

Новый способ определения андростенона

Татьяна А. Кучменко¹ tak1907@mail.ru
Дарья А. Порядина² sibilda1@yandex.ru
Дарья А. Кучменко³ darinotchka_08@mail.ru

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

² Военная академия Ракетных Войск Стратегического назначения имени Петра Великого, ул. Бригадная, 17, г. Серпухов, 142210, Россия

³ ВДКБ ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, пер. Здоровья, 16, Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. С помощью «электронного носа» решена задача обнаружения в шпике андростенона, даже малые концентрации которого самым негативным образом сказываются на потребительской привлекательности продукта. Для детектирования андростенона применен массив из восьми разно селективных газовых сенсоров. Массив предварительно обучен по легко летучим соединениям различных классов (спирты, кетоны, вода, азотсодержащие соединения). Установлены значимые различия в аналитических сигналах массива сенсоров при содержании андростенона в модельной пробе шпика на уровне 0,5 предельно допустимой концентрации. Кроме андростенона в сыром шпике надежно фиксируются и ранние признаки порчи, а также завышенное содержание влаги. Изменения в пробе шпика при нарушении условий хранения также достоверно регистрируются набором сенсоров, хотя при этом изменений в цвете и запахе шпика дегустаторами не зафиксировано. Установления тонких различий в запахе проб шпика рассчитаны параметры $A(i/j)$, которые являются качественными критериями пьезокварцевого микровзвешивания. Параметры позволяют идентифицировать в смеси вещества и проследить значимые изменения в составе равновесной газовой фазы над пробами. Информативными являются отклики сенсоров с модификаторами, чувствительными к биомаркерам порчи: спирты, кислоты, кетоны, азот- и серосодержащие соединения, в то время как присутствие и содержание андростенона фиксируют сенсоры с модификаторами, чувствительными к ароматическим и циклическим углеводородам. Масса проб, необходимых для анализа с двукратным повторением не превышала 5 г, время измерения – 60 с, объем равновесной газовой фазы 5 см³, погрешность – 10%. Анализатор газов надежен и прост в эксплуатации.

Ключевые слова: пьезосенсоры, электронный нос, анализ, применение, качество, шпик, запах, андростенон

New way of definition of an androstenon

Tatyana A. Kuchmenko¹ tak1907@mail.ru
Darya A. Poryadina² sibilda1@yandex.ru
Darya A. Kuchmenko³ darinotchka_08@mail.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Military Academy of the strategic missile forces named after Peter the Great, Brigadnaya st., 17, Serpukhov, 142210, Russia

³ Voronezh pediatric clinical hospital VSMU named after N.N. Burdenko, Zdorovya st., 16, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. By means of "an electronic nose" the problem of detection in salted pork fat of an androstenon is solved, even small concentration of which negatively affect consumer appeal of a product. The massif from eight differently selective gas sensors is applied to detecting of an androstenon. The massif is previously trained on easily volatile compounds of various classes (alcohols, ketones, water, nitrogen-containing connections). Significant differences in analytical signals of the massif of sensors at the maintenance of an androstenon in model test of salted pork fat at the level of 0.5 threshold limit values are established. Except an androstenon in crude salted pork fat also early signs of damage and also the overestimated moisture content are reliably fixed. Changes in test of salted pork fat at violation of storage conditions also authentically are registered a set of sensors though at the same time changes in color and a salted pork fat smell by tasters are not recorded. establishments of subtle differences in a smell of tests of salted pork fat are calculated parameters $A(i/j)$ which are qualitative criteria of piezo-quartz microweighing. Parameters allow to identify in mix of substance and to track significant changes in structure of an equilibrium gas phase over tests. Responses of sensors with the modifiers sensitive to damage biomarkers are informative: alcohols, acids, ketones, nitrogen - and sulfur-containing connections while presence and the maintenance of an androstenon fix sensors with the modifiers sensitive to aromatic and cyclic hydrocarbons. A lot of the tests necessary for the analysis with double repetition did not exceed 5 g, measurement time – 60 with, the volume of an equilibrium gas phase of 5 cm³, an error – 10%. The analyzer of gases is reliable and easy-to-work.)

