

Зурет Нурбиевна Хатко¹, Руслан Умарханович Умарханов², Саида Каплановна Кудайнетова³,
Татьяна Анатольевна Белявцева⁴

^{1,3,4}Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Республика Адыгея, Россия

²Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

¹znkhatko@mail.ru

²rumarkhanov@gmail.com

³saidakudainetova@yandex.ru

⁴belyavceva.tanya@yandex.ru

СЕНСОРОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АРОМАТА АДЫГЕЙСКОГО СЫРА

Цель исследования – сенсорометрическая оценка аромата адыгейского сыра (мягкого, копченого, твердого) и определение влияния съедобной пектиновой оболочки на сохранение аромата в каждом образце. Объекты исследования – образцы адыгейского сыра (мягкий – контроль, копченый, твердый, мягкий в пектиновой оболочке, мягкий в пектиновой оболочке со специями, копченый в пектиновой оболочке со специями (1–6-й образцы соответственно)). Исследование проводилось по общепринятым стандартным методам в лаборатории современных методов анализа ФГБОУ ВО «ВГУИТ» и ООО «СНТ» (Воронеж). Инструментальная оценка запаха представленных образцов проведена на лабораторном анализаторе газов «МАГ-8» с методологией «электронный нос» (производство Россия) на основе 8 сенсоров. Проведен комплексный анализ влияния рецептурных параметров и технологических режимов на формирование профиля летучих ароматических соединений в адыгейском сыре. Мягкий сыр содержит больше воды (19,12 %) и кислот (23,04 %), но меньше ароматических веществ (7,35 %). В твердом сыре больше кетонов (19,64 %) и аминов (7,14; 7,74 %). Копченый сыр близок к твердому по альдегидам (20,10 %), но уступает по кетонам (16,18 %), аромат (8,33 %) выражен сильнее, а с добавлением пектинов и специй усиливается (10,40 %). Мягкий сыр в пектиновой оболочке имеет максимальные значения кислотности (23,20 %) и ароматических веществ (10,82 %), с добавлением специй растет количество кетонов (19,37 %), что в совокупности улучшает восприятие аромата. Обоснована роль пектинов как барьера, задерживающего высвобождение ключевых групп ЛОС (кетонов, спиртов) и продлевающего сохранность аромата. Специи меняют аромат, добавляя пряные и ароматические ноты, которые могут как маскировать, так и дополнять исходный аромат сыра.

Ключевые слова: сенсорометрические характеристики, адыгейский сыр, пектиновые вещества, пектиновая оболочка, специи, электронный нос, сенсоры

Для цитирования: Хатко З.Н., Умарханов Р.У., Кудайнетова С.К., и др. Сенсорометрическая оценка аромата адыгейского сыра // Вестник КрасГАУ. 2026. № 1. С. 247–260. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-1-247-260.

Финансирование: исследование выполнялось за счет средств государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 1023122100005-9-2.9.1 «Высокоэффективные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, обеспечивающие экспортный потенциал: новые конкурентоспособные пищевые продукты, новые медицинские и косметические средства, инновационные технологии, пролонгирование сроков хранения продуктов»).

Zuret Nurbieva Khatko¹, Ruslan Umarmkhanovich Umarmkhanov², Saida Kaplanovna Kudaynetova³, Tatiana Anatolyevna Belyavtseva⁴

^{1,3,4}Maykop State Technological University, Maykop, Republic of Adyghea, Russia

²Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

¹znkhatko@mail.ru

²rumarkhanov@gmail.com

³saidakudainetova@yandex.ru

⁴belyavceva.tanya@yandex.ru

SENSOROMETRIC EVALUATION OF THE ADYGHE CHEESE AROMA

The aim of the study is to sensorimetrically evaluate the aroma of Adyghe cheese (soft, smoked, and hard) and determine the effect of an edible pectin coating on aroma preservation in each sample. The objects of the study were samples of Adyghe cheese (soft – control, smoked, hard, soft in a pectin coating, soft in a pectin coating with spices, smoked in a pectin coating with spices (samples 1–6, respectively)). The study was conducted according to generally accepted standard methods in the laboratory of modern analytical methods at VSUIT and SNT LLC (Voronezh). Instrumental evaluation of the odor of the presented samples was carried out on a MAG-8 laboratory gas analyzer with the "electronic nose" methodology (made in Russia) based on 8 sensors. A comprehensive analysis of the influence of recipe parameters and process modes on the formation of the profile of volatile aromatic compounds in Adyghe cheese was carried out. Soft cheese contains more water (19.12 %) and acids (23.04 %), but fewer aromatic substances (7.35 %). Hard cheese contains more ketones (19.64 %) and amines (7.14; 7.74 %). Smoked cheese is similar to hard cheese in aldehyde content (20.10 %) but lower in ketones (16.18 %). Its aroma (8.33%) is more pronounced, and it intensifies with the addition of pectin and spices (10.40 %). Soft cheese in a pectin casing has the highest acidity (23.20 %) and aromatics (10.82 %); the addition of spices increases the ketone content (19.37 %), which collectively improves aroma perception. Pectin's role as a barrier, delaying the release of key VOC groups (ketones, alcohols) and prolonging aroma retention, has been substantiated. Spices alter the aroma, adding spicy and aromatic notes that can either mask or complement the original cheese aroma.

Keywords: sensorometric characteristics, Adyghe cheese, pectin substances, pectin coating, spices, electronic nose, sensors

For citation: Khatko ZN, Umarmkhanov RU, Kudainetova SK, et al. Sensorometric evaluation of the Adyghe cheese aroma. *Bulletin of KSAU*. 2026;(1):247-260. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-1-247-260.

Funding: the study was supported by a state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Topic No. 1023122100005-9-2.9.1 Highly efficient technologies for storage and processing of agricultural products ensuring export potential: new competitive food products, new medical and cosmetic products, innovative technologies, and extended shelf life of products).

Введение. Аромат пищевых продуктов является одним из ключевых органолептических показателей, напрямую коррелирующим с потребительским восприятием качества и оказывающим существенное влияние на формирование покупательского предпочтения. Его воздействие на обонятельные рецепторы запускает сложные психофизиологические механизмы, детерминирующие окончательный выбор и лояльность к продукту.

Ароматика сыров формируется за счет сложного комплекса летучих соединений, образующихся в результате ферментативных и микро-

биологических процессов во время созревания. Ключевыми компонентами, определяющими запах сыра, являются короткоцепочечные жирные кислоты, серосодержащие соединения, карбонильные соединения (альдегиды, кетоны), а также спирты и сложные эфиры. Их образование связано с распадом белков (протеолиз), жиров (липолиз) и углеводов под действием ферментов сычужного фермента, микрофлоры заквасок и поверхностных микроорганизмов [1]. Интенсивность и характер аромата зависят от вида сыра, технологии производства и условий созревания, что создает уникальный букет для каждого сорта.

Адыгейский сыр – это традиционный мягкий сыр Республики Адыгея, производство которого включает термокислотную коагуляцию кислой молочной сывороткой, что приводит к образованию свежего сырного зерна [2]. В зависимости от дальнейшей обработки адыгейский сыр может оставаться свежим либо подвергаться копчению (при 45 °С в течение 2 ч), что придает ему более выраженный аромат и плотную консистенцию. Для получения твердого сыра с более интенсивным вкусом его дополнительно подвергают процессу сушки [3].

