., Kalakandan S.K., Gazula H. et al. Characterization of levan produced from coconut inflorescence sap using *Bacillus subtilis* and its application as a sweetener // *LWT*. 2022. V. 154. P. 112697. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112697
- 13 Bielska P., Cais-Sokolińska D., Teichert J., Biegalski J. et al. Effect of honeydew honey addition on the water activity and water holding capacity of kefir in the context of its sensory acceptability // *Scientific Reports*. 2021. V. 11. №. 1. P. 1-9. doi: 10.1038/s41598-021-02424-7
- 14 Xu D., Wang Y., Jiao N., Qiu K. et al. The coordination of dietary valine and isoleucine on water holding capacity, pH value and protein solubility of fresh meat in finishing pigs // *Meat science*. 2020. V. 163. P. 108074. doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108074
- 15 Yao S., Xie S., Jiang L., Li L. Effect of dandelion extract, sucrose and starter culture on the viscosity, water-holding capacity and pH of plain yogurt // *Mljekarstvo/Dairy*. 2017. V. 67. №. 4. doi: 10.15567/mljekarstvo.2017.0408
- 16 Segura-Campos M., Barbosa-Martín E., Matus-Basto Á., Cabrera-Amaro D. et al. Comparison of chemical and functional properties of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) varieties cultivated in Mexican Southeast // *American Journal of Plant Sciences*. 2014. V. 2014. doi: 10.4236/ajps.2014.53039
- 17 Lemus-Mondaca R., Vega-Gálvez A., Zura-Bravo L., Ah-Hen K. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects // *Food chemistry*. 2012. V. 132. №. 3. P. 1121-1132. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.11.140
- 18 Chattopadhyay S., Raychaudhuri U., Chakraborty R. Artificial sweeteners—a review // *Journal of food science and technology*. 2014. V. 51. №. 4. P. 611-621. doi: 10.1007/s13197-011-0571-1
- 19 Mihooliya K.N., Nandal J., Verma H., Sahoo D.K. Erythritol: A Sugar Substitute // *High Value Fermentation Products: Human Health*. 2019. V. 1. P. 265-284. doi: 10.1002/9781119460053
- 20 Piekara A., Krzywonos M., Szymańska A. Sweetening agents and sweeteners in dietary supplements for children-analysis of the polish market // *Nutrients*. 2020. V. 12. №. 8. P. 2387. doi: 10.3390/nu12082387

References

- 1 Arkadyeva A.V., Nikulina A.V. Determination of the hydrophilicity of sweeteners by the isopiestic method. *Donetsk Readings 2020: education, science, innovations, culture and modern challenges*. 2020. pp. 8-9. (in Russian).
- 2 Kaklyugina A.S., Chalova I.A., Shmalko N.A. Features of the development of technology for diabetic confectionery. *Kazan.nauch. readings of students and graduate students*. 2009. pp. 285–286. (in Russian).
- 3 Polyansky K.K., Rudakov O.B., Podporinova G.K., Khripushin V.V. et al. Natural and artificial sweeteners: properties and quality expertise. Moscow, Deli-Print, 2009. 252 p. (in Russian).
- 4 Baranov B.A., Bondarenko D.S. Kinetics of isomalt sorption and identification of its positive properties. *Modern innovations*. 2017. no. 1(15). pp. 16–19. (in Russian).
- 5 Zhabbarova S.K., Isabaev I.B., Kurbanov M.T., Alekseenko E.V. Prospective sweetener for flour confectionery. *Confectionery of the XXI century*. 2019. pp. 161-162. (in Russian).
- 6 Shimanova E.K. Low-calorie sweeteners in the technology of flour confectionery. Actual problems of youth science in the development of the agro-industrial complex. 2020. pp. 106-110. (in Russian).
- 7 Lazarev V.A., Ershova A.R. Properties of sweeteners in the technology of manufacturing bakery products. *Food. Ecology. Quality*. 2020. pp. 339-343. (in Russian).
- 8 Badrutdinova M.V., Borisova S.V., Mingaleeva Z.Sh., Reshetnik O.A. Studying the possibility of replacing granulated sugar with a high-tech sweetener in the production of rich bakery products. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2013. vol. 16. no. 3. (in Russian).
- 9 Kiор A.N., Barsukova N.V. The use of sweeteners in the production of gluten-free flour products. *Food technologies and biotechnologies*. 2019. pp. 295-300. (in Russian).
- 10 Yang X., Lu Y., Hu G. Optimization of sweetener formulation in sugar-free yoghurt using response surface methodology. *CyTA-Journal of Food*. 2014. vol. 12. no. 2. pp. 121-126. doi: 10.1080/19476337.2013.804123
- 11 Ribeiro A.P.L., Guimarães J.S., Lago A.M.T., de Angelis Pereira M.C. et al. Oat bran and sweeteners in petit-suisse cheese: Technological and nutritional properties and consumer acceptance. *LWT*. 2021. vol. 146. pp. 111318. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111318