Keywords: piezosensors, electronic nose, analysis, application, quality, salted pork fat, smell, androstenon

Введение

Интерес к сенсорам различного типа действия в последнее время растет. Как относительно простые и недорогие устройства они позволяют идентифицировать и определять вещества в газовой и жидкой фазах, в том числе в автоматическом режиме, дистанционно при

осуществлении различных технологических процессов, находят применение в медицине, в сельском хозяйстве, при мониторинге окружающей среды [1, 2]. В настоящее время в аналитической сенсорике широко применяются резонаторы объемных акустических волн (ОАВ, BAW) – пьезокварцевые микровесы [1, 3].

Для цитирования

Кучменко Т.А., Порядина Д.А., Кучменко Д.А. Новый способ определения андростенона // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 276–281. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-276-281

For citation

Kuchmenko T.A., Poryadina D.A., Kuchmenko D.A. New way of definition of an androstenon. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 276–281. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-276-281

За последние 10–15 лет расширяется применение и возможности не только единичных сенсоров (селективные пьезовесы), но и полисенсорных систем на основе разнохарактерных измерительных элементов. Традиционными для таких устройств объектами анализа являются: пищевые системы (сырье, добавки, готовые продукты), объекты экологического мониторинга, биопробы, особые системы. Их применяют для контроля технологических процессов, изучения биологических и других реакций на молекулярном уровне.

Отличительная черта селективных массчувствительных резонаторов (пьезосенсоров) – наличие сорбционного покрытия, характеризующегося по-разному выраженной избирательностью в отношении сорбции–десорбции компонентов из предъэлектродного пространства.

Если основная экологическая угроза здоровью населения проявляется при вдыхании загрязненного воздуха, то не менее важной задачей является проблема здорового питания. Значительное расширение ассортимента пищевых товаров на потребительском рынке не обходится без появления и распространения явных подделок или продукции заведомо заниженного качества [4, 10]. В связи с этим особую актуальность приобретает идентификация пищевых продуктов, предусматривающая проведение ряда процедур по установлению соответствия конкретной продукции образцу (стандарту) или описанию с целью установления грубой фальсификации (часто – идентификация образца). В контроле пищевых продуктов наиболее доступно определение органолептических показателей, однако степень их достоверности для ассортиментной идентификации зачастую невысока. Одним из наиболее сложно оцениваемых показателей качества пищевых продуктов является запах. Количественная (интенсивность) и качественная (присутствие и содержание основных групп соединений) характеристики запаха устанавливаются, наряду с дегустационной оценкой, физико-химическими, а в последнее время все чаще – сенсорными методами анализа.

Аналитические возможности современных газовых и жидкостных хроматографов и масс-спектрометров позволяют получить разнообразную информацию о качественном и количественном составе запахов изделий и композиционных смесей паров в объектах окружающей среды [5, 6]. Однако такая информация является дорогостоящей, требует больших затрат времени и за редкими исключениями неприменима для

мобильного получения информации во внелабораторных («полевых») условиях. По этой причине приоритетны разработки более простых, экономичных и быстрых анализаторов – мультисенсорных систем для экспрессной оценки качества запахов в практических условиях [7].

Запах, как один из основных показателей качества пищевых продуктов, образуется из комплексного смешения множества летучих веществ. При этом каждое из них или группа близких по химической природе соединений могут не фиксироваться обонятельным центром человека или не иметь запаха, типичного для исследуемого продукта (табл. 1). При этом трудно оценить органолептическое влияние различных компонентов на качество того или иного продукта.

Высокая чувствительность по массе (до 10^{-15} г), а также быстрое время отклика пьезоэлектрического резонатора позволяют активно применять метод пьезокварцевого микровзвешивания в самых разных областях [1]. Отдельные сенсоры и их массивы (мультисенсорные или полисенсорные) после предварительного обучения по набору тест-соединений, газов-маркеров состояния широко применяют для классификации запахов, в анализе пищевых продуктов. Анализ публикаций показывает, что выбор газов-маркеров состояния различных систем подчиняется принципу: нормальное (нативное состояние систем) → возможные деструктивные процессы (порча, деятельность микроорганизмов) → продукты этих процессов (газы-маркеры состояния).

