



Применение системы искусственного обоняния для мониторинга состояния хлебобулочных изделий

Татьяна А. Кучменко¹ Tak1907@mail.ru  0000-0001-7812-9195Юлия Н. Босикова¹ bosikovayuliya@mail.ru¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Рассматриваются примеры применения интегральной аналитической системы «электронный нос» для установления ранних признаков порчи хлебобулочных изделий. Развитие физико-химических методов анализа идет по пути дифференцирования состава проб и принятия решения по содержанию набора компонентов, определяющих безопасность и качество продукта. Однако дифференциация и дескрипторная оценка интегральных органолептических свойств, особенно запаха и вкуса, не отражает истинного состояния продукта. Развитие инновационных методов основано на приближении инструментального анализа запаха и вкуса к восприятию их человеком. Представлены результаты оценки качества и изменения состояния белого и черного хлеба в процессе хранения по сигналам массива химических сенсоров на основе высокочувствительных пьезовесов. Пьезокварцевые микровесы модифицированы наноструктурированными фазами различной природы и массы. Модификаторы подобраны с учетом их избирательности и чувствительности к легко летучим биомолекулам, содержание которых может изменяться при созревании или порче хлеба, либо в процессе хранения. В качестве таких фаз применены биогидроксиапатит, многослойные углеродные нанотрубки, окисленные азотной кислотой, нитрат оксида циркония. Показано, что по сигналам «электронного носа» «МАГ-8» на основе восьми пьезосенсоров с наноструктурированными фазами возможно раннее фиксирование изменений состояния хлеба по качественному и количественному составу смеси легколетучих биомолекул, на которые настроен массив. Для проб батона из пшеничной муки и черного хлеба определен состав веществ-маркеров, отражающих природу изделий и их изменение в процессе хранения и порчи. Отмечено изменение содержания воды, уксусной кислоты, кетонов, спиртов, ацетатов и аминов. Предложены расчетные параметры «электронного носа», связанные с содержанием этих соединений и позволяющие их распознать в смеси в присутствии других соединений.

Ключевые слова: анализ, запах, хлебобулочные изделия, сенсоры, электронный нос, хранение

Application of artificial smell systems for bakery products state monitoring

Tatyana A. Kuchmenko¹ Tak1907@mail.ru  0000-0001-7812-9195Julia N. Bosikova¹ bosikovayuliya@mail.ru¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Examples of the integrated analytical system "electronic nose" use to discover early signs of bakery products deterioration are studied in the article. The development of physical and chemical analysis methods goes along the path of samples composition differentiating and making decisions on the components set content that determine the product safety and quality. However, the differentiation and descriptor assessment of the integral organoleptic properties, especially of smell and taste, does not reflect the product true state. The development of innovative methods is based on the approximation of instrumental analysis of smell and taste to human perception. The results of quality assessment and changes in the state of white and black bread during storage by the signals of an array of chemical sensors based on highly sensitive piezoelectric scales are presented. Piezoelectric quartz microscales are modified with nanostructured phases of various nature and mass. Modifiers were selected taking into account their selectivity and sensitivity to easily volatile biomolecules, the content of which can be changed with the maturation or spoilage of bread, or during storage. As such phases, biohydroxyapatite, multilayer carbon nanotubes oxidized with nitric acid, zirconium nitrate are used. It was shown that the MAG-8 electronic nose signals based on eight piezosensors with nanostructured phases it is possible to detect changes in the state of bread by the qualitative and quantitative composition of the mixture of volatile biomolecules that the array is tuned to. For samples of a loaf of wheat flour and black bread, the composition of marker substances was determined, reflecting the nature of the products and their change during storage and spoilage. Changes in the content of water, acetic acid, ketones, alcohols, acetates and amines were noted in the article. The calculated parameters of the "electronic nose" associated with the content of these compounds and allowing them to be recognized in a mixture in the presence of other compounds were offered in the work.

