

УДК 543.068, 543.07, 543.68

## ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА ПУТИ К МАССОВОМУ ПОТРЕБИТЕЛЮ: РЕШЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

© 2025 г. В. В. Апяри<sup>a, \*</sup>, Ю. А. Золотов<sup>a, b</sup>, С. Г. Дмитриенко<sup>a</sup>,  
А. А. Фурлетов<sup>a</sup>, Т. И. Тихомирова<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет  
ГСП-1, Ленинские горы, 1, стр. 3, Москва, 119991 Россия

<sup>b</sup>Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН  
Ленинский просп., 31, Москва, 119991 Россия

\*E-mail: apyari@mail.ru

Поступила в редакцию 10.10.2024 г.

После доработки 29.10.2024г.

Принята к публикации 02.11.2024 г.

Одной из выраженных тенденций в современной аналитической химии является повышение доступности химического анализа для массового потребителя. К настоящему времени появилось большое число произведенных тест-наборов для полуколичественного анализа и ряд устройств для оценки соответствия отдельных параметров анализируемого объекта требуемым нормам. В обзоре систематизированы и обсуждены основные существующие сегодня решения в данной сфере, предложенные для анализа пищевых продуктов, и отражено современное состояние этой области. По мнению авторов, понятие доступности того или иного аксессуара в значительной степени определяется его представленностью на рынке и приемлемой для индивидуального покупателя стоимостью, поэтому в обзоре основной упор сделан на коммерциализированные аналитические средства стоимостью до 100 тыс. руб. Рассмотрены относительно недорогие и простые в использовании тест-средства, портативные электрохимические, спектроскопические, рефрактометрические, ультразвуковые системы, а также системы типа электронный нос для химического анализа, приведены их основные характеристики и ориентировочная стоимость. Высказаны предположения о перспективах дальнейшего развития доступных для массового потребителя средств химического анализа.

**Ключевые слова:** контроль качества пищевых продуктов, доступные аналитические приборы, тест-методы, миниатюризация химического анализа.

DOI: 10.31857/S0044450225030018 EDN: afbxus

Интенсивная урбанизация современного общества и связанное с этим повышение уровня жизни людей делают контроль качества пищевых продуктов одним из важнейших приложений химического анализа. В свою очередь это стимулирует разработку и развитие мощных методов лабораторного анализа, предназначенных для использования профессиональными аналитиками. Такой подход весьма эффективен для промышленности, но создает значительные трудности для массового потребителя в силу высокой стоимости, необходимости транспортировки проб в аналитическую лабораторию, значительного времени ее анализа, а главное — требует соответствующей квалификации. Все

это привело к развитию тенденции, направленной на повышение доступности химического анализа для людей, профессионально не связанных с аналитической химией. Классическим примером реализации этой тенденции являются тест-средства [1, 2], выпускаемые в виде простых и относительно недорогих наборов с подробной инструкцией по их использованию. Большинство тест-средств адаптировано для визуальной регистрации аналитического сигнала путем сравнения их показаний с эталонной шкалой (например, шкалой цветов или размеров окрашенной зоны) или учета числа и интенсивности возникающих цветовых зон (тест-полоски для иммунохроматографического анализа) [3]. Тем

не менее низкая достоверность визуального восприятия, негативно влияющая на правильность тест-определения, привела к развитию приборной базы для ее улучшения.

Главными особенностями устройств для интерпретации результатов тест-определения (ридеров) являются простота в использовании, мобильность, компактность и невысокая стоимость, обеспечивающие их успешную коммерциализацию. Помимо ридеров, современная промышленность выпускает автономные устройства для прямого химического анализа пищевых продуктов (равно как и иных объектов) [4]. В отличие от тест-систем, которые, как правило, предназначены для одноразового использования, устройства для прямого химического анализа при соответствующем обращении и, если нужно, калибровке можно использовать неоднократно. К таким устройствам относятся портативные спектрофотометры, рН-метры, ионометры, кондуктометры и рефрактометры. Как правило, они предназначены для контроля какого-то одного параметра, но есть примеры устройств, позволяющих одновременно измерять несколько показателей.

В настоящем обзоре систематизированы сведения о предлагаемых сегодня доступных системах для анализа пищевых продуктов, характеризующихся простотой использования, компактностью и относительно невысокой по сравнению с профессиональным аналитическим оборудованием стоимостью в пределах 100 тыс. руб.

### ТЕСТ-СРЕДСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Наиболее доступным и дешевым вариантом химического анализа следует считать анализ, проводимый без использования какого-либо аналитического измерительного оборудования, чему в значительной мере соответствуют тест-методы. К настоящему времени предложен достаточно большой спектр тест-средств для контроля качества пищевых продуктов. В большинстве случаев они представляют собой наборы для иммуноферментного анализа (ИФА), которые обладают высокой селективностью, достаточной для анализа таких сложных по составу объектов, как пищевые продукты, и в то же время отвечают условиям миниатюрности и простоты использования [5, 6]. Предлагаемые на рынке наборы, помимо тест-полосок, как правило, содержат необходимые одноразовые принадлежности для проведения ИФА (рис. 1), поэтому требуется минимум дополнительного оборудования для реализации всей процедуры анализа, которое не сложно найти в «домашних условиях».

Некоторые примеры доступных сегодня тест-систем для контроля качества



Рис. 1. Пример тест-набора для иммунохроматографического определения ГМО в пищевом сырье [7, 8].

и безопасности пищевых продуктов приведены в табл. 1. Важное место среди них занимают тест-средства для контроля содержания аллергенов. Так, фирма «ХЕМА» выпускает широкий набор тестов на содержание в пище приоритетных аллергенов, таких как глютен, соя, антигенов различных видов орехов, яиц, горчицы, ракообразных, рыбы, молока, сельдерея, чеснока, кунжута. Например, иммунохроматографический тест-набор «ХЕМАТест Глютен» основан на использовании пары моноклональных антител и позволяет определить один из основных компонентов глютена, глиадин, на уровне 1 мкг/г, что соответствует 2 мкг/г глютена. Данный тест пригоден также для определения секалина (проламина ржи) и отчасти гордеина (проламина ячменя). Определение возможно в том числе для образцов, подвергнутых длительной термической обработке. Комплект включает тест-полоски, флакон с буфером, пробирки для экстракции, пробирки для анализа и одноразовые пипетки, что позволяет анализировать как жидкие экстракты, так и твердые образцы. Типичная процедура проведения анализа включает выделение определяемого компонента с помощью буферного раствора при встряхивании в пробирке и выполнение ИФА с помощью иммунохроматографической полоски. Жидкие образцы (бульон, напитки, смывы, экстракты)

Таблица 1. Примеры тест-систем для контроля качества и безопасности пищевых продуктов и сырья

Измеряемый показатель	Название, производитель	Объекты анализа	Характеристики	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Литература
Глютен (глиадин)	ХЕМАТест Глютен, ХЕМА	Пищевые продукты, смывы и соскобы с поверхностей	$c_{\min}$ – 2 мкг/г (0.8 мкг/дм <sup>2</sup> в сухих соскобах), ДОС* – 2–2000 мкг/г, время определения – не более 10 мин	7 (20 шт.)	[9–11]
Овальбумин	ХЕМАТест Овальбумин, ХЕМА	Пищевые продукты, смывы с поверхностей	$c_{\min}$ – 0.006 мкг/г (0.1 мкг/г в пересчете на сырой белок), ДОС – 0.1–10 000 мкг/г, время определения – не более 10 мин	–	[12]
Овотрансферрин	ХЕМАТест Яйцо, ХЕМА	Пищевые продукты, смывы с поверхностей	$c_{\min}$ – 0.0013 мкг/г (0.1 мкг/г в пересчете на сырой белок), ДОС – 0.1–1000 мкг/г, время определения – не более 10 мин	5 (15 шт.)	[13, 14]
Белок ГМО (CP4 EPSPS)	CP4EPSPS (RR) LFS kit, Eurofins Technologies	Листья и зерна кукурузы и сои	$c_{\min}$ – 0.1 %, время определения – 10 мин	54 (100 шт.)	[15, 16]
Белок ГМО (CP4 EPSPS)	AgraStrip, Romer Labs	Соя, сахарная свекла	$c_{\min}$ – 0.1 %, время определения – не более 10 мин	47 (100 шт.)	[7, 8]
Казеин	SENSIStrip Casein, Gold Standard Diagnostics	Пищевые продукты, смывы с поверхностей	$c_{\min}$ – 0.5 мкг/г (0.03 мкг/мл в промывочной воде, 0.1 мкг/дм <sup>2</sup> в смывах с поверхностей), время определения – 8 мин	55 (20 шт.)	[17, 18]
Salmonella	Singlepath Salmonella, Merck	Пищевые продукты, объекты окружающей среды	$c_{\min}$ – 1–10 КОЕ/25 г, время определения – 20 мин	52 (25 шт.)	[19, 20]
Listeria monocytogenes	Singlepath L'mono, Merck	Пищевые продукты, объекты окружающей среды	$c_{\min}$ – 1 КОЕ/25 г, время определения – 20 мин	45 (25 шт.)	[21]
Campylobacter ( <i>C. jejuni</i> , <i>C. coli</i> )	Singlepath Campylobacter, Merck	Пищевые продукты	$c_{\min}$ – 1–10 КОЕ/25 г, время определения – 20 мин	33 (25 шт.)	[22]

\*ДОС – диапазон определяемых содержаний.