Известно, что наибольшей органолептической проблемой мяса и свиного жира является запах и вкус хряка. Он определяется как «неприятный запах и посторонний привкус в мясе некастрированных половозрелых самцов свиней», ярко проявляющийся в процессе термической обработки. Основными соединениями, формирующими запах хряка, являются андростенон и скатол (рисунки 1).

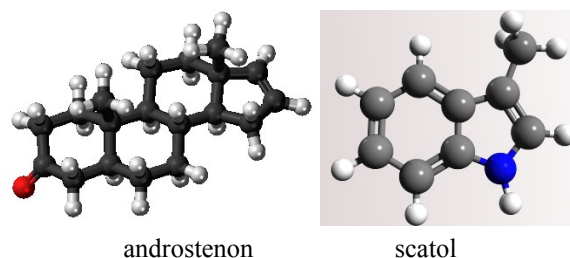


Рисунок 1. 3D–модели молекул андростенона и скатола

Figure 1. 3D models of androstenon and scatol molecules

Андростенон (5 α -андрост-16-ен-3-он) – стероидный гормон, который вырабатывается половозрелыми животными самцами, метаболит мужского полового гормона тестостерона. Андростенон содержится в моче и слюне кабанов. Скатола образуется у всех свиней при бактериальном разложении триптофана в кишечнике. Но у некоторых хряков скатола не претерпевает метаболических изменений в печени и накапливается в жировой ткани.

Андростенон ассоциируется с запахом мочи, а скатола – с фекальным запахом. Совместное присутствие андростенона и скатола усиливают негативное действие друг друга. В меньшей степени индол и другие стероиды также влияют на проявление специфического негативного запаха.

Запах хряка трудно оценить количественно из-за сильно различающегося восприятия участниками дегустационной комиссии. Пределы обнаружения андростенона и скатола потребителями также различны. Принято считать для неподготовленных потребителей пределом обнаружения андростенона 0,5–1,0 мг/кг жира, для скатола – 0,20–0,25 мг/кг.

Вредные эффекты стероидов устраняют более, чем в 50 странах мира иммунизацией [8]. Количественно андростенон определяют методом высокоэффективной газовой хроматографии, в частности с флуориметрическим детектором.

Однако этот подход является ресурсо- и коммерчески дорогостоящим. В то же время развитие аналитических методов анализа не стоит на месте и предлагает новые способы определения малых концентраций пахучих соединений. К таким инструментам анализа относятся сенсоры.

Цель работы – применение анализатора газов «МАГ-8» с набором разноселективных сенсоров для решения задачи быстрой оценки качества сырья при входном контроле на примере установления наличия в сыром шпике андростенона, который негативно влияет на органолептические свойства продуктов его переработки.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбран образец шпика с хорошими органолептическими характеристиками (проба 1 – стандарт). Образец был измельчен и на его основе приготовлено несколько исследуемых проб: проба 2 – с добавлением воды, проба 3 – с добавлением водного раствора андростенона 0,2 мкг/мг (0,5 ПДК), проба 4 – андростенон внесен в расчете 0,5 мкг/мг (1 ПДК), проба 5 – исходная проба шпика без добавок после 2 сут хранения на воздухе при комнатной температуре.

Для определения андростенона применен анализатор газов «МАГ-8» с методологией «электронный нос» (рисунок 2).