Keywords: analysis, smell, bakery products, sensors, electronic nose, storage

Введение

Уже более 50 лет развиваются и занимают свою нишу в аналитическом приборостроении особые системы и устройства – «электронные носы». Однако в отличие от подавляющего

большинства аналитических методов и приборов им соответствующих до сих пор в официальных реестрах приборов их нет. Несмотря на это системы, имитирующие орган обоняния человека, продолжают вызывать интерес. Это связано

Для цитирования

Кучменко Т.А., Босикова Ю.Н. Применение системы искусственного обоняния для мониторинга состояния хлебобулочных изделий // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 3. С. 125–131. doi:10.20914/2310-1202-2019-3-125-131

For citation

Kuchmenko T.A., Bosikova Ju.N. Application of artificial smell systems for bakery products state monitoring. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 3. pp. 125–131. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-3-125-131

с желанием человека минимально использовать свои органы чувств, при этом получать максимальную информацию о пробе. Особенно актуально это в пищевой промышленности [1–3].

Тем не менее, до настоящего времени нет глубокого понимания возможностей этих приборов, их достоинств по сравнению с обонянием дегустаторов. В то время, как самой природой внесены существенные ограничения и особенности восприятия и оценки запахов даже самыми опытными и обученными специалистами в этой области. Остановимся только на некоторых из них. Запах для большинства людей является слабодифференцированным интегральным ощущением и определяется суммарным воздействием от раздражения обонятельных рецепторов, рецепторов тройничного нерва и вомероназального органа. При этом площадь обонятельной зоны составляет около 6 см², что не позволяет фиксировать все летучие соединения, попадающие в носовую полость.

Специфическое ощущение присутствия в воздухе одорантов, обнаруживаемых рецепторами обоняния, вызывает положительных и отрицательных эмоции. Следствием этого является выделение оттенков запаха. Попытки объяснения восприятия и различения запахов привели к возникновению более 30 различных теорий с древности и до нашего времени. Наиболее известными из них являются: атомарная (корпускулярная) теория (Тит Лукреций Кар); эмпирические классификации (Г. Цваардемакер); волновая теория; теория структурного подобия (Дж. Эмур); спектроскопическая теория; теория генетического механизма кодирования белков-одорирецепторов. В совокупности эти теории объясняют, что восприятие и различение запаха зависят от качества носового дыхания, гормонального фона, специфической аносмии, возрастных особенностей, проводимости нервных пучков, уровня возбуждения нервной системы, индивидуального опыта. Немаловажным фактором является деграция обонятельного эпителия. Так, у новорожденных младенцев обоняние развито сильно, но уже за 1-й год жизни теряется на 40–50%. С возрастом уменьшается чувствительность и различение запахов, причем у мужчин больше, чем у женщин [4]. С возрастом происходит атрофия обонятельных волокон и их количество в обонятельном нерве неуклонно уменьшается (рисунок 1).

В определённых условиях наблюдается извращённое восприятие запахов, когда привычные вещества вдруг становятся резко неприятными. Психофизиологическое состояние

человека определяет пристрастия и восприятие. Изучение психики человека все больше приводит к пониманию того, что нет «инстинктивного выбора». Не инстинкты руководят нами, а сложный индивидуальный мозг, который мы в течение жизни формируем и который контролирует процессы внутри. Поэтому практически невозможно человеку абстрагироваться от обонятельных предпочтений, которые формируются с раннего детства и получают сильнейшую эмоциональную окраску.

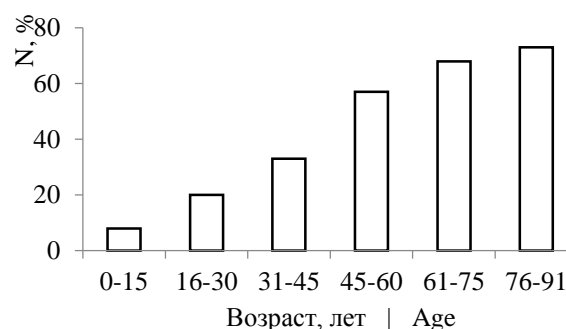


Рисунок 1. Возрастная динамика атрофии волокон обонятельного нерва у человека

Figure 1. Age dynamics of atrophy of fibers of an olfactory nerve at the person

Противоречия в анализе различных систем все больше провоцируют исследователей на создание альтернативных человеческим искусственных обонятельных систем, способных не только анализировать запахи, но и в прямом смысле слова измерять (оцифровывать), запоминать и накапливать сведения об их следах (образах).

Если абстрагироваться от физиологии и принять ее как она есть, то внутри современного уровня развития технологий, прежде всего пищевых, также зреет серьезный конфликт.