могут быть проанализированы непосредственно. Ограничением является вязкость образца и наличие в жидкости взвешенных частиц (в последнем случае необходима операция фильтрации или отстаивания). Анализ твердых образцов включает их предварительное измельчение. В целом процедура пробоподготовки занимает менее 1 мин, а определение — 5–10 мин. Результаты теста легко интерпретируются, однако нужно иметь в виду, что тест-полоски чувствительны к влаге, выполнять анализ нужно в течение не более 10 мин после извлечения полоски из герметичного пакетика, а результаты считывать не позднее 1 ч с момента проведения определения [9, 10]. Помимо анализа образцов пищевых продуктов, набор может быть использован для определения глютена в соскобах с поверхности, которые делают непосредственно при помощи тест-полоски. В этом случае предел обнаружения глютена составляет 0.8 мкг/дм<sup>2</sup> [9].

Другим типичным примером аллергена, содержание которого необходимо контролировать в ряде продуктов, является овальбумин — основной компонент яичного белка. Аллергия на этот белок входит в число самых распространенных пищевых аллергий, что делает особо актуальной разработку доступных массовому потребителю методов скрининга продуктов на содержание данного компонента. Та же компания “ХЕМА” выпускает тест-набор на овальбумин (“ХЕМА-Тест Овальбумин”). Тест способен обнаруживать куриный овальбумин на уровне 0.006 мкг/г (0.1 мкг/г в пересчете на сырой яичный белок), диапазон определяемых содержаний (ДОС) составляет 0.1–10 000 мкг/г. С сопоставимой чувствительностью может быть определен овальбумин перепелки. При этом не дает реакции овальбумин гусиного и страусиного яиц, а также яйца цесарки [12].

Помимо овальбумина, показателем наличия в пище белка куриного яйца является присутствие овотрансферрина (кональбумин, аллерген Gal d 3). “ХЕМАТест Яйцо” предназначен для экспрессного выявления этого аллергена [13].

Актуальным направлением является обнаружение в продуктах питания белка генно-модифицированных организмов (ГМО). Существуют тест-наборы, позволяющие детектировать его с хорошей чувствительностью. Так, Eurofins Technologies выпускает экспресс-наборы для выявления белка ГМО в сое, кукурузе и хлопке [15]. Процедура подготовки пробы к анализу включает размол образца, выделение белков дистиллированной водой, отстаивание и выполнение анализа методом ИФА. Время проведения самого измерения составляет 10 мин.

Наряду с наборами для обнаружения компонентов ГМО компания Eurofins Technologies производит широкий набор тестов для

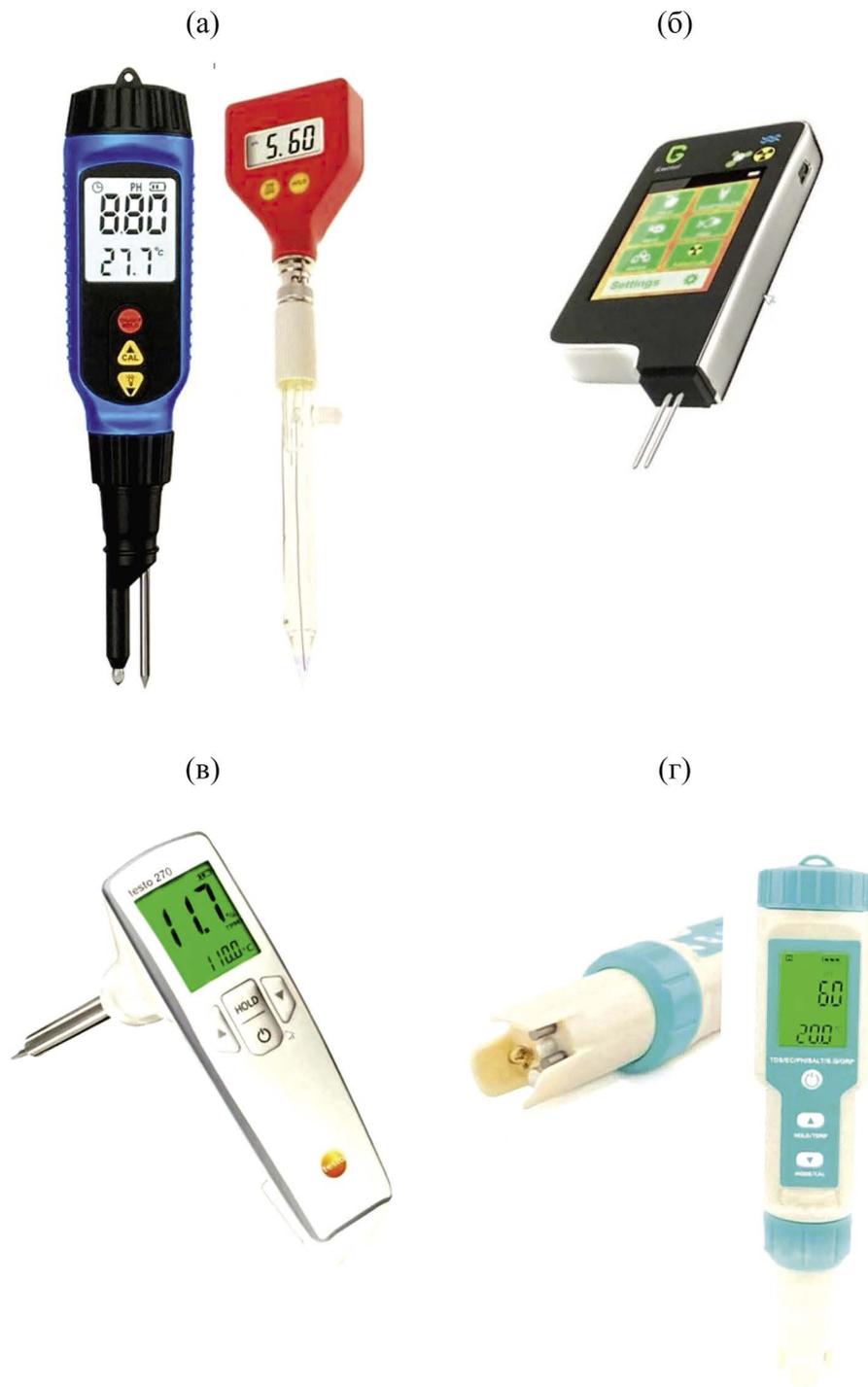
определения других показателей соответствия пищевых продуктов заданным требованиям: содержания аллергенов, витаминов, патогенов, вирусов, микотоксинов и ветеринарных препаратов [16]. Аналогичные описанным выше по целям тест-наборы выпускают и другие производители, например Romer Labs или Gold Standard Diagnostics [7, 8, 17, 18].

Важным направлением развития тест-методов для анализа пищевых продуктов является детектирование патогенов. Разработаны тест-системы для обнаружения болезнетворных микроорганизмов *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter* [19–25]. Также широк спектр коммерциализированных тест-наборов для определения фактов порчи и фальсификации пищевых продуктов (меда, молока, мяса, пищевых масел и др.), реализуемых по доступным ценам в диапазоне 3000–25 000 руб. [26]. Такие наборы, наряду с другими портативными системами химического анализа, выпускает, например, компания “Кри-смас+” [27, 28].

## ПОРТАТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ АНАЛИЗАТОРЫ

Электрохимические аналитические устройства являются классическим примером портативных анализаторов, широко используемых в том числе для контроля качества пищевых продуктов. Благодаря технической простоте и компактности они характеризуются невысокой стоимостью и широко распространены на рынке. Как правило, данные устройства измеряют один или несколько параметров. От лабораторных аналогов их отличает работа от автономных элементов питания и зачастую особая форма накопителя, оптимизированная для анализа полутвердых продуктов. На данный момент на рынке представлены в основном измерители pH и нитратометры. Примеры таких устройств продемонстрированы на рис. 2, а особенности и основные характеристики приведены в табл. 2.

В продаже имеется большое число классических pH-метров для измерения водородного показателя жидких сред. Как правило, они включают pH-селективный электрод относительно большого диаметра, соединенный с корпусом измерителя напрямую или с помощью гибкого провода. В силу хрупкости электродов многие из них не могут быть использованы для непосредственного измерения в случае полутвердых продуктов, поэтому одно из выраженных направлений разработок в этой области — упрощение и ускорение процедуры измерения путем оптимизации конструкции прибора (прежде всего электрода) для решения конкретных задач анализа с учетом агрегатного состояния, размеров и других особенностей анализируемого объекта.



**Рис. 2.** Примеры портативных электрохимических анализаторов пищевых продуктов: (а) рН-метры с проникающими электродами [29, 30], (б) нитратомер [31], (в) тестер масла для фритюра [32], (г) многопараметрический измеритель [33].

