

УДК 543.07+543.929

**ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА
ГОРЬКОСТИ ПРЕПАРАТОВ КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ МЕДИЦИНЫ**

И.С. Ярошенко^{a, b}, Д.О. Кирсанов^{a, b}, А.В. Легин^{a, b}, П. Ванг^c, Д. Ха^c, Х. Ван^c, Х. Ван^d, Ю. Хе^d

^a Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, irina.s.yaroshenko@gmail.com

^b Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

^c Университет Чжэцзян, Ханчжоу, Китай

^d Китайский медицинский Университет Чжэцзян, Ханчжоу, Китай

Аннотация. Представлено исследование препаратов на основе лекарственных растений, используемых в традиционной китайской медицине для лечения и профилактики широкого спектра заболеваний. Цель работы – оценить возможности мультисенсорной системы при инструментальной оценке горькости анализируемых образцов. В данной работе 33 образца отваров лекарственных растений были оценены дегустаторами по шкале горькости от 0 до 6. Разработана методика анализа и проведены многократные измерения образцов с помощью мультисенсорной системы. Оценки дегустаторов являются референтными значениями при калибровке мультисенсорной системы. Построенная по полученным данным регрессионная модель продемонстрировала хорошую корреляцию откликов системы с горькостью, ощущаемой людьми. Параметры регрессионной модели позволяют сделать вывод о том, что мультисенсорная система способна предсказать горькость образцов лекарственных растений со средней ошибкой ± 1 по референтной шкале горькости. Относительная ошибка определения горькости составляет 14%, что является хорошим результатом для измерений такого типа (типичная ошибка дегустаторской оценки, как правило, составляет 15–30%).

Ключевые слова: мультисенсорная система, горькость, корреляция с человеческим восприятием, лекарственные травы.

**MULTISENSOR SYSTEM APPLICATION FOR PREPARATIONS BITTERNESS
EVALUATION IN TRADITIONAL CHINESE MEDICINE**

I.S. Yaroshenko^{a, b}, D.O. Kirsanov^{a, b}, A.V. Legin^{a, b}, P. Wang^c, D. Ha^c, H. Wan^c, H. Wan^d, Y. He^d

^a ITMO University, Saint Petersburg, Russia, irina.s.yaroshenko@gmail.com

^b Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

^c Zhejiang University, Hangzhou, China

^d Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou, China

Abstract. This paper deals with the study of preparations based on medicinal plants used in traditional Chinese medicine for treatment and prevention of a wide range of diseases. The purpose of this research was evaluation of the capabilities of a multisensor system for instrumental assessment of the samples bitterness. 33 samples of medicinal plants were evaluated by tasters according to bitterness intensity from 0 to 6. Methodology of the analysis was developed and repeated measurements of the samples were performed by multisensor system. Tasters' assessments were used as reference data while multisensor system calibrating. A regression model built according to these data displayed good correlation of the system response with bitterness perceived by people. The parameters of the regression model give the possibility for concluding that the multisensor system is capable to predict the bitterness of the medicinal plants preparations with average precision equal to ± 1 of the reference bitterness scale. Relative error of bitterness determination is 14%, which is a good result for such type of measurements (typical error of the taster's assessment is, as a rule, in the range of 15-30 %).

Keywords: multisensor system, bitterness, correlation with human sensory perception, herbs.

Введение

В современной аналитической химии активно развивается направление, связанное с разработкой и применением химических сенсоров. С момента создания первого стеклянного электрода для определения pH (кислотности среды) появились самые разнообразные виды сенсоров: газовые, потенциометрические, вольтамперометрические, биосенсоры, оптоды и т.д. В общем случае химическими сенсорами считают датчики, реагирующие на изменение содержания компонентов среды, в которой они находятся или с которой контактируют [1]. Однако существует круг сенсоров, которые демонстрируют высокую чувствительность к определяемому компоненту не только в модельных растворах, но и в сложной многокомпонентной системе.

В конце XX века появился подход, заключающийся в использовании не отдельных высокоселективных сенсоров, а набора (массива) сенсоров с так называемой перекрестной чувствительностью. Каждый сенсор такой системы реагирует на присутствие сразу нескольких компонентов анализируемой среды [2]. Получаемая совокупность многомерных данных требует современной математической обработки. С этой целью применяются различные хемометрические подходы: метод главных компонент (МГК), проекция на латентные структуры (ПЛС), искусственные нейронные сети (ИНС) и др. На выходе пользова-

тель получает результат либо в виде ответа «да/нет» (например, при распознавании поддельных напитков), либо в виде набора количественных характеристик образца, в зависимости от способа калибровки системы [3].