Инновационные подходы в разработке новых видов продуктов, рецептов, технологий неуклонно развиваются и совершенствуются, а параметры для оценки качества продуктов практически не меняются либо меняются в области оценки по единичным показателям (например, содержание соли, влаги, жира, белка, этанола). В то же время традиционные показатели качества все чаще не отражают истинного состояния продукта, по которому легко поддерживаются контролируемые единичные показатели в границах требуемых нормативными документами уровнях, а по сути, продукт является фальсификатом или несоответствующим данному виду пищевого продукта, уровню качества. Уязвимость и существенное продвижение в решении такого несоответствия – возможность объективной оценки интегральных показателей качества,

приоритетным из которых является запах. В нормативных документах на все виды продукции, как пищевые, так и непищевые, это первое из оцениваемых показателей качества имеет описательную (качественный анализ) формулировку общего толка: «соответствующий данному виду продукта». Специалисты могут противопоставить этому утверждению наличие современных легколетучих соединений – высокоэффективную газовую хроматографию с самыми селективными и чувствительными детекторами. Но и здесь есть одна особенность. Именно эффективное разделение и максимально полное детектирование компонентов, составляющих летучую фракцию пробы, не приближает, а удаляет исследователя от характеристики свойства «запах». Потому что человеческий орган обоняния воспринимает запах именно интегрально, суммарно, а не дифференцированно, как большинство существующих аналитических систем (например, хромато-масс-спектрометрия). Эти методы нужны и важны для понимания структуры и состава, развития и создания новых пищевых систем, добавок, продуктов, но не имитации человеческого органа обоняния. Это является основной причиной незаменимости дегустаторов и одорометров на всех пищевых и многих непищевых производствах.

Противоречия приводят к появлению путей их разрешения или частичного устранения. Еще одно решение по совмещению прибора и человеческого обоняния нашло широкое распространение при анализе запахов пищевых продуктов, во Франции, Италии, Перу, Германии. Это применение эффективных газовых хроматографов с ольфактометрическим детектором (Gas Chromatography Analysis with Olfactometric Detection (GC-O)). Последовательно подвижная фаза проходит через детектор и ольфактометрическую приставку для установления связи между ключевыми соединениями и сенсорно-потребительского восприятия. По результатам GC-O ароматов получают информацию о пиках на хроматограмме, которые связаны с определенными одорометрическими ощущениями [5].

Наиболее близким решением в рассматриваемой области являются имитационные инструментальные методы и средства по разработке искусственного обоняния и систем «электронные носы». На рынке устройств насчитывается не менее 10 различных приборов на основе массива / набора относительно неселективных механических сенсоров с обратимой реакцией

на легколетучие компоненты самых разнообразных проб: от воды, воздуха, почвы до пищевых матриц и непищевых материалов, биопроб и проб техпроцессов. «Электронные носы» – измерительные устройства нового поколения на основе газо-чувствительных сенсоров, в которых принципиально изменена интерпретация аналитической информации. Отсутствует классический подход по качественному и количественному анализу смесей. Как и человеком, регистрируется интегральная (комплексная) характеристика запаха. Сравнение этих приборов и наиболее близких к ним по объектам анализа – газовой хроматографии проведено в обзоре [6].

Продемонстрируем особенности применения «электронного носа» российского производства («МАГ-8») для решения сравнительно простой задачи – наблюдение и регистрация изменений запаха хлебобулочных изделий двух видов при хранении в течение 5 сут. Серьезных изменений качественного продукта за это время не должно произойти. Задача сводится именно к возможности детектирования плавных, некритических изменений и получение максимально возможной аналитической информации за 60 с измерения без пробоподготовки. Методология измерения практически идентична тест-системам, но метрологические характеристики соответствуют и не уступают точным физико-химическим методам.

Материалы и методы

Хлебобулочные изделия всегда присутствуют в рационе человека и употребление некачественного хлеба может причинить вред здоровью. При хранении хлеб может поражаться различными болезнями. Болезни хлеба возникают или из-за использования муки с повышенной микробиологической загрязненностью, или при хранении хлеба в условиях повышенной влажности и температуры. Существуют различные болезни хлеба, такие как плесневение, картофельная болезнь и пигментные пятна. Поэтому обнаружение порчи хлеба на ранней стадии является актуальной проблемой.