Так, устройства с проникающими электродами [29, 30, 42] лишены указанного выше недостатка и поэтому могут применяться для прямого измерения рН таких пищевых объектов, как мясо, овощи, фрукты, сыр и др. (рис. 2а). Благодаря высокой селективности такие устройства в сочетании с другими можно использовать для исследования стабильности продуктов в различных

условиях хранения и оценки степени их порчи [43]. Многие рН-метры обладают возможностью автоматической компенсации по температуре, что устраняет необходимость доведения анализируемых образцов до комнатной температуры, что, например, существенно упрощает анализ продуктов, хранящихся в холодильнике. Наряду с рН-метрами общего назначения известны

Таблица 2. Примеры электрохимических анализаторов пищевых продуктов и сырья

Измеряемый показатель	Модель, производитель	Описание	Характеристики	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Литература
pH	SmartSensor PH-818M, SmartSensor	pH-метр с проникающим pH и температурным датчиками для жидких и полутвердых пищевых продуктов (мяса, овощей, фруктов, джемов, паст, хлеба)	Диапазон измерения pH: 0.0–14.0; погрешность: $\pm 0.05$ ; диапазон измерения температуры раствора: 0–60°C; компенсация температуры: от 0 до 70°C; функция сигнализации при pH ниже 3.5 или выше 12.5; размер: 195 × 44 мм; масса (без батарей): 98 г	15	[29]
pH	PH-98108, Yigeyi	pH-метр с проникающим датчиком для сыра, мяса, фруктов, овощей и других продуктов	Диапазон измерения pH: 0.0–14.0; погрешность: $\pm 0.2$ (от 0 до +50°C), $\pm 0.1$ (при 20°C); компенсация температуры: от 0 до 50°C; размер: 175 × 51 × 25 мм; масса: 57 г	5	[30]
pH	HI981033, Hanna	pH тестер для вина, сула и сока с системой предотвращения засорения, пригодный для анализа образцов с высоким содержанием твердых веществ	Диапазон измерения pH: 0–14.0; погрешность: $\pm 0.2$ при 25°C; калибровка по 1 или 2 точкам; размер: 51 × 151 × 21 мм; масса: 44 г	21	[34]
pH	HI99161, Hanna	pH тестер для молока и молочных продуктов	Стекланный электрод/зонд FC202D с предварительным усилением сигнала и коническим наконечником; погрешность: $\pm 0.02$ ; компенсация температуры: от –5.0 до 105.0°C; размер: 152 × 58 × 30 мм; масса: 205 г	92	[35]
Нитраты (по электропроводности); TDS	Greentest, Anmezt Technology	Нитратометр для овощей, фруктов, мяса и рыбы с возможностью измерения жесткости воды и радиоактивности	Диапазон измерения: нитраты: 0–9999 мг/кг, TDS: 0–999 ppm; погрешность измерения: <10 %; время измерения: ~3 с; масса: 90 г	9–19	[31, 36]
Нитриты; нитраты	Нитриты: Микон-2 нитрит (мясные продукты), Эконикс Эксперт; нитраты: Микон-2 нитрат (растительная продукция), Эконикс Эксперт	Специализированный комплект для измерения содержания: нитритов в мясных продуктах; нитратов в овощной и растительной продукции, соках и др.	Диапазон измерений показателя активности ионов (pX): 1–7; погрешность измерения: $\pm 0.05$ –0.1; размер: 210 × 110 × 70 мм; масса: 950 г	54–64	[37, 38]

Таблица 2. Окончание

Измеряемый показатель	Модель, производитель	Описание	Характеристики	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Литература
ТРМ	testo270, Testo	Измеритель общего содержания полярных веществ в пищевом масле	Диапазон измерения ТРМ: 0.0–40.0 %; погрешность: $\pm 2$ %; температура измеряемого масла: 40–200°C; размер: 170 × 50 × 300 мм; масса: 255 г	78	[32]
ТРМ; AV	DOM-24, Atago	Измеритель общего содержания полярных веществ и кислотного числа пищевого масла	Диапазон измерения (погрешность): ТРМ: 0.5–40.0 % ( $\pm 2$ % в диапазоне 20–200°C), AV: 0.0–9.9 ( $\pm 0.2$ ); компенсация температуры: 0–22.5°C; размер: 490 × 22 × 22 мм; масса: 400 г	73	[39, 40]
pH; электропроводность; ОВП; TDS; соленость	Multi C-600, Yüeyü	Мульти-анализатор для измерения показателей воды	Диапазон измерения: pH: 0.0–14.0, электропроводность: 0–10, 10.01–19.9, 20.1–400 мСм/см, ОВП: от –999 до +999 мВ, TDS: 0–1000 ppm, 10.1–200.0 ppt (г/л), соленость: 0–20 ‰; плотность: 1.000–1.222; температура: от 0.0 до +60.0°C; компенсация температуры: от 0 до 60°C; масса: 85 г	7	[33]
Хлор; pH; TDS; электропроводность; ОВП	SmartTest, Yimmik	Мульти-анализатор плавающего типа для непрерывного измерения показателей воды с возможностью передачи данных на смартфон	Диапазон измерений: хлор: 0.1–4.0 мг/л, pH: 0.1–14.0, TDS: 0–9999 ppm, электропроводность: 0–20 мСм/см, ОВП: от –1200 до +1200 мВ; температура: от 0.1 до 80°C; компенсация по температуре: от 0.1 до 60°C; масса: 210 г	10	[41]

Обозначения: ОВП – окислительно-восстановительный потенциал; AV – кислотное число; TDS – общее количество растворенных твердых веществ; ТРМ – общее содержание полярных веществ.

примеры специализированных устройств для контроля качества продуктов определенного типа — винной, молочной продукции [34, 35] и др. Примеры электродов и устройств для определения кислотности молока и молочных продуктов, а также их характеристики систематизированы в работе [44].

Другим типом широко представленных электрохимических анализаторов с проникающими электродами, позволяющими проводить прямой анализ продуктов питания в домашних условиях, являются нитратомеры (рис. 26) [31, 36]. Как правило, принцип их работы основан на измерении электропроводности, поэтому, в отличие от рН-метров, селективность измерения нитратомерами не следует считать высокой и относиться к их результатам нужно с учетом этого аспекта. Тем не менее при условии выбора типа продуктов, для которого известны среднестатистические значения концентраций входящих в его состав солей, применение такого прибора позволяет быстро дискриминировать образцы, содержание солей в которых существенно превышает фоновые значения, что позволяет предположить повышенное содержание в них нитратов. Напротив, образцы, для которых сигнал остается на уровне фонового значения, не содержат избытка нитратов и поэтому с этой точки зрения могут считаться безопасными для употребления в пищу. Большим преимуществом подобных нитратометров, как и в случае рН-метров с проникающими электродами, является отсутствие пробоподготовки и практически неразрушающий анализ объекта, что укладывается в рамки указанной выше тенденции к упрощению и ускорению химического анализа.

Определение нитрита и нитрата с более высокой селективностью возможно с применением специализированных комплектов с ионоселективными электродами. В качестве примера можно привести анализаторы серии “Микон-2”, выпускаемые фирмой “Эконикс Эксперт”. Это недорогие профессиональные приборы, применимые для анализа овощной и растительной продукции, соков и мясных продуктов [37, 38, 45].

Наборы ионоселективных электродов в комплекте с иономером позволяют проводить быстрый анализ молока для установления таких его параметров, как количество соматических клеток (наличие маститного молока, по содержанию хлорид-ионов), кислотность, степень раскисления (фальсификация молока добавлением соды или аммиака, по содержанию ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  соответственно), термоустойчивость (по содержанию ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ) [46]. Стоимость подобного комплекта, выпускаемого НПП “Эконикс”, не превышает 100 тыс. руб.

Для контроля качества пищевого масла предложены измерители содержания в нем полярных

веществ (рис. 2в). Повышение содержания полярных веществ в масле свидетельствует о потере его качества. Тестеры изготавливают в виде устройств, снабженных погружным зондом, что удобно для проведения измерения непосредственно в емкости, например во фритюрнице, без пробоотбора. Принцип их работы в основном базируется на измерении диэлектрической проницаемости, осуществляемом с помощью пластинчатого конденсатора, емкость которого изменяется в зависимости от содержания в масле полярных компонентов. Результатом измерения является процентное содержание полярных компонентов в масле (total polar materials — ТРМ), к которым относят моно- и диглицериды, свободные жирные кислоты, а также продукты химических превращений, образующиеся в процессе жарки [32]. Существуют модели тестеров, измеряющие наряду с ТРМ кислотное число масла (acid value — AV, число миллиграммов гидроксида калия, требуемое для нейтрализации свободных жирных кислот в 1 г масла) [39]. Показания данных устройств могут быть использованы не только для контроля качества масла, но и для изучения особенностей его деградации при различных условиях в процессе приготовления пищи [47].

Помимо устройств для измерения преимущественно одной величины, в сфере разработки портативных электрохимических анализаторов можно отметить тенденцию к созданию мультипараметрических измерителей, позволяющих одновременно контролировать несколько параметров (рис. 2г). В типичный набор измеряемых показателей, как правило, входят рН, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность с возможностью получать данные об общем содержании в анализируемом объекте растворенных веществ и его солености [33]. Подобные устройства недороги и позволяют быстро проводить рутинные измерения показателей воды, в том числе питьевой. Широкое использование в современном обществе смартфонов как универсальной портативной платформы получения и анализа информации, стимулировало развитие приборной базы мультипараметрических измерителей с возможностью беспроводной передачи данных на смартфон. Разработаны соответствующие приложения, которые позволяют вести архив измерений и анализировать изменение параметров, выполнять настройки прибора, выгружать данные в Excel и другие редакторы, а также осуществлять прочие процедуры. В сочетании с измерителями плавающего типа, которые могут быть закреплены в определенном месте, такой подход дает возможность удобного дистанционного непрерывного мониторинга показателей, что существенно упрощает работу оператора.

## ПОРТАТИВНЫЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ И РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Портативное оборудование для спектроскопического анализа составляет существенную конкуренцию простым электрохимическим анализаторам в силу того, что последние имеют достаточно узкий набор измеряемых параметров, недостаточный для надежной оценки качества пищевых продуктов. Возможность проведения селективных аналитических реакций, сопровождающихся спектральными изменениями, позволяет расширить перечень измеряемых параметров, а хорошие аналитические характеристики спектрального оборудования – повысить

чувствительность и точность анализа. Характерным примером такого сочетания являются портативные устройства для регистрации сигнала тест-полосок (ридеры). Вариант такого устройства показан на рис. 3а. Стоимость ридеров сильно варьируется в зависимости от модели и производителя. Для наиболее доступных моделей она на текущий момент составляет 30–40 тыс. руб. [48, 54, 55].