Инструментальная оценка запаха сыра включает использование различных аналитических методов для идентификации и количественной оценки летучих соединений, ответственных за аромат. Наиболее распространенные подходы – это газовая хроматография с масс-спектрометрией и ольфактометрией (GC-MS/O), а также твердофазная микроэкстракция из головного пространства (HS-SPME), которые позволяют выявить ключевые одоранты, такие как метантиол, диметилсульфид, диацетил, уксусная и масляная кислоты, определяющие характерный запах разных сортов сыра [4].

Для количественной оценки вклада каждого соединения рассчитывают значения одор-активности, что помогает понять, какие вещества формируют основной аромат. Электронные носы (E-Nose) и массивы химических сенсоров также применяются для быстрой и неразрушающей оценки интенсивности запаха и классификации сыров по типу и степени зрелости; их показания хорошо коррелируют с результатами сенсорных панелей.

Инструментальные методы позволяют отслеживать изменения профиля летучих соединений в процессе созревания и хранения сыра, а также выявлять дефекты аромата, связанные с превышением концентраций отдельных одорантов [5].

К. Fujioка изучена взаимосвязь между показателями органолептической оценки и значениями, полученными с помощью электронного носа (E-Nose), в отношении аромата сыра. Сенсорные оценки одного или двух видов плавленого сыра с плесенью и натурального сыра существенно различались. Была выявлена значимая корреляция между средними значениями, полученными с помощью электронного носа, и медианами оценок интенсивности аромата, полученных в ходе сенсорной оценки перед упот-

реблением, во время жевания и после проглатывания. В частности, было обнаружено, что оценка интенсивности аромата во время жевания линейно зависит от значений электронного носа (коэффициент корреляции Пирсона = 0,983) [6].

J. Wang et al. были исследованы ключевые ароматические соединения, выявленные в сыре чеддер с разным сроком созревания, с помощью анализа разбавления ароматических экстрактов, оценки активности запаха, рекомбинации и исключения ароматических соединений. Результаты эксперимента показали, что общий ароматический профиль рекомбинантного образца очень похож на аромат сыра чеддер. Основными различными соединениями в сыре чеддер с разным сроком созревания были уксусная кислота, бутановая кислота, диметилтрисульфид, метионал, гексаналь, (E)-2-нональ, ацетоин, 1-октен-3-он, δ-додекалактон, фуранеол, гексановая кислота, гептанал и этил-капроат [7].

J. Miguélez et al. оценили влияние отдельных штаммов *Lactocaseibacillus casei*, обладающих свойствами, препятствующими размножению *Listeria monocytogenes*, на характеристики традиционных мягких сыров. Было идентифицировано 32 летучих соединения, в том числе кислоты, спирты, кетоны, альдегиды и сложные эфиры, с различиями между партиями, полученными с использованием заквасок, и партиями, полученными без использования заквасок [8].

H. Uzkuç et al. была проведена оценка влияния термической обработки, источника коагулянта и закваски на органолептические, физико-химические характеристики и летучие соединения козьего сыра. Для этого козий сыр был изготовлен из сырого или термически обработанного молока, свернутого с помощью *Cynara cardunculus* L. (артишок испанский, кардон), протеазы или телячьего сычужного фермента. Также было изучено влияние закваски. Не было выявлено существенных различий между сырами, изготовленными с использованием разных коагулянтов, с точки зрения химических, микробиологических и органолептических параметров, а также уровня протеолиза сыров из сырого молока, но сочетание термической обработки и закваски повлияло на большинство характеристик. В процессе созревания в сырах было обнаружено в общей сложности 27 летучих соединений, включая кислоты, спирты, сложные эфиры,

кетоны и альдегиды. Кислотные соединения были наиболее распространенными летучими веществами в сырах. Сыры из сырого молока получили высокие сенсорные оценки, а для сыров из термически обработанного молока и без стартовой культуры зафиксировали неприятный горький вкус [9].

I. Andriot et al. изучили влияние состава сыра на содержание, выделение и восприятие аромата. В контролируемых условиях было получено 16 видов сыра, после чего проведен количественный описательный анализ после созревания. Ароматический состав был проанализирован с помощью метода «HS-SPME–ГХ–МС», а динамическая сенсорная оценка была дополнена анализом «носового пространства» с помощью аналитического подхода «PTR-ToF-MS». Ключевыми факторами, влияющими на изменчивость сенсорных характеристик, были определены содержание жира в сыре и лактозы в молочной сыворотке. ГХ–МС-анализ выявил 27 соединений, коррелирующих с сенсорными характеристиками. Зафиксировано 23 иона ароматических соединений. Установлено, что уровень содержания жира, соли и лактозы в сыре, а также типы микробных штаммов влияют на состав, структуру, выделение ароматических соединений и сенсорное восприятие [10].

L. Maslov et al. были проведены обширные исследования ароматических соединений, содержащихся в сыре. В ходе многочисленных исследований было выявлено более 3000 летучих и нелетучих компонентов сыра. Автором подробно рассматривается биохимия образования важных ароматических соединений, которые влияют на общее качество сыра и его органолептические характеристики [11].

Lee-Rangel определили применимость электронного носа «Cyranose 320» для описания дифференциации летучих органических соединений (ЛОС) в свежем мексиканском сыре, приготовленном из молока двух разных пород молочного скота. Датчик 31 в электронном носу «Cyranose 320» усилил свою реакцию на незаменимые карбоновые кислоты, идентифицированные с помощью комбинации методов Headspace solid-phase microextraction и газовой хроматографии-масс-спектрометрии (HS-SPME/ГХ–МС) [12].

Таким образом, исследование ароматов пищевых продуктов, в том числе сыров, с целью его сохранения является актуальным.

Цель исследования – сенсорометрическая оценка аромата адыгейского сыра (мягкого, копченого, твердого) и исследование влияния съедобной пектиновой оболочки на сохранение аромата в каждом образце.

Задачи: определение относительного содержания групп летучих органических соединений в РГФ над пробами по значимым сигналам сенсоров; сравнительный анализ кинетических и максимальных «визуальных отпечатков» сигналов сенсоров опытных образцов; расчет абсолютной и относительной разности площадей; обоснование влияния пектиновых веществ на сохранение аромата сыра.

Объекты и методы. Объектами исследования являлись образцы адыгейского сыра: мягкий – контроль, копченый, твердый, мягкий в пектиновой оболочке, мягкий в пектиновой оболочке со специями, копченый в пектиновой оболочке со специями – (1–6 соответственно).

На сыр в съедобной пектиносодержащей оболочке получены: патент РФ на изобретение № 2823063 С1; Технические условия (ТУ 10.51.40-033-32351356-2024), зарегистрированные в банке данных «Продукты России».

Исследования проводились по общепринятым стандартным методам в лаборатории современных методов анализа ФГБОУ ВО «ВГУИТ» и ООО «СНТ» (г. Воронеж).

Инструментальная оценка запаха представленных образцов проведена на лабораторном анализаторе газов «МАГ-8» с методологией «электронный нос» (производство Россия) на основе 8 сенсоров.

Анализ свежеприготовленных проб проводили без дополнительной их подготовки. Для детектирования летучих органических соединений (ЛОС) в пищевых продуктах применяли набор пьезокварцевых микровесов (10–14 МГц), сенсорные элементы которых были модифицированы пленочными и наноструктурированными покрытиями, селективными к целевым анализатам. Сенсоры в массиве были расположены в последовательности от высокополярных к малополярным сорбентам.

Сенсор 1 – поливинилпирролидон (ПВП).