Анализатор газов «МАГ-8» со съемным массивом сенсоров укомплектован набором 8 сенсоров с наноструктурированными покрытиями на основе окисленных многослойных углеродных нанотрубок, МУНТ (Черноголовка, Институт особо чистых материалов), нитрат оксида циркония, ЦР, свежесинтезированный биогидроксиапатит (ГА) различных масс: сенсор 1 (S1) – МУНТ (масса 5,03 мкг), сенсор 2 (S2) – ЦР(4,03 мкг), сенсор 3 (S3) – ГА (4,03 мкг), сенсор 4 (S4) – ГА (2,15 мкг), сенсор 5 (S5) – ЦР(2,12 мкг), сенсор 6 (S6) – МУНТ (1,96 мкг).

Поставлена задача мониторинга изменений образцов мякиша хлебобулочных изделий при хранении в закрытых пробоотборниках по составу равновесной газовой фазы для установления возможных поражений.

В качестве объектов исследования выбраны образцы белого (Городская булка) и черного (Дарницкий) хлеба. Исследование проводили в течение 5 дней с шагом 1 сут.

Результаты и обсуждение

Статистически обработанные отклики массива твердотельных нанодисперсных сенсоров в равновесной газовой фазе (РГФ) над пробами белого хлеба представлены в таблице 1, многомерные отклики «электронного носа» – на рисунке 2.

Таблица 1.

Отклики сенсоров (ΔF , Гц) над пробами белого хлеба, n = 3, P = 0,95

Table 1.

Responses of sensors (ΔF , Hz) over tests of white loaf, n = 3, P = 0,95

Сутки Days		S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	X±ΔX	3 ± 1	5 ± 1	5 ± 1	5 ± 1	4 ± 1	7 ± 1
	δ	0,39	0,30	0,30	0,23	0,39	0,21
2	X±ΔX	3 ± 1	6 ± 1	5 ± 1	3 ± 1	2 ± 1	5 ± 1
	δ	0,54	0,16	0,27	0,42	0,54	0,27
3	X±ΔX	2 ± 1	4 ± 1	3 ± 1	3 ± 1	4 ± 1	3 ± 1
	δ	0,86	0,28	0,53	0,53	0,34	0,47
4	X±ΔX	3 ± 1	4 ± 1	3 ± 1	3 ± 1	4 ± 1	3 ± 1
	δ	0,61	0,39	0,54	0,54	0,39	0,54
5	X±ΔX	2 ± 1	2 ± 1	3 ± 1	3 ± 1	2 ± 1	3 ± 1
	δ	0,61	0,61	0,54	0,54	0,86	0,54

Геометрическая форма и ее постоянство для «визуальных отпечатков» максимумов отражают постоянство химического состава РГФ над пробами и соответственно самих проб [7].

Изменение формы фигуры «визуального отпечатка» вызывается изменением качественного и количественного состава запаха. Так, за 2 дня хранения проба белого хлеба не изменяет состав либо изменения находятся за пределами чувствительности пьезовесов и не регистрируются надежно.

Со 2-го на 3-й день фиксируется резкое уменьшение содержания соединений, что отражается на величине интегрального количественного параметра массива сенсоров – площади фигуры «визуального отпечатка», $S_{в.о.}$, Гцс. Изменение формы «визуального отпечатка» может объясняться как естественным старением запаха или появлением новых соединений, изменяющих характер взаимодействия смесей с массивом. На 4-й день увеличивается содержание новых веществ в РГФ, что подтверждается увеличением $S_{в.о.}$ (рисунок 2) при сохранении формы «визуального отпечатка».