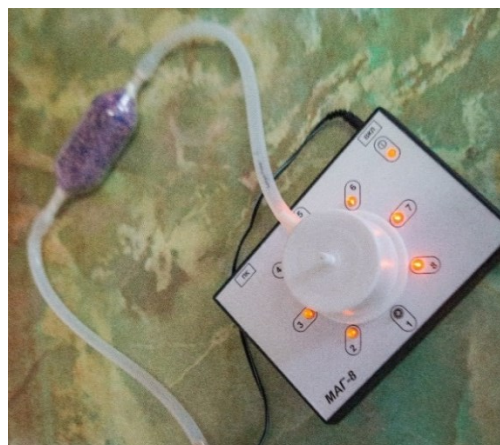


Рисунок 2. Коммерчески доступный «электронный нос» «МАГ-8» с осушителем (производство ООО «Сенсорика-Новые Технологии»)

Figure 2. Commercially available "electronic nose" of "MAG-8" with dehumidifier (production of Ltd company "Sensorika – New Technologies")

Измерительный массив «МАГ-8» формировался из 8 сенсоров с разно-селективными модификаторами к основным биомолекулам (вода, спирты, кетоны, альдегиды, алифатические кислоты, эфиры, амины) и другим соединениям (ароматические, другие ненасыщенные и циклические углеводороды): ПЭГ-2000, 4-ААП с ПС, тритон X-100, ТХ-100, прополис, ПР, полиэтиленгликоль фталат, ПЭГФ, полиэтиленгликоль сукцинат, ПЭГСук, дициклогексан-18-краун-6, ДЦГ18К6, триоктилфосфиноксид, ТОФО.

Результаты и обсуждение

Первичной регистрируемой информацией массива 6 сенсоров является набор хроночастотограмм (рисунок 3).

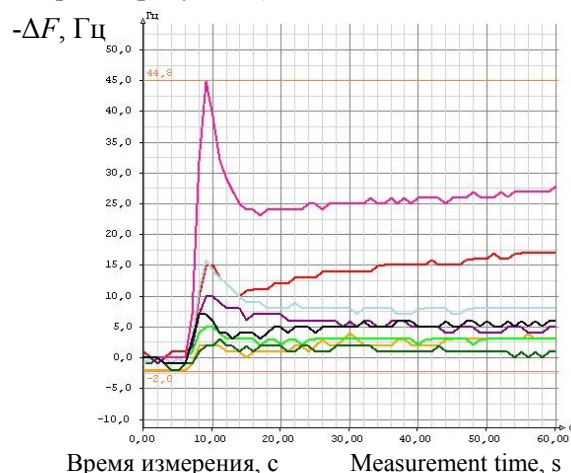


Рисунок 3. Пример хроночастотограмм сенсоров в массиве при нагрузке

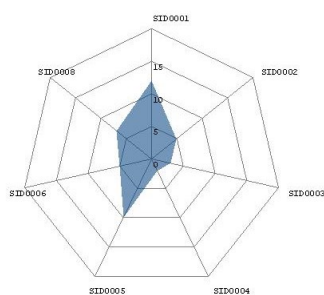
Figure 3. Example hronofrequencygramms sensors in the massif at loading

Хроночастотограммы – это интегральные выходные кривые каждого сенсора, особенность функции которых отражает природу и концентрацию компонентов смеси веществ, входящих в равновесную газовую фазу над анализируемыми пробами.

При регистрации даже наиболее простых интегральных откликов «электронного носа» фиксируются различия в составе равновесной газовой фазы над изученными модельными пробами (рисунок 4).

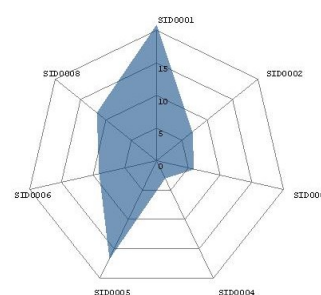
При этом с введением воды существенно изменяется количественный критерий «визуального

следа» максимальных сигналов сенсоров – площадь фигуры S , Гц·с. Это отражает большую чувствительность сенсоров к парам воды. При введении малых (ниже и на уровне предельно допустимых) концентраций андростенона в пробу значительно изменяется и площадь фигуры, и форма «следа», отражающая постоянство состава запаха. Изменения в пробе шпика при нарушении условий хранения также достоверно регистрируются набором сенсоров, хотя при этом изменений в цвете и запахе шпика дегустаторами не зафиксировано.