Так же как и в случае электрохимических анализаторов, в области разработки спектроскопического оборудования существует тенденция к созданию приборов, пригодных для оценки нескольких параметров анализируемого образца. Например, компания Smartsensor производит



**Рис. 3.** Примеры портативных спектральных приборов и рефрактометров для анализа пищевых продуктов: (а) ридер тест-полосок на содержание антибиотиков в молоке [48], (б) многопараметрический измеритель для анализа вод [49], (в) рефрактометры для определения содержания спирта или сахара [50–52], (г) фотометры [53].

мультипараметровый прибор Smartsensor AR-8407 для измерения pH, растворенного кислорода, аммиачного азота и нитритов в водах (рис. 3б). Принцип функционирования прибора основан на регистрации спектрального отклика после взаимодействия аналитов с реактивами. Устройство имеет размеры  $17 \times 7 \times 3$  см, массу 200 г, а его стоимость на данный момент составляет около 40 тыс. руб. Оно снабжено также датчиком растворенного кислорода на гибком кабеле. В комплект поставки входят реагенты для проведения 80 измерений указанных выше показателей [49] (табл. 3).

Благодаря возможности проникновения излучения в объект анализа без изменения его состояния оправдано применение оптических методов для неразрушающего контроля качества пищевых продуктов. Большое распространение в рамках этой стратегии получили портативные рефрактометры (рис. 3в), которые можно использовать, например, для оценки содержания спирта (спиртометры) или сахаров в напитках и фруктах (brix-метры). Самым простым типом рефрактометров является их ручной вариант. Такие приборы изготавливаются без элементов питания и микросхем, измерение проводится только за счет искусственного или дневного света. Цифровые рефрактометры работают от элементов питания, а показатели отображаются на встроенном жидкокристаллическом экране. Они компактны, максимально просты в использовании и доступны по невысоким ценам на многих широко известных торговых платформах.

Существуют модели рефрактометров, работающие в ИК-диапазоне длин волн и позволяющие определять уровень сахаров во фруктах без пробоподготовки и без разрушения образца или нарушения его целостности. В качестве примера можно привести устройство Pal-Nikari 5 (Atago), позволяющее проводить измерение в яблоках в диапазоне Brix 10–18 % при контакте с образцом. Цвет яблока не влияет на результат измерения. Можно контролировать спелость плодов при сборе урожая непосредственно в саду, при таможенном контроле, перед продажей или покупкой [52]. Помимо данной модели в линейке серии Pal-Nikari представлены устройства для неинвазивного измерения показателя Brix в винограде (Brix 10–25 %), томатах черри (Brix 3–15 %), клубнике (Brix 4–21 %), персиках (Brix 8–20 %), грушах (Brix 10–16 %) и других плодах [58].

Наряду с возможностью определения содержания растворенных веществ в жидких средах, рефрактометры позволяют решать обратную задачу – определение влажности сухих пищевых продуктов, например сухофруктов [59]. Для проведения измерения сухофрукт разрезают

и кладут срезом на детектор. В варианте измерителей влажности рефрактометры характеризуются широким диапазоном измерения – от нескольких единиц до 100 %.

Большую роль в развитии базы компактных и недорогих спектроскопических систем сыграл метод фотометрии. К настоящему времени существует ряд портативных фотометрических анализаторов для определения содержания отдельных компонентов после проведения соответствующей аналитической реакции в растворе. Целый ряд устройств разработан, например, фирмой Hanna (рис. 3г) [53]. Портативные фотометры широкого профиля серии Эксперт-003 стоимостью от 70 тыс. руб. выпускает фирма “Эконикс Эксперт” [61]. Фотометры серии Эко-тест, производимые НПП “Эконикс”, позволяют с помощью предустановленных градуировок рассчитывать содержание более 15 нормируемых компонентов при анализе вод [62]. Спектроскопические системы этого типа характеризуются высокой чувствительностью и достаточной селективностью. Они с успехом используются в лабораторной практике. В качестве недостатков, препятствующих их широкому распространению для массового применения, вероятно, следует отметить необходимость пробоподготовки и проведения аналитической реакции, что требует определенных навыков экспериментальной работы.

## УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ

Интересным вариантом портативных устройств для анализа пищевых продуктов являются ультразвуковые анализаторы [63–67] (рис. 4). Такие устройства применяют для контроля качества молока. Принцип их действия основан на измерении скорости и степени затухания ультразвуковых колебаний в молоке при различных температурах. В конструкцию анализатора входят измерительная кювета с устройством термостатирования, измерения скорости, интенсивности ультразвуковых колебаний и насос для подачи в нее пробы. Анализаторы способны оперативно предоставлять информацию о таких параметрах молока, как массовая доля жира, белка, лактозы, минеральных солей, сухого обезжиренного молочного остатка, добавленной воды, калорийность и плотность (табл. 4). Производством подобных анализаторов занимаются предприятия “Сибагроприбор” и “Биомер”.

Схожий принцип может быть использован и для анализа других жидкостей, например алкогольной продукции. Так, анализатор спиртосодержащих напитков УЛИКОР Колос-2 предназначен для измерения массовой доли этилового спирта и общего экстракта (сухих

Таблица 3. Примеры спектроскопических и рефрактометрических приборов для анализа пищевых продуктов и сырья

Измеряемый показатель	Модель, производитель	Описание	Характеристики	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Литература
pH; растворенный кислород; аммиачный азот; нитриты	SmartSensor AR-8407, SmartSensor	Портативный многофункциональный тестер качества воды	Диапазон измерения: pH 3.5–11.0, растворенный кислород 0.0–30.0 мг/л, аммиачный азот 0.00–1.00 мг/л, нитриты 0.00–1.00 мг/л; температура: 0–50°C; автоматическая температурная компенсация от 0 до 60°C; размер: 169 × 70 × 30 мм; масса: 200 г	38	[49]
Этанол	SK-RF004, Bette-Blue	Ручной рефрактометр для измерения содержания этанола в алкогольных напитках	Диапазон измерения содержания этанола: 0–80 %; погрешность: ±1 %; автоматическая температурная компенсация от 10 до 30°C; размер: 205 × 75 × 55 мм	1	[56]
Этанол; сахара	LN-N25, Sinotester Biological	Ручной рефрактометр для измерения содержания этанола и сахара (Brix) в винодельческой продукции	Диапазон измерения (погрешность): этанол: 0–25 % (±0.2 %), сахара: 0–40 % по шкале Brix; размер: 160 × 40 × 40 мм	1	[57]
Сахара	ST335A, SmartSensor	Цифровой рефрактометр для измерения содержания сахара по шкале Brix	Диапазон измерения содержания сахара по шкале Brix: 0–35 %; погрешность: ±0.2 %; размер: 113 × 56 × 26 мм; масса: 108 г	4–10	[51]
Сахара	Pal-Nikai 5, Atago	Цифровой рефрактометр для неразрушающего контроля содержания сахара по шкале Brix	Диапазон измерения содержания сахара по шкале Brix: 10–18 %; погрешность: ±1 %; автоматическая температурная компенсация от 5 до 35°C; время измерения: 3 с; размер: 115 × 61 × 44 мм; масса: 120 г	89	[52, 58]

Таблица 3 Окончание

Измеряемый показатель	Модель, производитель	Описание	Характеристики	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Литература
Влажность	PAL-Dried Fruit Moisture, Atago	Цифровой рефрактометр для измерения содержания влаги в сухофрукте	Диапазон измерения влажности: 7–100 %; погрешность: $\pm 0.2$ %; автоматическая температурная компенсация от 10 до 100°C; размер: 109 × 55 × 31 мм; масса: 100 г	39	[59]
Хлор	HI 701, Hanna	Портативные колориметры для анализа растворов после обработки соответствующими спектрофотометрическими реагентами	Диапазон измерения (погрешность): хлор: 0.00–2.50 мг/л ( $\pm 0.03$ мг/л) марганец: 0.0–20.0 мг/л ( $\pm 0.2$ мг/л) фосфаты: 0.00–2.50 мг/л ( $\pm 0.04$ мг/л) железо: 0.00–5.00 мг/л ( $\pm 0.04$ мг/л) общая жесткость: 0–350 мг/л ( $\pm 6$ мг/л); размер: 82–86 × 61 × 38 мм; Масса: 64 г	15–22	[53]
Марганец	HI 709, Hanna				
Фосфаты	HI 713, Hanna				
Железо	HI 721, Hanna				
Общая жесткость	HI 735, Hanna				
Нитриты	HI 96707, Hanna	Портативные колориметры для анализа растворов после обработки соответствующими спектрофотометрическими реагентами	Диапазон измерения (погрешность): нитриты: 0.00–0.60 мг/л ( $\pm 0.02$ мг/л) аммоний: 0.00–9.99 мг/л ( $\pm 0.05$ мг/л) цинк: 0.00–3.00 мг/л ( $\pm 0.03$ мг/л) медь: 0.00–5.00 мг/л ( $\pm 0.02$ мг/л) жесткость: 0.00–4.70 мг/л ( $\pm 0.11$ мг/л), железо: 0.00–1.60 мг/л ( $\pm 0.01$ мг/л) железо: 0.00–1.60 мг/л ( $\pm 0.01$ мг/л), марганец: 0–0.300 мг/л ( $\pm 0.002$ мг/л); размер: 180–192 × 83–102 × 46–67 мм; масса: 290 г	41–44	[60]
Аммоний	HI 96715, Hanna				
Цинк	HI 96731, Hanna				
Медь	HI 96702, Hanna				
Общая жесткость, железо	HI 96741, Hanna				
Железо, марганец	HI 96742, Hanna				