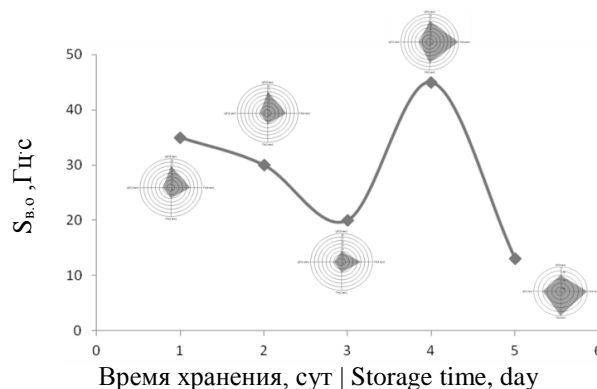


Рисунок 2. Изменение площади «визуального отпечатка» максимальных сигналов сенсоров в РГФ над пробами белого хлеба

Figure 2. Change of the area of "a visual print" of the maximum signals of sensors in RGF over tests of white loaf

На 5-е сут хранения регистрируется минимальное содержание компонентов в РГФ и новые изменения формы. Параллельно проводили органолептическую оценку запаха проб (таблица 2).

Таблица 2.

Органолептическая оценка проб белого хлеба при хранении

Table 2.

Organoleptic assessment of tests white loaf at storage

Сутки Days	Внешний вид Appearance	Запах Smell
1	Белый, пористый, характерный для свежего хлеба White, porous, characteristic of fresh bread	Характерен выбранному виду пробы Characteristic of the selected sample type
2		Практически не отличается от запаха свежего Virtually no different from the smell of fresh
3	Черные точки, незначительные изменения Black dots, minor changes	Практически не отличается от запаха свежего Virtually no different from the smell of fresh
4	Появление микробиологической порчи The appearance of microbiological damage	Слабый неприятный запах Faint odor
5		

Для распознавания присутствия в РГФ хлеба отдельных классов соединений применены параметры идентификации A_{ij} , рассчитанные по сигналам сенсоров в анализируемых образцах и для тест-веществ. При этом выбраны параметры A_{ij} , изменяющиеся при хранении. По всем значениям установлено значительное изменение качественного состава на 4–5-й день хранения (таблица 3). Наиболее информативный параметр

для идентификации веществ в РФФ – A(S2/S3), дополнительный – A (S3/S4). В результате надежно детектируется по совокупности параметров в 1-й и 2-й дни – вода, уксусная кислота, ацетаты и кетоны. На 5-е сут количество веществ растет, добавляются тяжелые кетоны (алкилкетоны, метилэтилкетон, МЭК), амины.

Накопление на 4-й день этилацетата и кетонов свидетельствует о порче и устойчивых изменениях мякиша. Присутствие уксусной кислоты объясняется тем, что в настоящее время актуальной проблемой является «картофельная болезнь» хлеба. Для борьбы с ней при производстве хлеба в качестве консерванта добавляют уксусную кислоту. Для свежей пробы содержание ее минимально, так как она связана в массе хлеба. При «старении» хлеба уксусная кислота может выделяться из мякиша.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что в пробах белого хлеба с помощью массива наноструктурированных сенсоров фиксируется порча хлеба на ранних сроках хранения (3–4-е сут), когда органолептические изменения еще не явные.

Аналогичные исследования проведены с пробами образца хлеба Дарницкого. Изменения всех регистрируемых и расчетных параметров «электронного носа» идентичны пробам батона. Для прослеживаемости дополнительной информации о составе запаха хлеба и его изменении в процессе хранения усложнили алгоритм обработки данных сенсоров и проанализировали форму более информативных кинетических «визуальных отпечатков» сигналов сенсоров в РФФ над пробами (рисунок 3).

Таблица 3.

Параметр A_{ij} для белого хлеба и идентифицированные вещества

Table 3.

The A_{ij} parameter for white loaf and the identified substances

Сутки Days	A (S2/S3)		A (S3/S4)		Надежно идентифицируемые вещества Reliably identified substances
1	0,95 ± 0,20 0,8–1,2	Вода, уксусная кислота Water, acetic acid	1,1 ± 0,20 0,9–1,3	Вода, бутанол-1, МЭК, этилацетат, уксусная кислота	Вода, уксусная кислота Water, acetic acid
2	1,1 ± 0,20 0,9–1,33		1,0 ± 0,2 0,80–1,20		
3	1,2 ± 0,2 1,0–1,40		0,9 ± 0,2 0,7–1,1		
4	0,80 ± 0,20 0,60–1,0	Этилацетат, уксусная кислота Ethyl acetate, acetic acid, ketones	1,3 ± 0,2 1,1–1,5	Вода, МЭК, этилацетат Water, ИЕС, ethyl acetate	Вода, этилацетат, уксусная кислота, кетоны Water, ethyl acetate, acetic acid, ketones
5	0,76 ± 0,0 0,5–0,86	МЭК, этилацетат, следы уксусной кислоты ИЕС, ethyl acetate, acetic methylamine	0,8 ± 0,2 0,6–1,0	Вода, метиламин, уксусная кислота, этилацетат, МЭК Water, methylamine, acetic acid, ethyl acetate, МЕК	МЭК, этилацетат, уксусная кислота, метиламин ИЕС, ethyl acetate, acetic methylamine