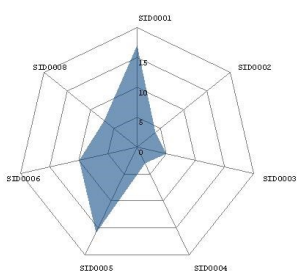
$S = 1659$ Гц·с

← *Проба-Стандарт*
Sample Standard

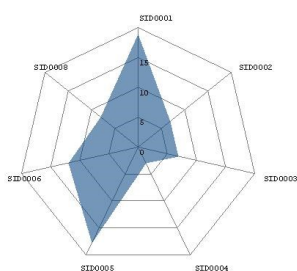


$S = 2572$ Гц·с

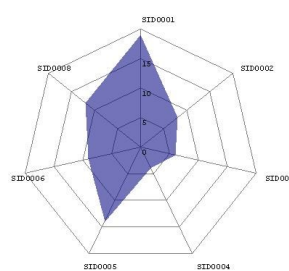
Пробы с измененными свойствами
Samples with modified properties



$S = 2163$ Гц·с



$S = 2678$ Гц·с



$S = 2841$ Гц·с

Рисунок 4. «Визуальные следы» максимумов и площади фигур для разных проб шпика, измеренные на массиве 8 сенсоров «МАГ-8»: в ПО прибора по кругу «визуального следа» фиксируются номера сенсоров, по вертикальной оси – максимальные отклики сенсоров за 60 с от начала измерения, $-\Delta F_{\max}$, Гц·с

Figure 4. "Visual traces" of maxima and the areas of figures for different tests of salted pork fat measured on the massif of eight MAG-8 sensors: in programs the device around of "a visual trace" numbers of sensors, on a vertical axis – the maximum responses of sensors for 60 with from the beginning of measurement, $-\Delta F_{\max}$, Hz·s are fixed

Для установления тонких различий в запахе проб шпика рассчитаны параметры $A(i/j)$, которые являются качественными критериями пьезокварцевого микровзвешивания, позволяющими не только идентифицировать в смеси вещества-маркеры, но и проследить значимые изменения в составе равновесной газовой фазы над пробами. Эти критерии отражают появление или исчезновение, резкое изменение концентрации легколетучих соединений, на которые настроен массив сенсоров (таблица 1).

Найдены параметры, однозначно позволяющие детектировать наличие и содержание андростенона в пробе (рисунок 5). Эти параметры учитывают особенности сорбции именно паров негативной добавки и позволяют отличить ее от воды или нативных компонентов шпика. При этом геометрия «визуальных следов» для проб шпика с добавками и их площади отличаются друг от друга незначительно.

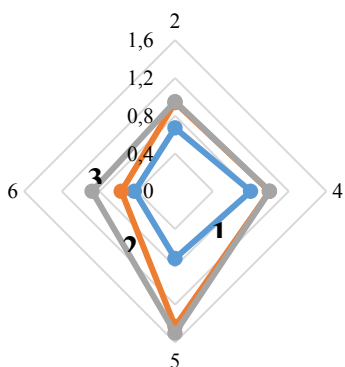


Рисунок 5. Диаграмма идентификационных параметров $A(i/j)$, отражающих присутствие и содержание в пробе исходного шпика (1) андростенона на уровне 0,5 ПДК (2) и 1 ПДК (3). Номера по круговой оси соответствуют номеру параметра в табл. 2, по радиальной оси – величины параметров $A(i/j)$

Figure 5. The chart of identification parameters $A(i/j)$ reflecting presence and maintenance at test of initial salted pork fat (1) of an androstenon at the level of 0.5 maximum allowable concentrations (2) and 1 maximum allowable concentrations (3). Numbers on a circular axis correspond to number of parameter in tab. 2, on a radial axis – sizes of the $A(i/j)$ parameters

Из всех представленных расчетных параметров наиболее информативным и качественно зависимым от присутствия даже малых концентраций андростенона являются параметры, отмеченные в таблице 1 номерами 2, 5, 6, но в то же время параметры 1, 2, 3, 6 позволяют дополнительно отследить порчу даже на начальном уровне. Информативными являются отклики сенсоров с модификаторами, чувствительными к биомаркерам порчи. Это – спирты, кислоты, кетоны, азот- и серосодержащие соединения, в то время как присутствие и содержание андростенона фиксируют сенсоры с модификаторами, чувствительными к ароматическим и циклическим углеводородам [9].