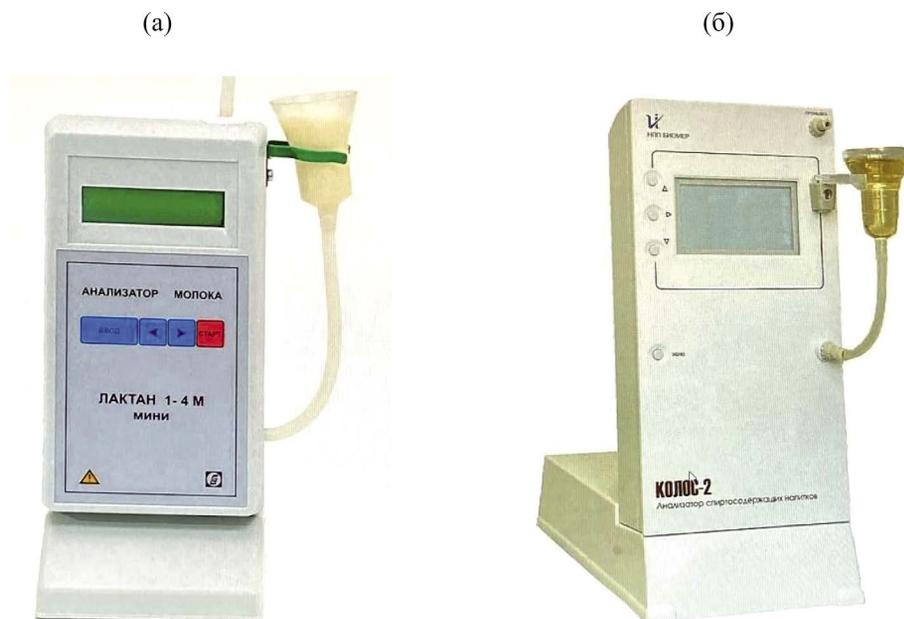


Рис. 4. Примеры ультразвуковых анализаторов: (а) молока [63] и (б) спиртосодержащих напитков [66, 67].

веществ, которые не улетучиваются при перегонке) в спиртосодержащих напитках алкогольной, слабоалкогольной продукции и водно-спиртовых растворах, а также экстрактивности начального суслу в пиве. В силу несложной процедуры проведения анализа, отсутствия необходимости в расходных материалах и вспомогательном оборудовании анализаторы указанного типа удобны для использования, в том числе в условиях малых предприятий и фермерских хозяйств.

#### СИСТЕМЫ ТИПА “ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС”

Системы типа “электронный нос” основаны на использовании наборов газочувствительных сенсоров, сигналы которых обрабатываются посредством встроенных хемометрических алгоритмов с целью построения “информационного образа” объекта анализа [68–70]. Применительно к задачам контроля качества продуктов питания такие устройства могут использоваться для оценки степени порчи пищи, в процессе которой в газовую фазу выделяются такие продукты разложения, как биогенные амины и сероводород. В настоящее время предложен ряд портативных систем типа “электронный нос” для анализа разных продуктов, например системы ЭНОС, PEN3, Cyranose 320. Их фотографии, характеристики и примеры использования приведены в работе [71]. Обзор подобных устройств для контроля качества пищевых продуктов дан в работе [72]. Системы хорошо зарекомендовали себя в лабораторных исследованиях. Однако высокая для массового потребителя стоимость большинства таких устройств на уровне

860–1090 тыс. руб. [73], обусловленная наличием в их конструкции набора высокотехнологичных сенсоров, контроллеров и специального автоматизированного пробоотборника для газов, сдерживает их широкое использование в быту.

На рынке представлена и недорогая система типа “электронный нос” для проверки качества сырого мяса и рыбы под названием Food Sniffer (рис. 5) [74], принцип работы которой основан на измерении в воздухе рядом с продуктом содержания летучих органических соединений. Устройство передает результаты измерения в специальное приложение для смартфона; его стоимость на текущий момент составляет около 12 тыс. руб. Для проведения измерения с помощью данного устройства следует выбрать тип мяса или рыбы, провести установку базовой линии путем измерения показателей воздуха вдалеке от анализируемого образца, после чего измерить показатели воздуха на расстоянии 1–2 см от него. Измерение занимает около 20 с. Результаты представляются в виде трех категорий: “свежее”, “для термической обработки”, “испорченное”. Для повышения правильности результатов анализа рекомендуется выдерживать продукт в закрытой емкости в течение 3 мин, после чего проводить измерение с помощью Food Sniffer в промежутке, который возникает, если приоткрыть крышку. Также можно использовать прилагаемую насадку, обеспечивающую создание газового промежутка путем плотного контакта прибора с продуктом [75]. Недавние исследования показали применимость “электронного носа” Food Sniffer для характеристики в режиме реального времени качества свинины [76] и семги [77].

Таблица 4. Примеры ультразвуковых анализаторов молока и других жидкостей

Измеряемый показатель	Модель, производитель	Описание	Характеристики	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Литература
Массовая доля: жира; сухих веществ; СОМО*; добавленной воды	Лактан 1-4М исп. МИНИ (ИНДИКАТОР), Сигапроприбор	Портативный анализатор качества цельного молока	Диапазон измерения (погрешность): жира: 0–10 % ( $\pm 0.05$ – $0.1$ %), сухих веществ: 7–20 % ( $\pm 0.4$ %), СОМО: 6–12 % ( $\pm 0.2$ %), добавленной воды: 0–100 % ( $\pm 1$ %); время анализа: 3 мин; размер: 240 × 150 × 110 мм; масса: 700 г	38	[63]
Массовая доля: жира; СОМО; белка; добавленной воды	Клевер-Мини, Биомер	Портативный анализатор качества цельного и консервированного молока	Диапазон измерения (погрешность): жира: 2–7 % ( $\pm 0.15$ %), СОМО: 3–15 % ( $\pm 0.2$ %), белка: 0.15–6 % ( $\pm 0.15$ %), добавленной воды: 3–70 %; время анализа: 2.5–3.5 мин; размер: 230 × 110 × 100 мм; масса: 1 кг	32	[64]
Массовая доля: жира; сухих веществ; белка; СОМО; лактозы; добавленной воды; минеральных солей; общий белок; калорийность	Лактан исп. 600 УЛЬТРА (расширенный), Сигапроприбор	Портативный анализатор качества цельного молока, а также молочной продукции (сливки, обрат, пастеризованное молоко, козье и др.)	Диапазон измерения (погрешность): жира: 0.1–10 % ( $\pm 0.13$ – $0.2$ %), сухих веществ: 7–20 % ( $\pm 0.4$ %), белка: 1.5–3.9 % ( $\pm 0.12$ %), СОМО: 6–12 % ( $\pm 0.2$ %), лактозы: 0–25 % ( $\pm 0.06$ %), добавленной воды: 0–100 % ( $\pm 1$ %), минеральных солей: 0–5 % ( $\pm 0.02$ %), общий белок: 2.2–4.4 %, калорийность: 0–135 кал; время анализа: 40–50 с; размер: 230 × 190 × 130 мм; масса: 2.2 кг	79	[65]
Массовая доля: спирта; общего экстракта	УЛИКОР Колос-2, Биомер	Портативный анализатор спиртосодержащих напитков (пиво, вино, настойки, водка, коньяк и др.)	Диапазон измерения (погрешность): спирта: 0.1–94 % ( $\pm 1$ %), общего экстракта: 0.5–25 % ( $\pm 4.5$ %); экстрактивность начального суслу (для Пива): 8–23 г/кг ( $\pm 3.5$ г/кг); время анализа: <5 мин; размер: 290 × 256 × 131 мм; масса: 1.2 кг	100	[66]

\*СОМО – сухой обезжиренный молочный остаток.



Рис. 5. Портативная система типа “электронный нос” для контроля качества мяса и рыбы [74].

\* \* \*

Обзор современного рынка портативных и доступных аналитических систем для анализа пищевых продуктов показывает, что это активно развивающаяся сфера индустрии, продукция которой реализуется большим числом поставщиков. Основные принципы функционирования подобных систем включают взаимодействие определяемых веществ с отдельными аналитическими реагентами или их наборами с последующей регистрацией сигнала визуально или спектрофотометрически, изменение таких электрохимических параметров, как потенциал ионоселективного электрода или электропроводность, в присутствии аналита, его влияние на показатель преломления объекта анализа и параметры взаимодействия с ультразвуковыми волнами. Часть перечисленных принципов обеспечивает хорошую селективность определения (тест-методы, особенно в варианте иммунохроматографии, потенциометрия). Однако весьма существенна доля малоселективных подходов (рефрактометрия, кондуктометрия, анализ с ультразвуком), обеспечивающих тем не менее приемлемую правильность результатов анализа отдельных объектов. Среди важных тенденций в обсуждаемой сфере можно назвать миниатюризацию соответствующего оборудования, обеспечение возможности неразрушающего контроля, многофункциональность и интегрированность с современными устройствами обработки данных, прежде всего со смартфоном.

Можно предположить, что указанные тенденции будут развиваться и в ближайшем будущем. В значительной степени, по мнению авторов, этому могут способствовать текущие исследования в области микрофлюидного анализа (“лаборатория на чипе”) [78–85] в сочетании с успехами в 3D-печати [86, 87], а также мультисенсорных устройств [69, 70, 88–90] и спектральных приборов, в том числе интегрированных в смартфоны, в сочетании с развитием методов математической обработки больших массивов данных [91–106].