Области практического применения мультисенсорных систем обширны и разнообразны. Одним из основных применений таких систем стала оценка вкуса, как его воспринимают люди, откуда родилось другое название подобного устройства – электронный язык. Дегустаторская оценка вкуса вообще и горькости лекарственных препаратов, в частности, является довольно субъективной. Она зависит как от личности дегустатора, так и от состояния его физического и психического здоровья. Именно поэтому перед учеными встала проблема создания инструментального подхода для оценки вкуса.

Целью работы является оценка возможности мультисенсорной системы при инструментальной оценке горькости (так, как ее ощущают люди), характерной для образцов препаратов китайской народной медицины.

Принцип работы мультисенсорной системы

Для успешного применения мультисенсорной системы необходимо, чтобы в состав массива входили сенсоры с перекрестной чувствительностью к различным типичным компонентам анализируемой среды. Разные сенсоры массива должны в разной степени откликаться на наличие и концентрацию в образце таких веществ. Отклик таких сенсоров должен отличаться высокой стабильностью и воспроизводимостью в реальных сложных многокомпонентных средах.

Химический сенсор имеет такие составляющие, как:

- чувствительная мембрана, которая дает отклик на изменение содержания определяемого компонента и преобразует энергию в электрический сигнал;
- токоотвод, который передает сигнал к измерительному прибору.

Этот сигнал и является аналитическим, поскольку содержит информацию о качественном и количественном составе среды.

В основном для мультисенсорных систем применяют два типа сенсоров (по способу передачи сигнала) – с жидким контактом и твердым контактом (рис. 1).

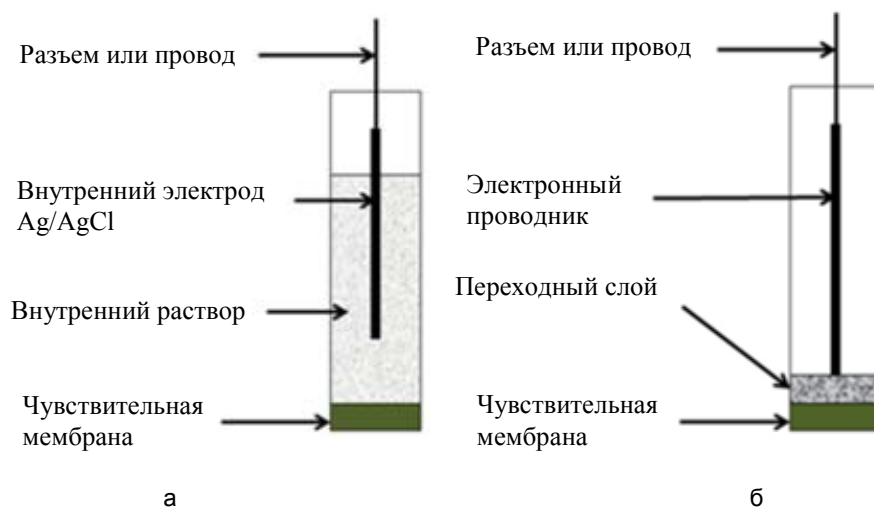


Рис. 1. Сенсоры с жидким (а) и твердым (б) контактом

Ключевые элементы сенсоров – это чувствительные мембраны, среди которых можно выделить три основных вида, в соответствии с физическим состоянием материала.

1. Твердые мембраны, изготовленные из монокристаллического или поликристаллического (порошкообразного) вещества, малорастворимого в воде и обладающего частичной ионной проводимостью.
2. Стекланные мембраны, в которых процессы формирования отклика протекают в тонком гелеобразном слое, образованном на внешней поверхности стекла, после выдерживания (кондиционирования) в соответствующем водном растворе.
3. Полимерные пластифицированные мембраны. Их получают введением ионофоров, нейтральных переносчиков и липофильных добавок в полимерную инертную (например, поливинилхлоридную) матрицу, эластичность и проводимость которой придает наличие пластификаторов. Полимерные мембраны имеют в составе катион- или анион-чувствительные лиганды, а также вещества, чувствительные к органическим веществам.