Масса проб, необходимых для анализа с двукратным повторением, не превышала 5 г, время измерения – 60 с, объем равновесной газовой фазы 5 см³, погрешность – 10%.

Таблица 1.

Идентификационные параметры ($A(i/j) \pm 0,02$) для модельных проб шпика

Table 1.

Identification parameters ($A(i/j) \pm 0,02$) for model tests of salted pork fat

Модификаторы i и j сенсоров Modifiers i and j sensor	Параметр Parameter	Пробы Sample				
		1	2	3	4	5
Прополис/ПЭГ-2000 Propolis/PEG-2000	1	0,13	0,14	0,18	0,16	0,21
ДЦГ18К6/ПЭГ2000 DZG18K6/PEG-2000	2	0,67	0,81	0,94	0,95	0,74
ПЭГФ/ПЭГСук PEGF/PEGS	3	0,16	0,19	0,22	0,24	0,20
ТОФО/ААП TOFO/AAP	4	0,80	0,86	1,00	1,00	0,75
ПЭГФ/ТХ-100 PEGF/TX-100	5	0,71	0,75	1,43	1,50	0,75
ТОФО/ТХ-100 TOFO/TX-100	6	0,43	0,50	0,57	0,88	0,50
ДЦГ18К6/ПЭГСук DZG18K6/PEGS	7	0,31	0,35	0,36	0,37	0,30

В нашей научной группе накоплен огромный материал по анализу самых различных пищевых продуктов, сырья, полуфабрикатов. Возможности расширяются и метрологические характеристики измерений на анализаторе газов «МАГ-8» улучшаются благодаря применению новых материалов в качестве модификаторов, изменению режимов измерения, регистрации и обработке данных, применению хемометрических алгоритмов.

Анализ публикационной активности за последние 25 лет в российской и зарубежной печати в этом и предыдущих обзорах [1], растущее число тезисов докладов на крупных конференциях по направлению «сенсорика», выделение

секции на непрофильных аналитических конференциях, например, технологических, информационных – все это позволяет объективно оценить актуальность и интерес научного сообщества (разработчиков) и реального сектора экономики (потребителей) к исследованиям, производству, внедрению в производство и лаборатории миниатюрных анализаторов на основе химических сенсоров с различными принципами действия, в том числе пьезокварцевых микровесов.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта программы «У.М.Н.И.К-2017» г/к № 13141ГУ/2018 от 23.05.2018 г.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кучменко Т.А. Химические сенсоры на основе пьезокварцевых микровесов // Проблемы аналитической химии. 2011. Т. 14. С. 127–203.
- 2 Nikolelis D.P. Portable Biosensing of Food Toxicants and Environmental Pollutants. NW.: CRC Press by Taylor & Francis Group, 2014. 800 p.
- 3 Korotcenkov G. Handbook of Gas Sensor Materials: Properties, Advantages and Shortcomings for Applications Volume 1: Conventional Approaches. Integrated Analytical Systems. NY.: Springer, 2013. 307 p.
- 4 Николаева М.А. Средства и методы идентификации пищевых продуктов // Партнеры и конкуренты. 2000. № 4. С. 23–25.
- 5 Wangchareansak T. Surface molecular imprints of WGA lectin as artificial receptors for mass-sensitive binding studies // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2011. V. 400. № 8. P. 2499–2506.
- 6 Rebollo-Plata B. Efficient vapor sensors using foils of dispersed nitrofen-doped and pure carbon multiwalled nanotubes // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2010. № 6. P. 3965–3972.
- 7 Lucas O. Introduction to electronic nose technology // Analisis. 1996. V. 24. № 8. P. M19–M20.
- 8 Каменик Я., Штейнхаузер Л. Качество мяса иммунокастрированных свиней // Все о мясе. 2012. № 6. С. 34–36.
- 9 Kuchmenko T.A., Korenman Ia.I., Trivunats K.V., Raiakovich L.V. et al. Determination of phenol in the air by piezo-quartz micro-weighing // Journal of Analytical Chemistry. 1999. V. 54. № 2. P. 178–182.
- 10 Skrlep M. et al. The effect of dietary fibre content on skatole and indole production in faeces of immunocastrated male pigs // PoljoPrivreda. 2015. V. 21. № 1. P. 182–185.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Татьяна А. Кучменко д.х.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tak1907@mail.ru