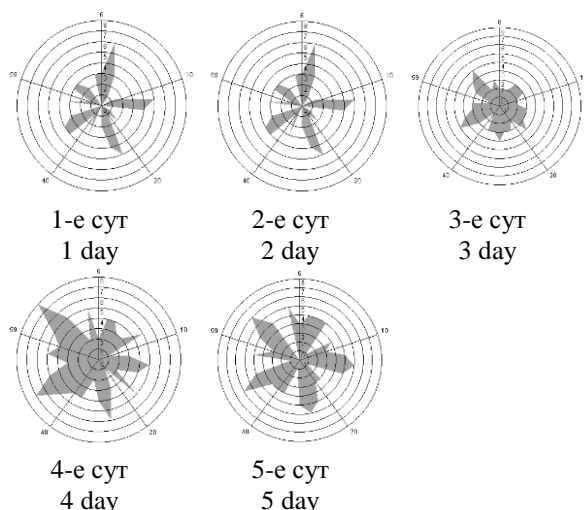


Рисунок 3. Кинетические «визуальные отпечатки» сигналов сенсоров в РГФ над пробами хлеба. По радиальной оси – сигналы сенсоров, ΔF_i , Гц, по круговой – время измерения, с

Figure 3. Kinetic "visual prints" of signals of sensors in EGP over tests of bread. On a radial axis – signals of sensors, ΔF_i , Hz, on circular – time of measurement, s

Установлено, что качественный химический состав хлеба стабилен в течение первых двух суток хранения, при этом наблюдается незначительная (до 25%) потеря содержания легколетучих соединений вследствие усыхания. Уже на 3-и сут, когда запах по органолептической оценке еще стабилен, фиксируется резкое изменение формы интегрального сигнала массива сенсоров, что отражает изменение качественного состава легко летучей фракции запаха. С увеличением продолжительности хранения как качественный, так и количественный химический состав изменяется значительно.

Для распознавания в хлебе отдельных классов соединений применены параметры идентификации A_{ij} . По всем показателям надежно детектируется накопление в пробах

спиртов – этанола и пропанола-2. Накопление спиртов на 4й день свидетельствует об устойчивой порче проб черного хлеба.

Изменения в черном хлебе в отличие от белого начинаются уже на 2-е сут мониторинга, значимые изменения детектируются на 4-е сут. На 5-е сут изменения глубокие, найдены маркеры деструкции белков (амины).

Заключение

Предлагаемый способ мониторинга над состоянием хлебобулочных изделий в процессе хранения с применением систем искусственного обоняния на высокочувствительных нановесах (пьезосенсоры) позволяет эффективнее других методов анализа, особенно органолептического, оценивать количественно изменения интенсивности запаха (аромата), идентифицировать отдельные биомолекулы продукта, как нативные, так и отражающие устойчивые изменения в пробе при хранении. Чувствительность и особенности хроматографов не позволяют за короткое время (не более 2 мин) без пробоподготовки (достаточно насыщение газовой фазы) получить информацию, идентичную информации «электронного носа». А замена сенсоров в массиве анализатора газов «МАГ-8» существенно расширяет возможности анализа. Разработанный подход установления изменений по форме кинетического «визуального отпечатка» сигналов сенсоров наиболее предпочтителен для незначительных изменений проб, в то время как идентификационные параметры A_{ij} и площадь фигуры ($S_{в.о.}$) отражают стабильные качественные и количественные изменения.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта «У.М.Н.И.К-2017, г/к № 13142ГУ/2018».