Сенсор 2 – прополис, пчелиный клей (ПЧК).

Сенсор 3 – дициклогексан-18-Краун-6 (ДЦГ18К6).

Сенсор 4 – гидроксипатит (ГА).

Сенсор 5 – полиэтиленгликоль ПЭГ-2000 (ПЭГ-2000).

Сенсор 6 – полиэтиленгликоль себацинат (ПЭГС6).

Сенсор 7 – полиэтиленгликоль сукцинат (ПЭГС).

Сенсор 8 – тритон X-100 (ТХ100).

Пробы выдерживали при комнатной температуре (22 ± 1 °C) не менее 30 мин. Объем равновесной газовой фазы $V_{\text{ргф}}$ (РГФ) – 3 см³.

Общее время взвешивания ЛС пробы (регистрируемые изменения состояния модификатора после напуска РГФ) – 1 мин.

Результаты и их обсуждение. Исследованы характерные особенности химического состава летучих компонентов для оценки сходства и различий в составе равновесных газовых фаз (РГФ) над образцами адыгейского сыра.

Анализ проводился по максимальным концентрациям соединений, регистрируемых выбранной сенсорной матрицей в течение одноминутного периода диффузии после выделения пробами. На примере отдельных образцов проанализирована взаимосвязь между модификацией рецептуры и изменениями ароматических характеристик.

Проведено сравнение сыров по группам «мягкие» – группа 1, в которых возможно оценить влияние изменений (замена оболочки и добавление специй); мягкий – твердый – группа 2 (возможно сравнить принципиальное влияние на состав РГФ вида сыра; копченый – группа 3 (влияние специй и вида оболочки).

В таблице 1 представлены абсолютные отклики сенсоров для анализируемых проб.

Таблица 1

Отклики сенсоров в парах РГФ над пробами (Гц) и площади «визуального отпечатка» максимальных сигналов сенсоров, $V_{\text{ргф}} = 3$ см³ за 1 мин нагрузки
Responses of sensors in RGF pairs by samples (Hz) and the area of the "visual fingerprint" of the maximum sensor signals, $V_{\text{rgf}} = 3$ cm³ per 1 minute of load

Номер пробы	Сыр (проба)	Сенсор								Σ, Гц.с
		ПВП	ПчКл	18К6	ГА	ПЭГ–2000	ПЭГС6	ПЭГС	ТХ–100	
1	Мягкий (контроль)	39	40	47	12	29	13	9	15	1967
2	Мягкий в пектиновой оболочке	36	36	45	12	23	10	11	21	1788
3	Мягкий в пектиновой оболочке со специями	33	35	34	11	37	13	9	19	1598
4	Твердый	29	34	25	12	33	13	9	13	1262
5	Копченый	37	41	38	13	33	15	10	17	1924
6	Копченый в пектиновой оболочке со специями	30	32	31	11	32	10	9	18	1328

Для проб установлены различные сигналы сенсоров, что говорит о разной рецептуре образцов. Целесообразно проводить сравнение внутри каждой группы.

Для группы 1 применение пектиновой оболочки существенно снизило содержание веществ в РГФ над образцами. По сравнению с пробой 1 (контроль) уменьшение ЛС составило 9 % для пробы 2 (незначимо) и 19 % (значимо) для пробы 3.

Состав ЛС в РГФ над пробой твердого сыра (проба 4) на 36 % меньше, чем в РГФ над пробой 1 (доминирует изменение влаги). Копчение в количественном соотношении не меняет сос-

тав РГФ по сравнению с пробой 1, но, вероятно, меняется качественный состав.

В группе 3 применение пектиновой оболочки и специй также снижает содержание ЛС в РГФ аналогично мягким сырам, уменьшение содержания ЛС составляет 31 % (сильно заметное). На этом этапе можно сделать вывод о влиянии пектиновой оболочки на аромат – уменьшение, более сильное для копченых сыров. Введение специй в оболочку сильнее меняет состав РГФ над образцами, чем применение пектиновой оболочки.

Для сравнительного анализа качественного и количественного фракционного состава летучих соединений в исследуемых пробах был приме-

нен метод нормированного вклада. Профилирование изменений в газовой фазе над образцами выполняли по динамике относительного содержания ключевых классов летучих веществ, соответствующих селективности сенсорного массива.

Ключевым этапом явился расчет вклада (%) каждого сенсора с уникальным покрытием в общий аналитический отклик системы, что позволило визуализировать и количественно оценить индивидуальные профили проб (табл. 2).

Таблица 2

Относительное содержание групп ЛОС в РГФ над пробами по значимым сигналам сенсоров, ω ($\pm 0,03$ – $3,0$), % масс
The relative content of VOC groups in the RGF above the samples according to significant sensor signals, ω (± 0.03 – 3.0), % by weight

Сыр (проба)	Сенсор							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
	Класс веществ с преимущественной реакцией сенсоров							
	Вода, все полярные соединения	Спирты, альдегиды, амины	Органические полярные соединения, кислоты	Все полярные, амины	Кетоны, спирты	Амины, другие N-содержащие соединения	Средне-полярные, S-, N-содержащие соединения	Альдегиды, другие, ароматич.
Мягкий (контроль)	19,12	19,61	23,04	5,88	14,22	6,37	4,41	7,35
Твердый	17,26*	20,24	14,88	7,14	19,64	7,74	5,36	7,74
Мягкий в пектиновой оболочке	18,56	18,56	23,20	6,19	11,86	5,15	5,67	10,82
Мягкий в пектиновой оболочке со специями	17,28	18,32	17,80	5,76	19,37	6,81	4,71	9,95
Копченый	18,14	20,10	18,63	6,37	16,18	7,35	4,90	8,33
Копченый в пектиновой оболочке со специями	17,34	18,50	17,92	6,36	18,50	5,78	5,20	10,40

Примечание: Жирным выделены показатели, значимо отличающиеся от пробы контроль внутри групп.

Как показывают данные таблицы 2, образцы сыров отличаются по сочетанию в РГФ разных классов ЛС, что подчеркивает натуральность, различие компонентов сырья и разный состав рецептуры.

По составу РГФ (качественный и количественный состав) пробы отличаются в каждой группе от условного контроля.

В группе 1 по группам ЛОС сыр мягкий в пектиновой оболочке отличается от контрольного образца на 75 %, уменьшается содержание влаги, спиртов, альдегидов, легких аминов, кетонов, при этом существенно увеличивается доля других ароматических соединений, вносимых оболочкой. Применение оболочки со специями в меньшей степени нарушает соотношение в РГФ разных групп соединений, но тенденция изменения определяется именно типом оболочки.

В мягком сыре прослеживается уменьшение в РГФ над твердым сыром воды, кислот, рост содержания аминов кетонов.

Для группы копченых сыров различия также составляют 75 %. Влияние пектиновой оболочки со специями аналогично мягким сырам.

Твердые, копченые, а также сыры, покрытые пектиновой оболочкой, в том числе с добавлением специй, демонстрируют лучшую сохранность благодаря меньшей влажности и барьерным свойствам оболочки.

Совокупные многомерные сигналы всех сенсоров формируют «визуальные отпечатки», отражающие пиковые и кинетические отклики за 1 мин воздействия парами проб. Эти данные демонстрируют концентрацию летучих соединений в газовой фазе над образцами, сходство их состава, а также специфику сорбции аналитов на пленках сенсоров.