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках госзадания (тема № АААА-А21-121011990021-7) и при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24-73-00061). Приведенные в статье материалы и их обсуждение отражают исключительно мнение авторов, не носят рекламного характера и не преследуют каких-либо коммерческих целей; работа не получала финансирования из иных источников, кроме указанных в данном разделе.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотов Ю.А., Иванов В.А., Амелин В.Г. Химические тест-методы анализа. М.: Едиториал УРСС, 2006. 304 с.
2. Внелабораторный химический анализ / Под ред. Ю.А. Золотова / Проблемы аналитической химии. Т. 13. М.: Наука, 2010. 564 с.
3. Моросанова Е.И. Тест-системы для химического анализа: характеристики и область использования // Методы оценки соответствия. 2012. № 1. С. 15.
4. Kapse S., Kausley S., Rai B. Portable food diagnostic devices and methods: A review // J. Food. Process Eng. 2022. V. 45. Article e14159. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14159>
5. Dzantiev B.B., Byzova N.A., Urusov A.E., Zherdev A.V. Immunochromatographic methods in food analysis // Trends Anal. Chem. 2014. V. 55. P. 81.
6. Berlina A.N., Zherdev A.V., Dzantiev B.B. ELISA and lateral flow immunoassay for the detection of food colorants: state of the art // Crit. Rev. Anal. Chem. 2019. V. 49. № 3. P. 209.
7. <https://kolba24.ru/product/gmo-soya/> (дата обращения 24.09.2024).
8. <https://www.romerlabs.com/en/shop/agrastrip-rur-bulk-grain-traitchek/> (дата обращения 24.09.2024).
9. <https://xematest.com/catalog/4/118> (дата обращения 24.09.2024).
10. [https://www.foodsafetysystems.ru/product/rapid-tests/allergens/XEMATest\\_Gluten/](https://www.foodsafetysystems.ru/product/rapid-tests/allergens/XEMATest_Gluten/) (дата обращения 24.09.2024).

11. *Первухина О.Е., Сергеева А.С., Крашенинина М.П., Студенок В.В., Машиков Е.С., Петухов П.А., Майгурова В.Н.* О разработке метрологического обеспечения идентификации и количественного определения содержания неинфекционных пищевых аллергенов белкового животного или растительного происхождения в пищевых продуктах // *Эталон. Стандартные образцы.* 2023. Т. 19. № 3. С. 145.
12. <https://xematest.com/catalog/4/95> (дата обращения 24.09.2024).
13. <https://xematest.com/catalog/4/6> (дата обращения 24.09.2024).
14. [https://www.foodsafetysystems.ru/product/rapid-tests/allergens/ХЕМАТЕst\\_Egg\\_Profi/#:~:text=%D0%A5%D0%95%D0%9C%D0%90Test%20%D0%AF%D0%B9%D1%86%D0%BE%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B8%20%E2%80%93%20%D1%8D%D1%82%D0%BE,%D1%81%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B4%D1%8B%20%D0%B8%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F](https://www.foodsafetysystems.ru/product/rapid-tests/allergens/ХЕМАТЕst_Egg_Profi/#:~:text=%D0%A5%D0%95%D0%9C%D0%90Test%20%D0%AF%D0%B9%D1%86%D0%BE%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B8%20%E2%80%93%20%D1%8D%D1%82%D0%BE,%D1%81%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B4%D1%8B%20%D0%B8%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F) (дата обращения 24.09.2024).
15. <https://kolba24.ru/product/cp4epsp/> (дата обращения 24.09.2024).
16. Eurofins Technologies. Diagnostic test kits. Catalogue 2021. Food, feed, animal health and environmental analysis. [https://cdnmedia.eurofins.com/apac/media/607990/eurofins\\_technologies\\_product\\_catalogue\\_2021.pdf](https://cdnmedia.eurofins.com/apac/media/607990/eurofins_technologies_product_catalogue_2021.pdf) (дата обращения 24.09.2024).
17. <https://www.goldstandarddiagnostics.com/sensistrip-casein.html> (дата обращения 24.09.2024).
18. <https://maxanim.com/allergens/sensistrip-casein/> (дата обращения 24.09.2024).
19. <https://www.foodsafetysystems.ru/product/rapid-tests/patogens/> (дата обращения 24.09.2024).
20. [https://www.merckmillipore.com/RU/ru/product/Singlepath-Salmonella,MDA\\_CHEM-104140?RefererURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.merckmillipore.com/RU/ru/product/Singlepath-Salmonella,MDA_CHEM-104140?RefererURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F) (дата обращения 24.09.2024).
21. <https://mibio.ru/contents.php?id=666> (дата обращения 24.09.2024).
22. <https://mibio.ru/contents.php?id=160> (дата обращения 24.09.2024).
23. *Соколов Д.М., Кашинцев И.В., Соколов М.С.* Экспресс-тесты Singlepath® для анализа патогенных микроорганизмов в пищевых продуктах и сырье // *Мясная индустрия.* 2010. № 12. С. 50.
24. *Соколов Д.М., Соколов М.С.* Экспресс-тесты Singlepath® и Duopath® для выявления патогенных микроорганизмов и токсинов в пищевых продуктах // *Молочная промышленность.* 2015. № 1. С. 51.
25. *Абдуллаева А.М., Смирнова И.Р., Трохимец Е.В., Губанкова А.А.* Микробиологический контроль полуфабрикатов из мяса индеек при холодильном хранении // *Ветеринария.* 2017. № 8. С. 49.
26. [https://shop.christmas-plus.ru/catalog/test\\_komplekty\\_dlya\\_sanitarno\\_pishchevogo\\_analiza/](https://shop.christmas-plus.ru/catalog/test_komplekty_dlya_sanitarno_pishchevogo_analiza/) (дата обращения 24.09.2024).
27. *Муравьев А., Жохов С.* Продукция компании “Крисмас+” – портативные системы для химических экспресс-анализов // *Аналитика.* 2015. № 5. С. 74.
28. *Муравьев А.Г., Кузьмин М.А.* Технологии и оборудование компании “Крисмас+”: готовые решения для химического анализа // *Аналитика.* 2019. Т. 9. № 2. С. 150.
29. [https://www.ecounit.ru/goods\\_5843.html](https://www.ecounit.ru/goods_5843.html) (дата обращения 24.09.2024).
30. [https://www.ecounit.ru/goods\\_5823.html](https://www.ecounit.ru/goods_5823.html) (дата обращения 24.09.2024).
31. <https://greentest.bg/en/> (дата обращения 24.09.2024).
32. <https://testoshop.ru/produktsiya/ph-i-tpm/pribory-dlya-izmerenij-ph-i-tpm/tester-masladya-frityura-testo-270> (дата обращения 24.09.2024).
33. [https://www.ecounit.ru/goods\\_5649.html](https://www.ecounit.ru/goods_5649.html) (дата обращения 24.09.2024).
34. [https://www.ecounit.ru/goods\\_5710.html](https://www.ecounit.ru/goods_5710.html) (дата обращения 24.09.2024).
35. [https://www.ecounit.ru/goods\\_4270.html](https://www.ecounit.ru/goods_4270.html) (дата обращения 24.09.2024).
36. [https://static-ru.insales.ru/files/1/4817/6763217/original/Nitratomer\\_greentest\\_manual.pdf](https://static-ru.insales.ru/files/1/4817/6763217/original/Nitratomer_greentest_manual.pdf) (дата обращения 24.09.2024).
37. <https://ionomer.ru/pribory/spetsializirovannye-komplekty-mikon-2/spetsializirovannye-komplekty-dlya-analiza-nitratov-nitritov-ftoridov.html> (дата обращения 24.09.2024).
38. <https://a3-eng.com/proizvoditeli/ekoniks-ekspert.html> (дата обращения 24.09.2024).
39. <https://atago-russia.com/products/dom-24> (дата обращения 24.09.2024).
40. <https://kolba24.ru/product/dom-24/> (дата обращения 24.09.2024).
41. [https://www.ecounit.ru/goods\\_5858.html](https://www.ecounit.ru/goods_5858.html) (дата обращения 24.09.2024).
42. [https://www.nv-lab.ru/catalog\\_info.php?ID=5727](https://www.nv-lab.ru/catalog_info.php?ID=5727) (дата обращения 24.09.2024).
43. *Nastiti P.W., Bintoro N., Karyadi J.N.W., Rahayoe S., Saputro A.D.* Apparatus development for detecting the freshness of chicken meat using TCS 3200, PH-98108, and MOS gas sensors // *Food Res.* 2023. V. 7. № 2. P. 280.
44. *Шабшаевич М.Л.* Определение кислотности молока и молочных продуктов // *Молочная промышленность.* 2009. № 1. С. 58.
45. *Байкова О.И., Радугина О.Г., Петренко Д.Б., Васильев Н.В.* Оценка содержания нитрат-иона в овощах и фруктах, реализуемых на территории