Дарья А. Порядина к.х.н., преподаватель кафедры, кафедра материаловедения и ремонта вооружения, Военная академия Ракетных Войск Стратегического Назначения имени Петра Великого, ул. Бригадная, 17, г. Серпухов, 142210, Россия, sibilda1@yandex.ru

Дарья А. Кучменко врач-педиатр, общепольничное отделение, Воронежская детская клиническая больница ВГМУ имени Н.Н. Бурденко, пер. Здоровья, 16, г. Воронеж, 394036, Россия, darinohcka_08@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Татьяна А. Кучменко постановка задачи, консультация в ходе исследования

Дарья А. Порядина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Дарья А. Кучменко консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 16.01.2019

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 12.02.2019

REFERENCES

- 1 Kuchmenko T.A. Chemical sensors based on piezo-quartz microbalances. *Problemy analiticheskoi khimii* [Problems of Analytical Chemistry]. 2011. vol. 14. pp. 127–203.
- 2 Nikolelis D.P. Portable Biosensing of Food Toxicants and Environmental Pollutants. NW, CRC Press by Taylor & Francis Group, 2014. 800 p.
- 3 Korotcenkov G. Handbook of Gas Sensor Materials: Properties, Advantages and Shortcomings for Applications Volume 1: Conventional Approaches. Integrated Analytical Systems. NY, 2013. 307 p.
- 4 Nikolaeva M.A. Means and methods of identification of foodstuff. *Partnery i konkurenty* [Partners and competitors]. 2000. no. 4. pp. 23–25. (in Russian).
- 5 Wangchareansak T. Surface molecular imprints of WGA lectin as artificial receptors for mass-sensitive binding studies. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2011. vol. 400. no. 8. pp. 2499–2506.
- 6 Rebollo-Plata B. Efficient vapor sensors using foils of dispersed nitrofen-doped and pure carbon multiwalled nanotubes. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2010. no. 6. pp. 3965–3972.
- 7 Lucas O. Introduction to electronic nose technology. *Analisis*. 1996. vol. 24. no. 8. pp. M19 – M20.
- 8 Kamennik Ia., Shteinkhauzer L. Meat quality of pigs immunocastration. *Vse o miase* [All about meat]. 2012. no. 6. pp. 34–36 (in Russian).
- 9 Kuchmenko T.A., Korenman Ia.I., Trivunats K.V., Raiakovich L.V. et al. Determination of phenol in the air by piezo-quartz micro-weighing. *Journal of Analytical Chemistry*. 1999. vol. 54. no. 2. pp. 178–182.
- 10 Skrlep M. et al. The effect of dietary fibre content on skatole and indole production in faeces of immunocastrated male pigs. *PoljoPrivreda*. 2015. vol. 21. no. 1. pp. 182–185.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Tatyana A. Kuchmenko Dr. Sci. (Chem.), professor, head of department, physical and analytical chemistry department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tak1907@mail.ru

Darya A. Poryadina Cand. Sci. (Chem.), lecturer of the department, materials science and repair of weapons department, Military Academy of the strategic missile forces named after Peter the Great, Brigadnaya st., 17, Serpukhov, 142210, Russia, sibilda1@yandex.ru

Darya A. Kuchmenko pediatrician, general hospital department, Voronezh pediatric clinical hospital VSMU named after N.N. Burdenko, Zdorovya st., 16, Voronezh, 394036, Russia, darinohcka_08@mail.ru

CONTRIBUTION

Tatyana A. Kuchmenko statement of the problem, consultation in the course of the study

Darya A. Poryadina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Darya A. Kuchmenko consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.16.2019

ACCEPTED 2.12.2019