Для наглядного сравнения отдельных проб приведены нормированные круговые диаграммы, отображающие пиковые значения сенсорной активности. Такой подход визуализации дает возможность комплексной оценки качественных изменений (по характеру формы сигналов), количественных различий (по величине площадей диаграмм) в составе летучих компонентов, эмитируемых образцами.

Сравнение кинетических и максимальных визуальных отпечатков (ВО) анализируемых проб представлено на рисунке 1.

Рост значения относительной разности площадей свидетельствует о возрастании различий в качественном и количественном составе летучих соединений между пробами. Кинетика и амплитуда выходных откликов анализируемых проб в сравнении с контролем представлены на рисунке 2.

Расчеты абсолютной и относительной разности площадей анализируемых проб в сравнении с контролем представлены в таблице 3.

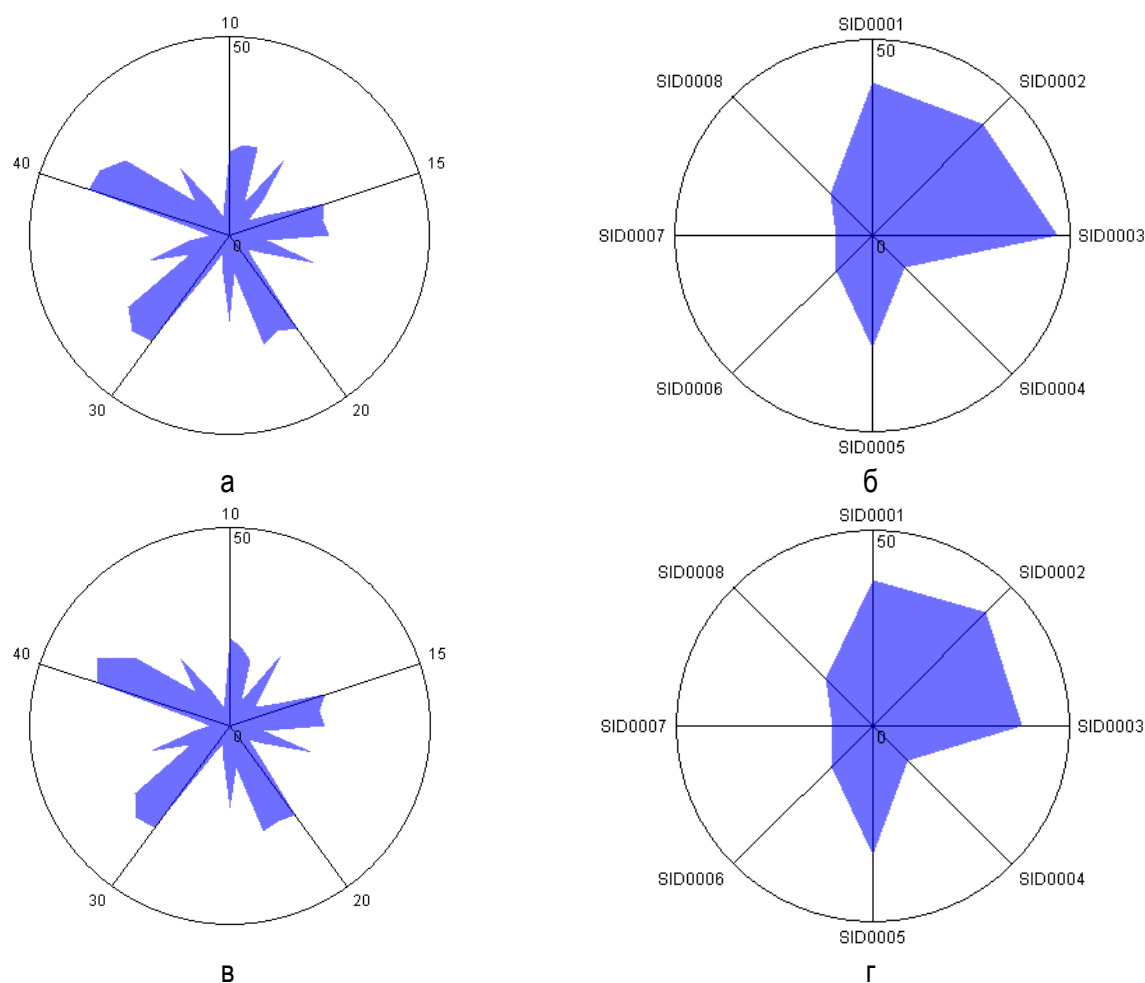
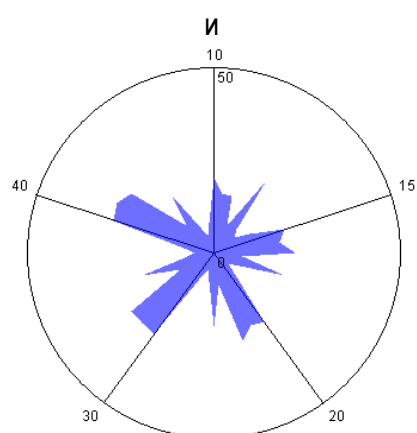
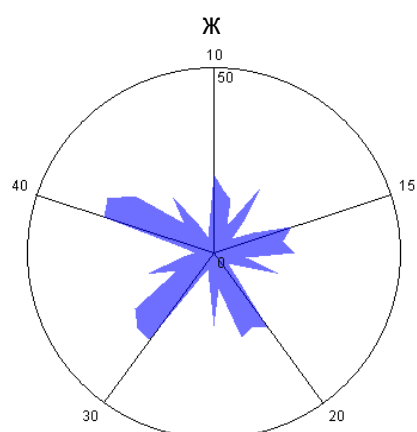
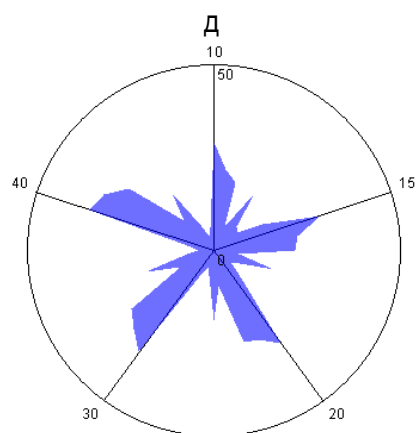
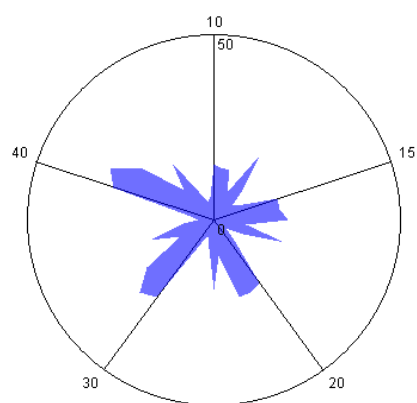
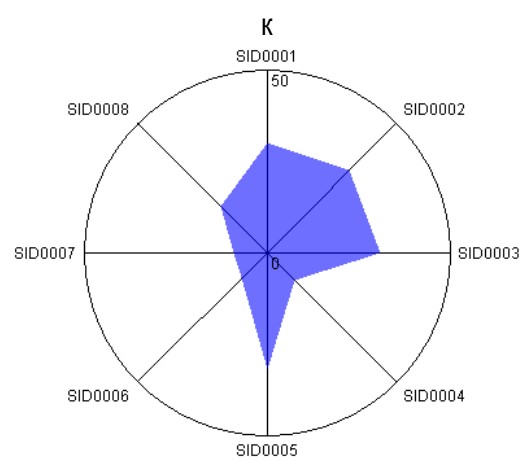
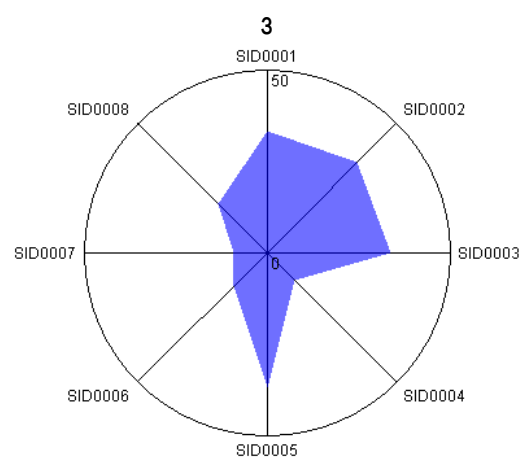
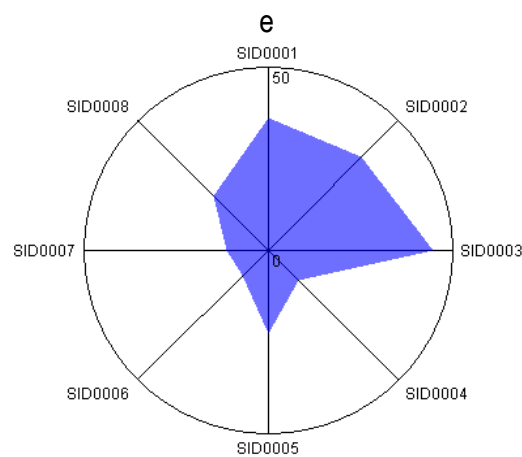
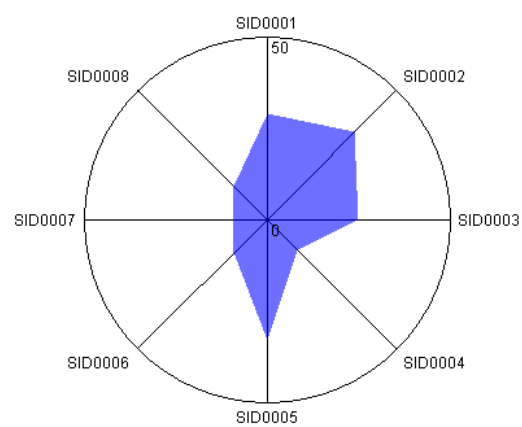