- г. Подольска (Московская область) // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер.: естеств. науки. 2019. № 4. С. 120.
46. [https://econix.com/catalog/oborudovanie\\_dlya\\_pishchevyh\\_laboratoriy-65/analizator\\_moloka\\_molokoekotest-6377](https://econix.com/catalog/oborudovanie_dlya_pishchevyh_laboratoriy-65/analizator_moloka_molokoekotest-6377) (дата обращения 24.09.2024).
47. *Mohammadian Fazli M., Zanganeh H., Hassanzadazar H.* Effect of heating on disposal point of main edible oils available in Iran market // *Food Science and Nutrition*. 2022. V. 10 № 12. P. 4394.
48. [https://dez-optima.ru/catalog/instrumenty\\_dlya\\_kontrolya\\_kachestva/ekspres\\_testy\\_na\\_antibiotiki\\_v\\_moloce/schityvayushchie\\_ustroystva/](https://dez-optima.ru/catalog/instrumenty_dlya_kontrolya_kachestva/ekspres_testy_na_antibiotiki_v_moloce/schityvayushchie_ustroystva/) (дата обращения 11.09.2024).
49. [https://www.ecounit.ru/goods\\_6160.html](https://www.ecounit.ru/goods_6160.html) (дата обращения 24.09.2024).
50. [https://www.gnat-nn.ru/product/refraktometr-ats40-0-40-sahar-0-25-potentsspir?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fproducts%2Fsearch%3Ftext%3D%25D1%2580%25D1%2583%25D1%2587%25D0%25BD%25D0%25BE%25D0%25B9%2520%25D1%2580%25D0%25B5%25D1%2584%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25BA%25D1%2582%25D0%25BE%25D0%25B-C%25D0%25B5%25D1%2582%25D1%2580%2520%25D0%25BA%25D1%2583%25D0%25BF%25D0%25B8%25D1%2582%25D1%258C&variant\\_id=656818908](https://www.gnat-nn.ru/product/refraktometr-ats40-0-40-sahar-0-25-potentsspir?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fproducts%2Fsearch%3Ftext%3D%25D1%2580%25D1%2583%25D1%2587%25D0%25BD%25D0%25BE%25D0%25B9%2520%25D1%2580%25D0%25B5%25D1%2584%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25BA%25D1%2582%25D0%25BE%25D0%25B-C%25D0%25B5%25D1%2582%25D1%2580%2520%25D0%25BA%25D1%2583%25D0%25BF%25D0%25B8%25D1%2582%25D1%258C&variant_id=656818908) (дата обращения 24.09.2024).
51. [https://www.ozon.ru/product/tsifrovoy-refraktometr-briks-metr-metr-sahara-st335a-0-35-1163162731/?advert=mPAPGwNYHNOZJt3Z9h\\_LZlOKhYV73GMRMQDR56QaxRIxReac82pQXxMtuVhCJXq-IpXbxnw\\_0GHz5PIGLR Ji6LxvsewNi0VYZTXjpSTW1TsHt8aVyz8uht2gw1xJMYAcyIi03uTqGGP9ZNbZzJGTO3EuG-1lrG6e8h21TF-Dey6SEXk98AFWJuO-jqNkxWScUbU6XyPfl2aP5dsezXIYsJvWnsvaH0X5lOaY3Q6OTzmPJ4Uvs35XV7NAdtUBlwmRIoeZZsObBVyc2RKTCL\\_Xd3CGZ7Gpnhn6q0YJU1Ss-kBacSPFхерWS2il71Xhds2L2Vu-IdRxSmFE5pgzKvYi-Kereik5N\\_YrEbxEfi623kiQ2CgbzoxivgdFHQSOPTXPPiQ&avtc=1&avte=2&avts=1726142977&keywords=%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9+%D1%80%D0%B5%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80](https://www.ozon.ru/product/tsifrovoy-refraktometr-briks-metr-metr-sahara-st335a-0-35-1163162731/?advert=mPAPGwNYHNOZJt3Z9h_LZlOKhYV73GMRMQDR56QaxRIxReac82pQXxMtuVhCJXq-IpXbxnw_0GHz5PIGLR Ji6LxvsewNi0VYZTXjpSTW1TsHt8aVyz8uht2gw1xJMYAcyIi03uTqGGP9ZNbZzJGTO3EuG-1lrG6e8h21TF-Dey6SEXk98AFWJuO-jqNkxWScUbU6XyPfl2aP5dsezXIYsJvWnsvaH0X5lOaY3Q6OTzmPJ4Uvs35XV7NAdtUBlwmRIoeZZsObBVyc2RKTCL_Xd3CGZ7Gpnhn6q0YJU1Ss-kBacSPFхерWS2il71Xhds2L2Vu-IdRxSmFE5pgzKvYi-Kereik5N_YrEbxEfi623kiQ2CgbzoxivgdFHQSOPTXPPiQ&avtc=1&avte=2&avts=1726142977&keywords=%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9+%D1%80%D0%B5%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80) (дата обращения 24.09.2024).
52. <https://atago.nt-rt.ru/price/product/97268> (дата обращения 24.09.2024).
53. <https://hannainst.info/catalog/photometers/portable/> (дата обращения 24.09.2024).
54. <https://kolba24.ru/product/comet8/> (дата обращения 24.09.2024).
55. <https://agrovse.ru/catalog/zhivotnovodstvo/analiz-moloka/inkubatory-dlya-test-polosok/schityvayushchee-ustroystvo-dlya-test-polosok-bmz6000/> (дата обращения 24.09.2024).
56. <https://toponemeter.en.made-in-china.com/product/TOXtZzslSyYK/China-Hand-Held-Alcoholometer-Atc-0-80-Liquor-Whisky-Alcohol-Tester-Refractometers-Meter.html> (дата обращения 24.09.2024).
57. <https://sinotester.en.made-in-china.com/product/iSbxvuWjXLpU/China-Grape-0-25-Vol-0-40-Twisting-Knob-Alcohol-Wine-Brix-Refractometer.html> (дата обращения 24.09.2024).
58. <https://atago.nt-rt.ru/price/catalog/97235> (дата обращения 24.09.2024).
59. <https://atago.nt-rt.ru/price/product/97169> (дата обращения 24.09.2024).
60. <https://pribori24.ru/hanna-instruments/> (дата обращения 24.09.2024).
61. <https://ionomer.ru/pribory/fotometry.html> (дата обращения 24.09.2024).
62. [https://econix.com/catalog/fotometry\\_ekotest-16/](https://econix.com/catalog/fotometry_ekotest-16/) (дата обращения 24.09.2024).
63. [https://sibagropribor.ru/catalog/milk\\_analyzer/laktan-mini/#tab1](https://sibagropribor.ru/catalog/milk_analyzer/laktan-mini/#tab1) (дата обращения 24.09.2024).
64. <https://biomer.ru/production/klever-mini/> (дата обращения 24.09.2024).
65. [https://sibagropribor.ru/catalog/milk\\_analyzer/analizator\\_kachestva\\_moloka\\_laktan\\_isp\\_600\\_ultra\\_rasshirenyu/#tab2](https://sibagropribor.ru/catalog/milk_analyzer/analizator_kachestva_moloka_laktan_isp_600_ultra_rasshirenyu/#tab2) (дата обращения 24.09.2024).
66. <https://biomer.ru/production/ulikor-kolos-2/> (дата обращения 24.09.2024).
67. <https://kolba24.ru/product/kolos-2/> (дата обращения 24.09.2024).
68. *Rabehi A., Helal H., Zappa D., Comini E.* Advances and prospects of electronic nose in various applications: a comprehensive review // *Appl. Sci*. 2024. V. 14. № 11. Article 4506. <https://doi.org/10.3390/app14114506>
69. *Кучменко Т.А.* Объективная оценка запаха: химические пьезосенсоры в анализе пищевых объектов. Часть 1 // *Контроль качества продукции*. 2019. № 2. С. 53.
70. *Кучменко Т.А.* Химические пьезосенсоры в анализе пищевых объектов // *Контроль качества продукции*. 2019. № 3. С. 25.
71. *Кечкина Н.И., Попов А.А., Баранова Д.И., Ловдар Ю.А., Кулигина Н.О., Токарев С.В., Наумова Е.Г., Зубков И.Л., Бессонов С.Г., Орлов Е.С.* Обзор применения современных систем типа “электронный нос” для анализа качества пищевых продуктов // *Современные наукоемкие технологии*. 2015. № 2. С. 77.
72. *Loufi A., Coradeschi S., Mani G.K., Shankar P., Rayappan J.B.B.* Electronic noses for food quality: A review // *J. Food Eng.* 2015. V. 144. P. 103.
73. *Doty A.C., Wilson A.D., Forse L.B., Risch T.S.* Assessment of the portable C-320 electronic nose for discrimination of nine insectivorous bat species: implications for monitoring white-nose syndrome // *Biosensors*. 2020. V. 10. № 2. Article 12. <https://doi.org/10.3390/bios10020012>