Литература


- 1 Yu H., Dai X., Yao G. et al. Application of Gas Chromatography-Based Electronic Nose for Classification of Chinese Rice Wine by Wine AgeFood // Anal. Methods. 2014. V. 7. № 7. P. 1489–1497. doi: 10.1007/s12161-013-9778-2/
- 2 Gromski P.S., Correa E., Vaughan A.A. et al. A comparison of different chemometrics approaches for the robust classification of electronic nose data // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2014. V. 406. № 29. P. 7581–7590. doi: 10.1007/s00216-014-8216-7
- 3 Dong H., Han H.J., Kim K.H., Han K.-Y. et al. Effect of Various Light Emitting Diode Irradiation on Volatile Profiles of Perilla Oil Using Mass Spectrometry-Based Electronic Nose // Food Sci. Biotechnol. 2015. V. 24 (2). P. 481–487. doi: 10.1007/s10068-015-0063-6
- 4 Вернуть себе полноту чувств. URL: <http://www.psychologies.ru/articles/vernut-sebe-polnotu-chuvstv/>
- 5 Leland J.V., Scheiberle P., Buettner A, Acre.e T.E. Gas Chromatography-Olfactometry: The State of the Art (ACS Symposium Series) // Sensors. 2013. V. 13 (12). P. 16759–16800.
- 6 Kuchmenko T.A. Electronic nose based on nanoweights, expectation and reality // Pure and Applied Chemistry The Scientific Journal of IUPAC. 2017. doi: 10.1515/pac-2016-1108
- 7 Кучменко Т.А., Шуба А.А., Тюркин И.А., Битюкова В.В. Оценка состояния биологических проб по составу равновесной газовой фазы с применением мультисенсорной системы // Журнал аналитической химии. 2014. Т. 69. № 5. С. 534. doi: 10.7868/S0044450214050077

References

- 1 Yu H., Dai X., Yao G. et al. Application of Gas Chromatography-Based Electronic Nose for Classification of Chinese Rice Wine by Wine AgeFood. Anal. Methods. 2014. vol. 7. no. 7. pp. 1489–1497. doi: 10.1007/s12161-013-9778-2/
- 2 Gromski P.S., Correa E., Vaughan A.A. et al. A comparison of different chemometrics approaches for the robust classification of electronic nose data. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2014. vol. 406. no. 29. pp. 7581–7590. doi: 10.1007/s00216-014-8216-7
- 3 Dong H., Han H.J., Kim K.H., Han K.-Y. et al. Effect of Various Light Emitting Diode Irradiation on Volatile Profiles of Perilla Oil Using Mass Spectrometry-Based Electronic Nose. Food Sci. Biotechnol. 2015. vol. 24 (2). pp. 481–487. doi: 10.1007/s10068-015-0063-6
- 4 To return itself completeness of feelings. Available at: <http://www.psychologies.ru/articles/vernut-sebe-polnotu-chuvstv/> (in Russian).
- 5 Leland J.V., Scheiberle P., Buettner A, Acre.e T.E. Gas Chromatography-Olfactometry: The State of the Art (ACS Symposium Series). Sensors. 2013. vol. 13 (12). pp. 16759–16800.
- 6 Kuchmenko T.A. Electronic nose based on nanoweights, expectation and reality. Pure and Applied Chemistry The Scientific Journal of IUPAC. 2017. doi: 10.1515/pac-2016-1108
- 7 Kuchmenko T.A., Shuba A.A., Tyurkin I.A., Bitukova V.V. Estimation of the State of Biological Samples by the Composition of the Headspace Using a Multisensor System. Journal of Analytical Chemistry. 2014. vol. 69. no. 5. pp. 485–494. doi: 10.7868/S0044450214050077 (in Russian).

Сведения об авторах

Татьяна А. Кучменко д.х.н., профессор, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, Tak1907@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Юлия Н. Босикова студент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, bosikovayuliya@mail.ru

Вклад авторов

Татьяна А. Кучменко консультация в ходе исследования


Юлия Н. Босикова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Tatyana A. Kuchmenko Dr. Sci. (Chem.), professor, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, Tak1907@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Julia N. Bosikova student, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, bosikovayuliya@mail.ru

Contribution

Tatyana A. Kuchmenko consultation during the study

Julia N. Bosikova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/07/2019	После редакции 03/08/2019	Принята в печать 31/08/2019
Received 15/07/2019	Accepted in revised 03/08/2019	Accepted 31/08/2019