Рис. 1. Сравнение кинетических и максимальных ВО анализируемых проб:
 а – кинетический, б – максимальный ВО пробы «Мягкий»; в – кинетический; г – максимальный ВО пробы «Копченый»; д – кинетический; е – максимальный ВО пробы «Твердый»; ж – кинетический; з – максимальный ВО пробы «Мягкий в пектиновой оболочке»; и – кинетический; к – максимальный ВО пробы «Мягкий в пектиновой оболочке со специями»; л – кинетический; м – максимальный ВО пробы «Копченый в пектиновой оболочке со специями»
 Comparison of kinetic and maximum values of analyzed samples:
 а – kinetic, б – maximum VO of the "Soft" sample; в – kinetic, г – maximum VO of the "Smoked" sample; д – kinetic, е – maximum VO of the "Hard" sample; ж – kinetic, з – maximum VO of the "Soft in a pectin shell" sample; и – kinetic, к – maximum VO of the "Soft in a pectin shell with spices" sample; л – kinetic, м – maximum VO of the "Smoked in a pectin shell with spices" sample



Л



М

Окончание рис. 1

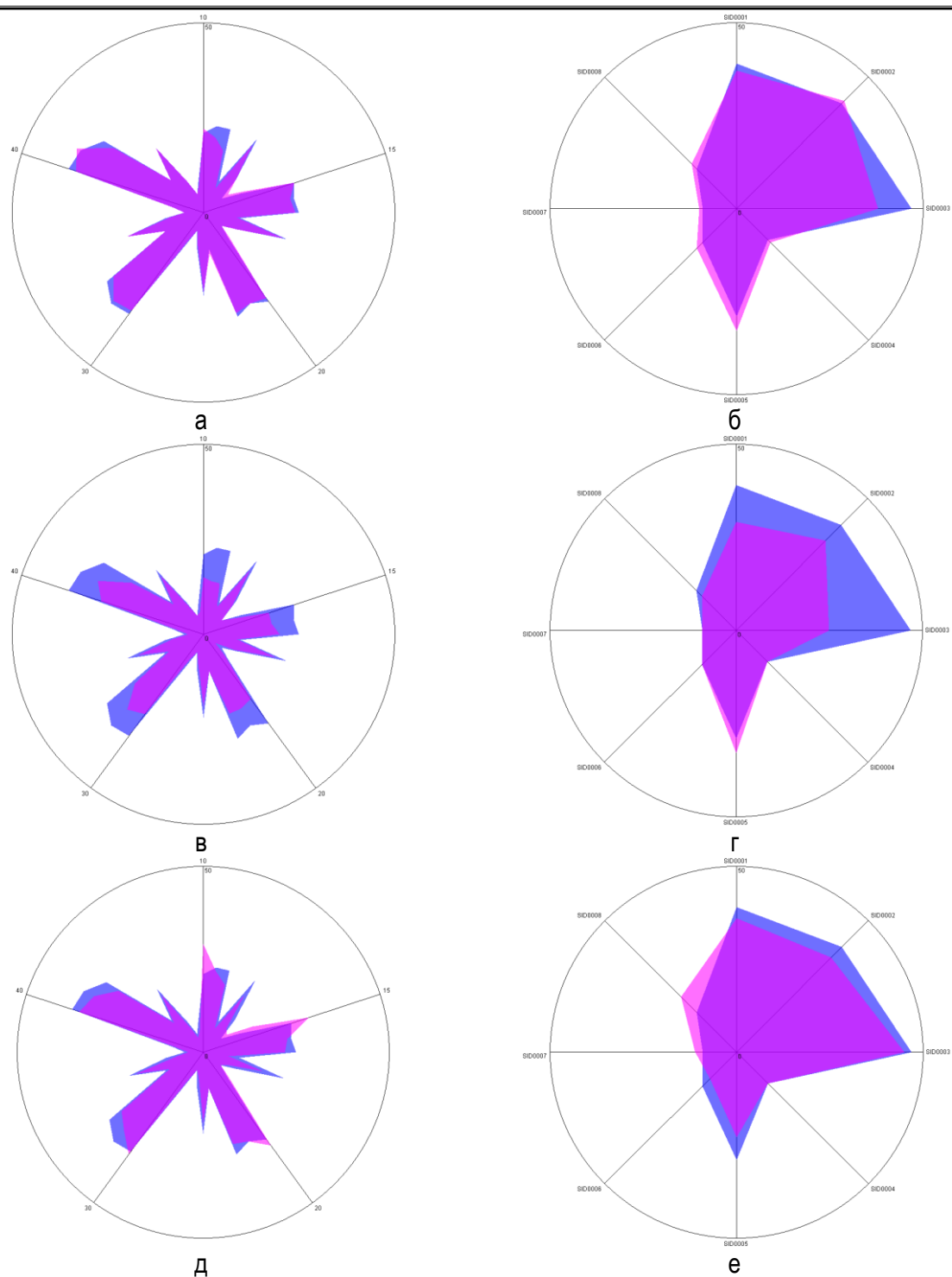
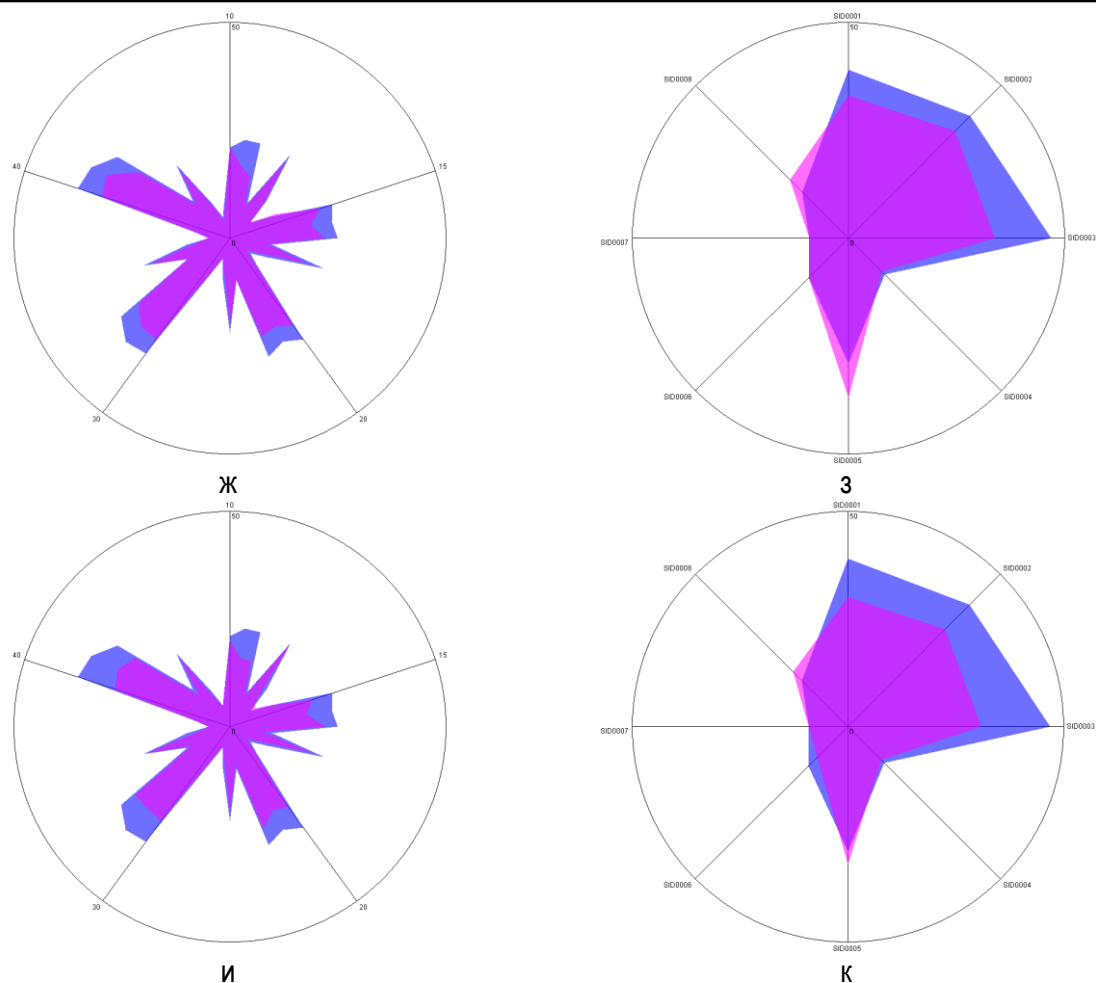