При попадании в матрицу такой мембраны дополнительного количества, например, катионов из раствора межфазный потенциал меняется, что регистрируется вольтметром и используется в качестве

аналитического сигнала. Измерения с массивом мультисенсорной системы, состоящим из таких сенсоров, в целом аналогичны таковым с отдельными электродами: измеряется ЭДС электрохимической ячейки, состоящей из массива сенсоров и электрода сравнения. Для измерений используют многоканальные вольтметры с высоким входным импедансом (более 10^{12} Ом). Управление измерениями и запись данных осуществляется с помощью компьютера (рис. 2).

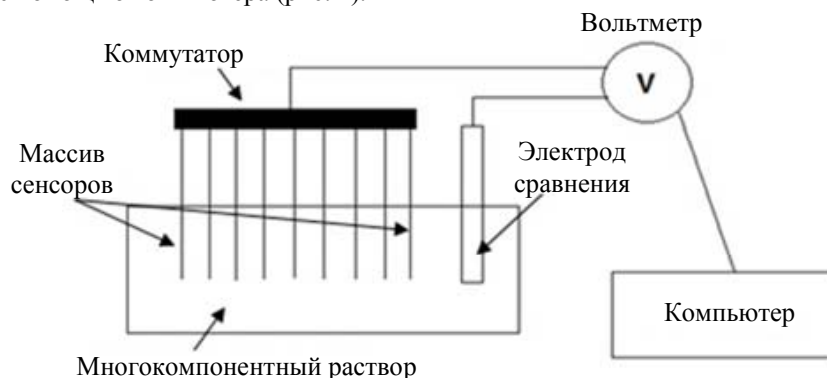


Рис. 2. Измерительная схема мультисенсорной системы на основе потенциометрических химических сенсоров

Обработка данных, полученных от мультисенсорной системы

Результатом анализа образца с помощью мультисенсорной системы является набор откликов сенсоров, характеризующих качественный и количественный состав образца. Полученная совокупность данных подвергается современным методам математической обработки многомерных данных для извлечения полезной аналитической информации.

При анализе многомерных данных используются различные подходы в зависимости от поставленной экспериментальной задачи:

- количественный анализ – численное предсказание концентраций веществ и различных свойств образца, например, его горькости, (регрессия на главные компоненты, ПЛС, метод ИНС и др.);
- качественный анализ – распознавание, классификация, отнесение неизвестного образца к известному классу (основные методы: МГК, формальное независимое моделирование аналогий классов, метод опорных векторов и др.)

Необходимо отметить сложность математического аппарата этих методов. Однако современное программное обеспечение позволяет довольно быстро обработать сколь угодно большие массивы данных [3].

Таким образом, применение мультисенсорной системы в сочетании с хемометрической обработкой полученных данных позволяет решить обширный круг самых разнообразных, часто весьма нетрадиционных аналитических задач.

Применение мультисенсорной системы

Можно выделить три основных направления, развивающих применение рассматриваемого подхода, который можно назвать междисциплинарным:

1. создание и усовершенствование новых материалов чувствительных мембран (физика и химия материалов);
2. поиск и применение новых алгоритмов для обработки многомерных данных (математическая статистика и программирование);
3. использование мультисенсорных систем для сложных и актуальных прикладных задач.

Чаще всего потенциометрическая мультисенсорная система применялась для анализа пищевых продуктов. В частности, решались задачи классификации напитков – чай, кофе, лимонад, сок [4]. Проведено множество исследований, посвященных вину как объекту анализа. Оценивали параметры вкуса в терминах восприятия человека [5, 6], содержание различных химических компонентов в вине, которые меняются при хранении [7, 8] и влияют на качество напитка [9]. Объектом анализа мультисенсорной системой неоднократно становилось пиво [10, 11], в котором определяли самые разнообразные вкусовые оттенки и сочетания – горькость, сладость, насыщенность, крепость и даже жженость и карамельность вкуса [10]. Референтные данные, получаемые от группы дегустаторов, конечно, являются в данном случае «отправными точками», по которым калибруется система. При этом следует отметить субъективность такого анализа, результаты которого зависят от личных вкусовых особенностей каждого дегустатора, его настроения, состояния здоровья и т.д. Инструментальный подход лишен такой субъективности, доказана корреляция с человеческим восприятием и показана перспективность такого способа оценки вкусовых качеств.

Проводили исследование молочной продукции. На крупных предприятиях необходимо следить за здоровьем животных, чтобы молоко от коровы, больной маститом, не попало в реализацию. Показано, что мультисенсорная система способна к распознаванию образцов молока от здорового и больного животного. Такой подход также является очень перспективным с практической точки зрения [12].

Такой же привлекательной мультисенсорная система выглядит для цели мониторинга биотехнологических процессов [13], в частности, при исследовании стадий брожения *Aspergillus niger* – довольно распространенного вида плесневых грибов [14].