74. <https://www.myfoodsniffer.com/> (дата обращения 24.09.2024).
75. <https://www.myfoodsniffer.com/manual-web.pdf> (дата обращения 24.09.2024).
76. *Ramírez H.L., Soriano A., Gómez S., Iranzo J.U., Briones A.I.* Evaluation of the Food Sniffer electronic nose for assessing the shelf life of fresh pork meat compared to physicochemical measurements of meat quality // *Eur. Food Res. Technol.* 2018. V. 244. P. 1047.
77. *Castrica M., Chiesa L.M., Nobile M., De Battisti F., Siletti E., Pessina D. et al.* Rapid safety and quality control during fishshelf-life by using a portable device // *J. Sci. Food Agric.* 2021. V. 101. 315.
78. *Золотов Ю.А., Беленький Б.Г., Комяк Н.И., Курочкин В.Е., Евстратов А.А.* Микрофлюидные системы для химического анализа. М.: Физматлит, 2011. 528 с.
79. *Дудко В.С., Проскурнин М.А.* Российские исследования микрофлюидных систем для химического анализа // *Журн. аналит. химии.* 2011. Т. 66. № 11. С. 1150. (*Dudko V.S., Proskurnin M.A.* Russian studies on microfluidic systems for chemical analysis // *J. Anal. Chem.* 2011. V. 66. P. 1035.)
80. *Felix F.S., Vaccaro A.L.B., Angnes L.* Disposable voltammetric immunosensors integrated with microfluidic platforms for biomedical, agricultural and food analyses: a review // *Sensors.* 2018. V. 18. № 12. P. 4124/1.
81. *Dutse S.W., Yusof N.A.* Microfluidics-based lab-on-chip systems in DNA-based biosensing: An overview // *Sensors.* 2011. V. 11. № 6. P. 5754.
82. *Romao V.C., Martins S.A.M., Germano J., Cardoso F.A., Cardoso S., Freitas P.P.* Lab-on-chip devices: gaining ground losing size // *ACS Nano.* 2017. V. 11. № 11. P. 10659.
83. *Atalay Y.T., Vermeir S., Witters D., Vergauwe N., Verbruggen B., Verboven P. et al.* Microfluidic analytical systems for food analysis // *Trends Food Sci. Technol.* 2011. V. 22. № 7. P. 386.
84. *Jin Y., Dou M., Zhuo S., Li Q., Wang F., Li J.* Advances in microfluidic analysis of residual antibiotics in food // *Food Control.* 2022. V. 136. Article 108885. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108885>
85. *Al Mughairy B., Al-Lawati H.A.J.* Recent analytical advancements in microfluidics using chemiluminescence detection systems for food analysis // *Trends Anal. Chem.* 2020. V. 124. Article 115802. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115802>
86. *Zhang Y., Ge S., Yu J.* Chemical and biochemical analysis on lab-on-a-chip devices fabricated using three-dimensional printing // *Trends Anal. Chem.* 2016. V. 85. P. 166.
87. *dos Santos D.M., Cardoso R.M., Migliorini F.L., Facure M.H.M., Mercante L.A., Mattoso L.H.C., Correa D.S.* Advances in 3D printed sensors for food analysis // *Trends Anal. Chem.* 2022. V. 154. Article 116672. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116672>
88. *Власов Ю.Г., Ермоленко Ю.Е., Легин А.В., Рудницкая А.М., Колодников В.В.* Химические сенсоры и их системы // *Журн. аналит. химии.* 2010. Т. 65. № 9. С. 900. (*Vlasov Y.G., Ermolenko Y.E., Legin A.V., Rudnitskaya A.M., Kolodnikov V.V.* Chemical sensors and their systems // *J. Anal. Chem.* 2010. V. 65. P. 880.)
89. *Кулапина Е.Г., Макарова Н.М.* Потенциометрические сенсоры на основе различных активных компонентов для мультисенсорного определения анионных и неионных поверхностно-активных веществ // *Журн. аналит. химии.* 2022. Т. 77. № 2. С. 150. (*Kulapina E.G., Makarova N.M.* Potentiometric sensors based on various active components for the multisensor determination of anionic and nonionic surfactants // *J. Anal. Chem.* 2022. V. 77. P. 173.)
90. *Parastar H., Kirsanov D.* Analytical figures of merit for multisensor arrays // *ACS Sensors.* 2020. V. 5. № 2. P. 580.
91. *Saveliev M., Panchuk V., Kirsanov D.* Math is greener than chemistry: Assessing green chemistry impact of chemometrics // *Trends Anal. Chem.* 2024. V. 172. Article 117556. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117556>
92. *Вершинин В.И.* Хемометрика в работах российских аналитиков // *Журн. аналит. химии.* 2011. Т. 66. № 11. С. 1124. (*Vershinin V.I.* Chemometrics in the works of Russian analysts // *J. Anal. Chem.* 2011. V. 66. P. 1010.)
93. *Мильман Б.Л., Журкович И.К.* Большие данные в современном химическом анализе // *Журн. аналит. химии.* 2020. Т. 75. № 4. С. 316. (*Milman B.L., Zhurkovich I.K.* Big data in modern chemical analysis // *J. Anal. Chem.* 2020. V. 75. P. 443.)
94. *Szymańska E.* Modern data science for analytical chemical data – A comprehensive review // *Anal. Chim. Acta.* 2018. V. 1028. P. 1.
95. *Rukosueva E.A., Belikova V.A., Krylov I.N., Orekhov V.S., Skorobogatov E.V., Garmash A.V., Beklemishchev M.K.* Evaluation of discrimination performance in case for multiple non-discriminated samples: classification of honeys by fluorescent fingerprinting // *Sensors.* 2020. V. 20. № 18. Article 5351. <https://doi.org/10.3390/s20185351>
96. *Амелин В.Г., Емельянов О.Э., Третьяков А.В., Киш Л.К.* Идентификация и установление фальсификации сливочного масла методами цветиметрии и ближней ИК-спектроскопии // *Журн. прикл. спектроскопии.* 2024. Т. 91. № 4. С. 593. (*Amelin V.G., Emelyanov O.E., Tretyakov A.V., Kish L.K.* Identification and detection of adulterated butter by colorimetry and near-IR-spectroscopy // *J. Appl. Spectrosc.* 2024. V. 91. P. 826.)
97. *Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Третьяков А.В.* Анализ молочной продукции: определение массовой доли молочного жира и выявление фальсификации смартфоном с приложением Photometrix PRO® // *Журн. аналит. химии.* 2024. Т. 79. № 2.

- C. 181. (Amelin V.G., Shogah Z.A., Tretyakov A.V. Analyzing dairy products: measuring milk fat mass fraction and detecting adulteration using the PhotoMetrix Pro® smartphone app // J. Anal. Chem. 2024. V. 79. P. 50.)
98. Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Третьяков А.В. Идентификация и аутентификация молока с использованием цифровой цветометрии индикаторных тест-систем, смартфона и хемометрического анализа // Журн. аналит. химии. 2023. Т. 78. № 1. С. 24. (Amelin V.G., Shogah Z.A., Bol'shakov, D.S., Tre't'yakov A.V. Identification and authentication of milk using digital colorimetry of indicator test systems, smartphone, and chemometric analysis // J. Anal. Chem. 2023. V. 78. P. 35.)
99. Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Третьяков А.В. Идентификация и аутентификация растительных масел методом цифровой цветометрии и хемометрического анализа // Заводск. лаборатория. 2023. Т. 89. № 2-1. С. 5.
100. Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С. Идентификация и аутентификация сухого коровьего молока с использованием смартфона и хемометрического анализа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2023. Т. 64. № 1. С. 49. (Amelin V.G., Shogah Z.A., Bolshakov D.S. Identification and authentication of cow milk powder using a smartphone and chemometric analysis // Moscow Univ. Chem. Bull. 2022. V. 77. (Suppl 1). P. S36)
101. Ding H., Xie Z., Wang C., Yu W., Cui X., Wang Z. Applications of big data and blockchain technology in food testing and their exploration on educational reform // Foods. 2024. V. 13. № 21. Article 3391. <https://doi.org/10.3390/foods13213391>
102. Rateni G., Dario P., Cavallo F. Smartphone-based food diagnostic technologies: A review // Sensors. 2017. V. 17. № 6. Article 1453. <https://doi.org/10.3390/s17061453>
103. Nelis J.L.D., Tsagkaris A.S., Dillon M.J., Hajslova J., Elliott C.T. Smartphone-based optical assays in the food safety field // Trends Anal. Chem. 2020. V. 129. Article 115934. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115934>
104. Basile T., Mallardi D., Cardone M.F. Spectroscopy, a tool for the non-destructive sensory analysis of plant-based foods and beverages: a comprehensive review // Chemosensors. 2023. V. 11. Article 579. <https://doi.org/10.3390/chemosensors11120579>
105. Ma J., Sun D.-W., Pu H., Cheng J.-H., Wei Q. Advanced techniques for hyperspectral imaging in the food industry: principles and recent applications // Annu. Rev. Food Sci. Technol. 2019. V. 10. P. 197.
106. Guo M., Wang K., Lin H., Wang L., Cao L., Sui J. Spectral data fusion in nondestructive detection of food products: Strategies, recent applications, and future perspectives // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2024. V. 23. № 1. Article e13301. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13301>

## CHEMICAL ANALYSIS ON THE WAY TO A CONSUMER: SOLUTIONS FOR FOOD QUALITY CONTROL

V. V. Apyari<sup>a,\*</sup>, Yu. A. Zolotov<sup>a,b</sup>, S. G. Dmitrienko<sup>a</sup>, A. A. Furletov<sup>a</sup>, T. I. Tikhomirova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Lomonosov Moscow State University, Chemistry Department, Moscow, Russia

<sup>b</sup>Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the RAS, Moscow, Russia

\*E-mail: apyari@mail.ru

**Abstract.** One of the pronounced trends in modern analytical chemistry is increasing availability of chemical analysis for mass consumers. By now, a large number of produced test kits for semi-quantitative analysis and a number of devices for evaluation of compliance of individual parameters of the analyzed object with the required standards have appeared. The review systematizes and discusses the main existing solutions in this field today, proposed for food analysis, and reflects the current state of the art in this area. According to the authors opinion, the concept of accessibility of this or that accessory is largely determined by its availability on the market and its acceptable cost for an individual buyer, so the review focuses on commercialized analytical tools costing mainly up to 100 thousand rubles. Relatively inexpensive and easy-to-use test tools, portable electrochemical, spectroscopic, refractometric, ultrasonic systems, as well as electronic nose type systems for chemical analysis are considered, their main characteristics and approximate cost are given. Suggestions are made about the prospects of further development of chemical analysis instruments available for mass consumers.

**Keywords:** food quality control, affordable analytical instruments, test methods, miniaturization of chemical analysis.