12 Mummaleti G., Sarma C., Kalakandan S.K., Gazula H. et al. Characterization of levan produced from coconut inflorescence sap using *Bacillus subtilis* and its application as a sweetener. *LWT*. 2022. vol. 154. pp. 112697. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112697

13 Bielska P., Cais-Sokolińska D., Teichert J., Biegalski J. et al. Effect of honeydew honey addition on the water activity and water holding capacity of kefir in the context of its sensory acceptability. *Scientific Reports*. 2021. vol. 11. no. 1. pp. 1-9. doi: 10.1038/s41598-021-02424-7

14 Xu D., Wang Y., Jiao N., Qiu K. et al. The coordination of dietary valine and isoleucine on water holding capacity, pH value and protein solubility of fresh meat in finishing pigs. *Meat science*. 2020. vol 163. pp. 108074. doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108074

15 Yao S., Xie S., Jiang L., Li L. Effect of dandelion extract, sucrose and starter culture on the viscosity, water-holding capacity and pH of plain yogurt. *Mljekarstvo/Dairy*. 2017. vol. 67. no. 4. doi: 10.15567/mljekarstvo.2017.0408

16 Segura-Campos M., Barbosa-Martín E., Matus-Basto Á., Cabrera-Amaro D. et al. Comparison of chemical and functional properties of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) varieties cultivated in Mexican Southeast. *American Journal of Plant Sciences*. 2014. vol. 2014. doi: 10.4236/ajps.2014.53039

17 Lemus-Mondaca R., Vega-Gálvez A., Zura-Bravo L., Ah-Hen K. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food chemistry*. 2012. vol. 132. no. 3. pp. 1121-1132. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.11.140

18 Chattopadhyay S., Raychaudhuri U., Chakraborty R. Artificial sweeteners—a review. *Journal of food science and technology*. 2014. vol. 51. no. 4. pp. 611-621. doi: 10.1007/s13197-011-0571-1

19 Mihooliya K.N., Nandal J., Verma H., Sahoo D.K. Erythritol: A Sugar Substitute. *High Value Fermentation Products: Human Health*. 2019. vol. 1. pp. 265-284. doi: 10.1002/9781119460053

20 Piekara A., Krzywonos M., Szymańska A. Sweetening agents and sweeteners in dietary supplements for children-analysis of the polish market. *Nutrients*. 2020. vol. 12. no. 8. pp. 2387. doi: 10.3390/nu12082387

Сведения об авторах

Алла В. Никулина к.х.н., кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nik_a_68@mail.ru

Анна В. Аркадьева студент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lopata.98@yandex.ru

Лариса П. Бондарева к.х.н., доцент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, larbon@mail.ru

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

Alla V. Nikulina Cand. Sci. (Chem.), physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nik_a_68@mail.ru

Anna V. Arkadieva student, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lopata.98@yandex.ru

Larisa P. Bondareva Cand. Sci. (Chem.), associate professor, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, larbon@mail.ru

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 11/10/2021	После редакции 04/11/2021	Принята в печать 22/11/2021
Received 11/10/2021	Accepted in revised 04/11/2021	Accepted 22/11/2021