Важной проблемой промышленного контроля является одновременное определение редкоземельных элементов в облученном ядерном топливе, для чего были разработаны новые сенсоры и системы, способные определять содержание нескольких лантаноидов (весь ряд от лантана до лютеция) одновременно [15–17].

Мультисенсорные системы являются очень перспективными для экологического контроля. Так, проводили исследование грунтовых вод на наличие неорганических загрязнителей, среди которых тяжелые металлы – медь, цинк, марганец, железо [18]. Проводили работу по оценке токсичности водной среды, где референтные данные для калибровки сенсорной системы были получены биологическими методами – исследовали поведение микроорганизмов в воде с различной степенью загрязнения. Доказано, что мультисенсорная система способна адекватно оценить токсичность воды, что в перспективе может с успехом заменить сложные методы с использованием биоты [19].

Применение мультисенсорной системы нельзя представить без методов обработки данных, которые постоянно совершенствуются [20–23].

Перед производителями фармацевтической продукции (лекарств) уже давно стоит проблема распознавания уровня горькости лекарственных препаратов, потому как именно от этого зависит способ и степень маскирования действующего вещества в готовой таблетке. Ранее для оценки горькости лекарств использовали людей или лабораторных крыс, которых сначала лишали воды на некоторое время, а затем давали растворы препаратов. По степени потребления растворов крысами оценивали горькость лекарств (чем большее количество раствора потребляется, тем он менее горький). Использование такой методики достаточно дорого и затруднительно. Показано, что мультисенсорная система способна заменить такой подход. Для примера была исследована группа веществ разной химической природы (неорганические и органические вещества), горькость которых была оценена крысами и людьми-дегустаторами. Доказана возможность применения мультисенсорной системы для оценки степени горькости этих веществ [24, 25]. Такой подход может применяться и для других сложных и разнородных объектов, в которых необходимо оценить горькость, как в настоящей работе.

Исследование горькости препаратов китайской народной медицины

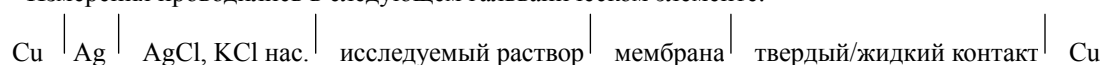
Образцы. В данном исследовании были проанализированы 33 образца лекарственных средств китайской народной медицины. Среди них – 10 различных видов препаратов различной концентрации и, следовательно, различной степени горькости. Горькость оценена специально обученными людьми по шкале от 0 до 6, где 0 – совсем не горько, 6 – невыносимо горько. Эти оценки были выставлены в соответствии со стандартной процедурой: индивидуальное вещество, гидрохлорид берберина, растворяют в воде в различных концентрациях на 6 уровнях. Эти уровни становятся стандартами горькости, относительно которых дегустаторы выставляют оценки всем остальным образцам.

Пробоподготовка. Стандартные растворы гидрохлорида берберина готовили растворением точных навесок в дистиллированной воде. Лекарственные травы в сухом виде заваривали горячей водой, затем фильтровали и центрифугировали для удаления твердых частиц. С помощью роторного испарителя полученную жидкость концентрировали (уменьшение объема жидкости за счет испарения растворителя). Затем различные объемы концентрированных жидкостей добавляли в одинаковое количество воды для получения образцов с различными концентрациями. Горькость полученного продукта и была оценена людьми и, в итоге, сенсорной системой.

Данные по образцам сведены в таблице.

Анализ образцов мультисенсорной системой. Для работы с образцами использовали массив перекрестно-чувствительных потенциометрических сенсоров, состоящий из 5 анион-чувствительных, 7 катион-чувствительных и 4 халькогенидных стеклянных сенсоров. Сенсоры были разработаны и подобраны на основании предыдущего опыта работы с различными образцами в Лаборатории химических сенсоров СПбГУ.

Измерения проводились в следующем гальваническом элементе:



Использовали стандартный рН-электрод и хлорсеребряный электрод сравнения. Показания снимали на многоканальном электронном цифровом вольтметре с высоким входным сопротивлением, подключенном к персональному компьютеру для сбора и обработки данных.

Измерения проводили согласно следующей методике. В ячейку для измерений помещали 20 мл образца и 80 мл дистиллированной воды (разбавление в 5 раз), опускали туда массив сенсоров, время анализа – 3 мин. Затем проводили процедуру отмывки системы последовательными измерениями потенциалов сенсоров в воде до постоянных значений – 1, 2 и 3 мин. Анализ образцов производили в случайном порядке, каждый образец повторяли минимум 3 раза.