Рис. 2. Кинетические и максимальные ВО анализируемых проб в сравнении с контролем:
 а – кинетический, б – максимальный ВО пробы 1 (синий) и 2 (фиолетовый); в – кинетический,
 г – максимальный ВО пробы 1 (синий) и 3 (фиолетовый); д – кинетический, е – максимальный ВО
 пробы 1 (синий) и 4 (фиолетовый); ж – кинетический, з – максимальный ВО пробы 1 (синий)
 и 5 (фиолетовый); и – кинетический, к – максимальный ВО пробы 1 (синий) и 6 (фиолетовый)

Kinetic and maximum visual impressions compared to controls:
 а – kinetic, б – maximum VO of samples 1 (blue) and 2 (purple); в – kinetic, г – maximum VO of samples
 1 (blue) and 3 (purple); д – kinetic, е – maximum VO of samples 1 (blue) and 4 (purple); ж – kinetic,
 з – maximum IN samples 1 (blue) and 5 (purple); и – kinetic, к – maximum IN samples 1 (blue) and 6 (purple)



Окончание рис. 2

Таблица 3

Расчеты абсолютной и относительной разности площадей анализируемых проб в сравнении с контролем
Calculations of the absolute and relative area difference in comparison with the control

Сыр (проба) – контроль : опытный образец	Визуальный отпечаток			
	Кинетический		Максимальный	
	Разность площадей		Разность площадей	
	абсолютная	относительная, %	абсолютная	относительная, %
Мягкий – контроль: копченый	48,79	4,81	52,91	4,53
Мягкий – контроль: твердый	389,28	36,33	704,99	35,82
Мягкий – контроль: мягкий в пектиновой оболочке	133,67	12,19	179,25	9,11
Мягкий – контроль: мягкий в пектиновой оболочке со специями	276,81	25,25	369,11	18,76
Мягкий – контроль: копченый в пектиновой оболочке со специями	337,90	30,82	639,58	32,50

В таблице 3 выделены значимые различия относительных разностей площади «визуальных отпечатков». Чем больше относительная

разность площадей, тем менее похожи по количественному составу (интенсивности) ароматы сравниваемых проб.

Установлено, что по составу (качественному и количественному) летучей фракции проб наиболее похожи пробы 1 (мягкий – контроль) и 2 (копченый адыгейский сыр). От пробы 1 (мягкий – контроль) максимально отличается проба 3 (твердый).

Более наглядно отражают различие в составе аромата нормированные ВО по сигналу седьмого сенсора (проявляет минимальную чувствительность к парам проб) (рис. 3). По кру-

гу отложены нормированные по сигналу 7-го сенсора отклики сенсоров в массиве с 1-го по 8-й (в диаграмме он отмечен 7); номер ряда соответствует номеру проб в таблице 1. Этот подход является способом внутренней нормировки детектора и устраняет все различия в отборе пробы. Если состав и природа полярных органических соединений одинаковая в РГФ, то нормированные «отпечатки» не будут различаться.

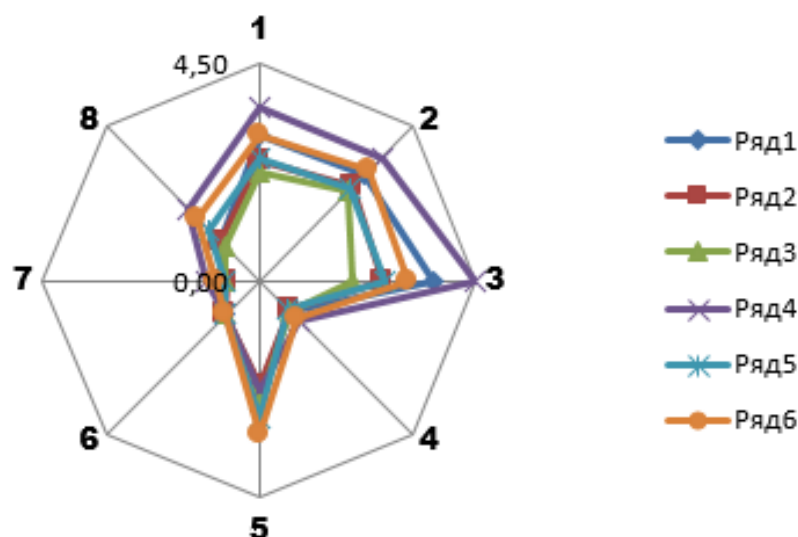


Рис. 3. Нормированные «визуальные отпечатки» максимумов
Normalized «visual fingerprints» of the maxima

Установлено, что все пробы по составу РГФ над пробами отличаются между собой. Максимально идентичны пробы 2 и 5, различаются максимально – пробы 3 и 4 (см. рис. 3). Проба 3 более корректная по составу, содержит меньше спиртов, альдегидов, кислот, что связано с изменениями технологии.

Проследить изменения в качественном составе РГФ над пробами и появление/исчезновение соединений легколетучей фракции позволяет набор параметров A_{ij} [13], показывающий постоянство соотношения концентраций отдельных классов летучих соединений в РГФ – парная чувствительность сенсоров к летучим компонентам (табл. 4). Если параметры A_{ij} , которые отражают стабильность состава запаха, для сравниваемых проб близки или совпадают, то можно считать, что соотношение содержания в пробах указанных групп соединений одинаково. Степень различий в качественном составе газовой фазы над пробами прямо пропорцио-

нальна количеству параметров A_{ij} , отклоняющихся от контрольных значений или данных других образцов. Эти различия могут быть выявлены в ходе органолептического анализа как потребителями, так и профессиональными дегустаторами. При изменении свыше 40 % анализируемых параметров наблюдается значимая трансформация запаха, связанная с появлением или исчезновением отдельных групп летучих компонентов. В исследованных образцах из 28 потенциально значимых характеристик было идентифицировано 10 стабильных показателей (36 %), достоверно различающихся в данной выборке (см. табл. 4). Это заметные отличия, что исключает применение искусственных ароматизаторов или других усилителей аромата, но говорит о разной природе / технологии изделий. В каждой группе проведено сравнение данных спектров относительно наиболее близкого образца (группа 1 – контроль 1), группа 3 – копченый.

Надежные параметры $A_{ij}(\pm 0,10)$ для проб РГФ
Reliable parameters $A_{ij}(\pm 0.10)$ for RGF samples

Сыр (проба)	Номер параметра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$A(i/j)$									
	1/5	1/7	1/8	2/3	2/8	3/5	3/7	3/8	4/8	6/8
Твердый	0,88	4,11	2,23	1,36	2,62	0,76	2,78	1,92	0,92	1,00
Мягкий (контроль)	1,34	4,33	2,60	0,85	2,67	1,62	5,22	3,13	0,80	0,87
Мягкий в пектиновой оболочке	1,57	2,64	1,71	0,80	1,71	1,96	4,09	2,14	0,57	0,48
Мягкий в пектиновой оболочке со специями	0,89	4,00	1,74	1,03	1,84	0,92	3,78	1,79	0,58	0,68
Копченый	1,12	3,90	2,18	1,08	2,41	1,15	3,80	2,24	0,76	0,88
Копченый в пектиновой оболочке со специями	0,94	3,67	1,67	1,03	1,78	0,97	3,44	1,72	0,61	0,56

Набор параметров в лучшей степени отражает близость качественного состава аромата (аналогия спектральным характеристикам). Для визуализации вывода о различиях или сходстве качественного состава запаха проб представлен набор качественных параметров A_{ij} , которые

максимально различаются для проб из таблице 4. Массовые спектры пьезокварцевого микровзвешивания: по оси X отложены выделенные параметры из таблице 4. Номер ряда соответствует номеру пробы (рис. 4).

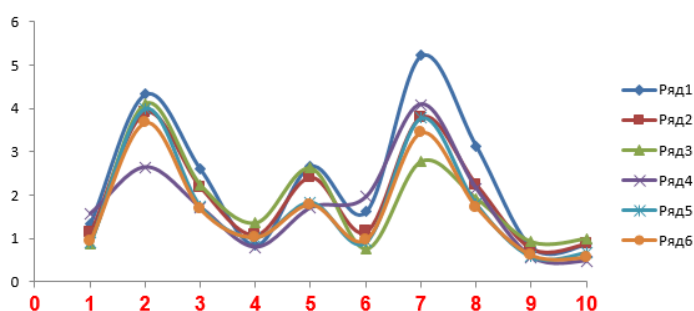


Рис. 4. Наборы идентификационных параметров A_{ij} для летучих соединений РГФ над пробами
Sets of identification parameters A_{ij} for volatile compounds of RGF above samples

Как показывают данные рисунка 4, сыр мягкий в пектиновой оболочке существенно отличается по составу аромата от остальных проб. Близкий качественный состав проявляют пробы 6 (копченый в пектиновой оболочке со специями) и 2 (копченый), что обусловливается одинаковыми технологическими параметрами.

Заключение. Методом «электронный нос» проведен комплексный анализ влияния рецептурных параметров и технологических режимов на формирование профиля летучих ароматических соединений в адыгейском сыре.

Определено относительное содержание групп летучих органических соединений в регулируемой газовой фазе (РГФ) над пробами по значимым сигналам сенсоров. Мягкий сыр содержит больше воды (19,12 %) и кислот (23,04 %), но меньше ароматических веществ (7,35 %).

В твердом сыре больше кетонов (19,64 %) и аминов (7,14; 7,74 %). Копченый сыр близок к твердому по альдегидам (20,10 %), но уступает по кетонам (16,18 %), аромат (8,33 %) выражен сильнее, а с добавлением пектинов и специй усиливается (10,40 %). Мягкий сыр в пектиновой оболочке имеет максимальные значения кислотности (23,20 %) и ароматические веществ (10,82 %), с добавлением специй растет количество кетонов (19,37 %), что в совокупности улучшает восприятие аромата.

Определены кинетические и максимальные «визуальные отпечатки» сигналов сенсоров опытных образцов. Установлено, что некоторые операции в технологии производства адыгейского сыра (копчение, сушка) и нанесение защитной съедобной пектиновой оболочки определяют базовый аромат.

Проведен расчет абсолютной и относительной разности площадей. Полученные данные демонстрируют уникальный «ароматический отпечаток» каждого образца, различия в аромате которых напрямую зависят от особенностей технологического процесса.

Обоснована роль пектинов как барьера, задерживающего высвобождение ключевых групп

ЛОС (кетонов, спиртов) и продлевающего сохранность аромата. Специи меняют аромат, добавляя пряные и ароматические ноты, которые могут как маскировать, так и дополнять исходный аромат сыра.

Авторы выражают особую благодарность ФГБОУ ВО «ВГУИТ» и ООО «СНТ» (г. Воронеж) за проведение лабораторных исследований.