Обработку данных проводили с помощью программного обеспечения «Unscrambler 9.7» (CAMO, Norway). Строили регрессионную модель методом ПЛС (рис. 3). Результаты построения калибровочной модели представляются в виде прямых для калибровки и проверки в координатах «введено/найдено» или «измеряемая/предсказанная величина». Наклон (slope) и квадрат коэффициента корреляции (R^2) описывают, насколько хорошо точки в калибровке и проверке ложатся на прямую. Чем ближе эти величины к единице, тем лучше данные описываются моделью. Параметр «оффсет» (offset) описывает смещение прямой относительно начала координат и должен быть максимально близок к нулю. Среднеквадратическое отклонение (RMSE, Root Mean Square Error) характеризует предсказательную силу модели. Она имеет размерность величины предсказания, по которой проводилась калибровка, и для хорошей модели должна быть минимальна.

Номер образца	Название	Концентрация образца, количество/объем воды	Значение горькости
1	Гидрохлорид берберина (<i>Berberine Hydrochloride</i>)	0,005 г / 500 мл	1
2		0,0125 г / 500 мл	2
3		0,025 г / 500 мл	3
4		0,05 г / 500 мл	4
5		0,125 г / 500 мл	5
6		0,25 г / 500 мл	6
7	Хризантема китайская (<i>Chinese Chrysanthemum</i>)	10 мл / 300 мл	0,7
8		50 мл / 300 мл	4,3
9		100 мл / 300 мл	5,5
10	Корень солодки (<i>Liquorice Root</i>)	10 мл / 350 мл	0,8
11		50 мл / 350 мл	2
12		200 мл / 350 мл	2,7
13	Ветки кассии (<i>Cassia Twig</i>)	10 мл / 350 мл	1,1
14		50 мл / 350 мл	2,5
15		200 мл / 350 мл	3,7
16	Хвойник китайский (<i>Chinese Ephedra</i>)	10 мл / 350 мл	1,5
17		25 мл / 300 мл	3,5
18		50 мл / 300 мл	4,7
19	Семена горького абрикоса (<i>Bitter Apricot Seeds</i>)	50 мл / 500 мл	1,3
20		100 мл / 300 мл	2
21	Реманния клейкая (<i>Rehmanniae Adhesive</i>)	20 мл / 300 мл	0,7
22		50 мл / 300 мл	0,8
23		100 мл / 300 мл	1,1
24	Корень одуванчика (<i>Dandelion Root</i>)	20 мл / 350 мл	0,8
25		50 мл / 350 мл	2,5
26		200 мл / 350 мл	4,3
27	Коптис китайский (<i>Chinese Coptis</i>)	20 мкл / 350 мл	0,8
28		100 мкл / 350 мл	2,2
29		200 мкл / 350 мл	4,3
30		1000 мкл / 350 мл	6
31	Смесь четырех трав: – хвойник китайский – 37,5% – семена горького абрикоса – 25% – корень солодки – 12,5% – ветки кассии – 25%	20 мл / 300 мл	2
32		50 мл / 300 мл	4,2
33		150 мл / 300 мл	5,3