Список источников

1. Lima C., Becker J., Steinbach J., et al. Understanding the sensory profile of cheese ripeness description by trained and untrained assessors // *Food Science and Technology*. 2022. Vol. 42, N 4. P. e9922. DOI: 10.1590/fst.09922.
2. Хатко З.Н., Кудайнетова С.К., Гашева М.А., и др. Исследование белкового и липидного состава мягких копченых сыров // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 12 (213). С. 179–186. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-179-186. EDN: CYSZTL.
3. Хатко З.Н., Кудайнетова С.К. Адыгейский сыр: уникальные свойства и новые возможности. Майкоп: ИП Магарин О.Г., 2023. 136 с. EDN: GZITDH.
4. Bertuzzi A., McSweeney P., Rea M., et al. Detection of Volatile Compounds of Cheese and Their Contribution to the Flavor Profile of Surface-Ripened Cheese // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2018. Vol. 17, N 2. P. 371–390.
5. Skarlatos L., Marinopoulou A., Petridis A., et al. Texture attributes of acid coagulated fresh cheeses as assessed by instrumental and sensory methods // *International Dairy Journal*. 2020. Vol. 114. Art. 104939. DOI: 10.1016/j.idairyj.2020.104939. EDN: PQNPHG.
6. Fujioka K. Comparison of Cheese Aroma Intensity Measured Using an Electronic Nose (E-Nose) Non-Destructively with the Aroma Intensity Scores of a Sensory Evaluation: A Pilot Study // *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol. 21, N 24. Art. 8368. DOI: 10.3390/s21248368. EDN: OGCHAX.
7. Wang J., Yang Z., Xu L., et al. Key aroma compounds identified in Cheddar cheese with different ripening times by aroma extract dilution analysis, odor activity value, aroma recombination, and omission // *Journal of dairy science*. 2020. Vol. 104, N 2. P. 1576–1590. DOI: 10.3168/jds.2020-18757.
8. Miguélez J., Martín I., Robledo J., et al. Effect of Artisanal Processing on Volatile Compounds and Sensory Characteristics of Traditional Soft-Ripened Cheeses Matured with Selected Lactic Acid Bacteria // *Foods*. 2025. Vol. 14, N 2. Art. 231. DOI: 10.3390/foods14020231.
9. Utku H., Yuceer Yo. Effect of heat treatment, plant coagulant, and starter culture on sensory characteristics and volatile compounds of goat cheese // *International Dairy Journal*. 2023. Vol. 140. Art. 105588. DOI: 10.1016/j.idairyj.2023.105588.
10. Andriot I., Septier C., Peltier C., et al. Influence of Cheese Composition on Aroma Content, Release, and Perception // *Molecules*. 2024. Vol. 29, N 14. Art. 3412. DOI: 10.3390/molecules29143412. EDN: HXCNDW.
11. Maslov Bandić L., Oštarić F., Vinceković M., et al. Biochemistry of aroma compounds in cheese // *Mljekarstvo*. 2023. Vol. 73. P. 211–224. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2023.0401. EDN: VEDOPZ.
12. Lee-Rangel H., Mendoza-Martínez G., De León-Martínez D., et al. Application of an Electronic Nose and HS-SPME/GC-MS to Determine Volatile Organic Compounds in Fresh Mexican Cheese // *Foods*. 2022. Vol. 11, N 13. Art. 1887. DOI: 10.3390/foods11131887.
13. Кобаев А.Ю., Мураховский И.А., Кучменко Т.А. Интенсификация обработки данных и получение новой информации по многомерным сигналам «электронного носа» // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020. Т. 82, № 1 (83). С. 247–251.

References

1. Lima C, Becker J, Steinbach J, et al. Understanding the sensory profile of cheese ripeness description by trained and untrained assessors. *Food Science and Technology*. 2022;42(4):e9922. DOI: 10.1590/fst.09922.

2. Hatko ZN, Kudajnetova SK, Gasheva MA, et al. Issledovanie belkovogo i lipidnogo sostava myagkih kopchenyh syrov. *Bulletin of KSAU*. 2024;12:179-186. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-179-186.
3. Hatko ZN, Kudajnetova SK. *Adygejskij syr: unikal'nye svoystva i novye vozmozhnosti*. Majkop: IP Magarin O.G.; 2023. 136 p.
4. Bertuzzi A, McSweeney P, Rea M, et al. Detection of Volatile Compounds of Cheese and Their Contribution to the Flavor Profile of Surface-Ripened Cheese. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2018;17(2):371-390.
5. Skarlatos L, Marinopoulou A, Petridis A, et al. Texture attributes of acid coagulated fresh cheeses as assessed by instrumental and sensory methods. *International Dairy Journal*. 2020;114:104939. DOI: 10.1016/j.idairyj.2020.104939. EDN: PQNPHG.
6. Fujioka K. Comparison of Cheese Aroma Intensity Measured Using an Electronic Nose (E-Nose) Non-Destructively with the Aroma Intensity Scores of a Sensory Evaluation: A Pilot Study. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2021;21(24):8368. DOI: 10.3390/s21248368. EDN: OGCHAX.
7. Wang J, Yang Z, Xu L, et al. Key aroma compounds identified in Cheddar cheese with different ripening times by aroma extract dilution analysis, odor activity value, aroma recombination, and omission. *Journal of dairy science*. 2020;104(2):1576-1590. DOI: 10.3168/jds.2020-18757.
8. Miguélez J, Martín I, Robledo J, et al. Effect of Artisanal Processing on Volatile Compounds and Sensory Characteristics of Traditional Soft-Ripened Cheeses Matured with Selected Lactic Acid Bacteria. *Foods*. 2025;14(2):231. DOI: 10.3390/foods14020231.
9. Uzkuç H, Yuceer Yo. Effect of heat treatment, plant coagulant, and starter culture on sensory characteristics and volatile compounds of goat cheese. *International Dairy Journal*. 2023;140:105588. DOI: 10.1016/j.idairyj.2023.105588.
10. Andriot I, Septier C, Peltier C, et al. Influence of Cheese Composition on Aroma Content, Release, and Perception. *Molecules*. 2024;29(14):3412. DOI: 10.3390/molecules29143412. EDN: HXCNDW.
11. Maslov Bandić L, Oštarić F, Vinceković M, et al. Biochemistry of aroma compounds in cheese. *Mljekarstvo*. 2023;73:211-224. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2023.0401. EDN: VEDOPZ.
12. Lee-Rangel H, Mendoza-Martínez G, De León-Martínez D, et al. Application of an Electronic Nose and HS-SPME/GC-MS to Determine Volatile Organic Compounds in Fresh Mexican Cheese. *Foods*. 2022;11(13):1887. DOI: 10.3390/foods11131887.
13. Kopaev AYU, Murahovskij IA, Kuchmenko TA. Intensifikaciya obrabotki dannyh i poluchenie novoj informacii po mnogomernym signalam "elektronnogo nosa". *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij*. 2020;82(1):247-251.

Статья принята к публикации 29.09.2025 / The article accepted for publication 29.09.2025.

Информация об авторах:

Зурет Нурбиевна Хатко, заведующая кафедрой технологии пищевых продуктов и организации питания, доктор технических наук

Руслан Умарханович Умарханов, доцент кафедры физической и аналитической химии, кандидат химических наук

Саида Каплановна Кудайнетова, младший научный сотрудник кафедры технологии пищевых продуктов и организации питания

Татьяна Анатольевна Белявцева, старший преподаватель кафедры технологии пищевых продуктов и организации питания

Information about the authors:

Zuret Nurbievna Khatko, Head of the Department of Food Technology and Catering, Doctor of Technical Sciences

Ruslan Umarkhanovich Umarkhanov, Associate Professor at the Department of Physical and Analytical Chemistry, Candidate of Chemical Sciences

Saida Kaplanovna Kudaynetova, Junior Researcher, Department of Food Technology and Catering

Tatiana Anatolyevna Belyavtseva, Senior Lecturer, Department of Food Technology and Catering