Таблица. Данные по исследованным образцам китайской народной медицины

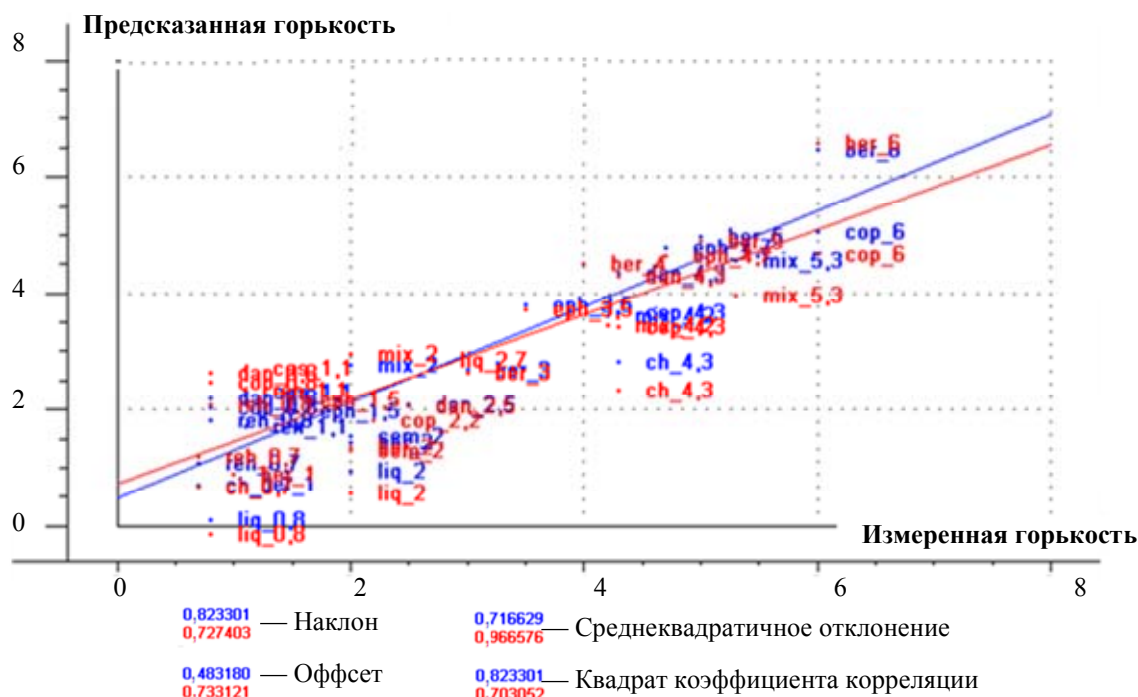


Рис. 3. ПЛС-регрессионная модель, построенная на данных от образцов лекарственных препаратов китайской народной медицины, как соответствие откликов мультисенсорной системы и значений при оценке горькости для этих же образцов

Таким образом, построенная в данном исследовании модель свидетельствует о том, что мультисенсорная система способна оценить горькость препаратов китайской народной медицины со средней относительной ошибкой ± 1 по шкале референтных значений.

Заключение

Потенциометрическая мультисенсорная система была применена в качестве аналитического инструмента для определения горькости препаратов китайской народной медицины.

Разработана методика измерений и проанализированы 33 образца лекарственных препаратов с помощью мультисенсорной системы. В качестве референтных значений горькости образцов для калибровки системы использовали оценки дегустаторов-людей. Построена регрессионная модель, связывающая данные мультисенсорной системы с оценками дегустаторов. Показано, что мультисенсорная система имеет возможность предсказать горькость образцов со средней ошибкой ± 1 по шкале референтных значений. Относительная ошибка определения горькости составляет при этом 14%, что является приемлемым для измерений такого типа (ошибка дегустаторской оценки может составлять до 30%).

References

- Hulanicki A., Glab S., Ingman F. Chemical sensors definition and classification. *Pure and Applied Chemistry*, 1991, vol. 63, no. 9, pp. 1247–1250.
- Otto M., Thomas J. Model studies on multiple channel analysis of free magnesium, calcium, sodium and potassium at physiological concentration levels with ion-selective electrodes. *Analytical Chemistry*, 1985, vol. 57, pp. 2647–2651.
- Esbensen K.H. *Multivariate Data Analysis in Practice*. 5th ed. CAMO Software AS: Oslo, Norway, 2001, 594 p.
- Legin A., Rudnitskaya A., Vlasov Y.G., Di Natale C., Davide F., D'Amico A. Tasting of beverages using an electronic tongue. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 1997, vol. 44, no. 1-3, pp. 291–296.
- Legin A., Rudnitskaya A., Lvova L., Vlasov Y., Di Natale C., D'Amico A. Evaluation of Italian wine by the electronic tongue: recognition, quantitative analysis and correlation with human sensory perception. *Analytica Chimica Acta*, 2003, vol. 484, no. 1, pp. 33–44. doi: 10.1016/S0003-2670(03)00301-5
- Rudnitskaya A., Nieuwoudt H.H., Muller N., Legin A., du Toit M., Bauer F. Instrumental measurement of bitter taste in red wine using an electronic tongue. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2010, vol. 397, no. 7, pp. 3051–3060. doi: 10.1007/s00216-010-3885-3
- Rudnitskaya A., Schmidtko L.M., Delgadillo I., Legin A., Scollary G. Study of the influence of micro-oxygenation and oak chip maceration on wine composition using an electronic tongue and chemical analysis. *Analytica Chimica Acta*, 2009, vol. 642, no. 1-2, pp. 235–245. doi: 10.1016/j.aca.2008.12.034
- Schmidtko L.M., Rudnitskaya A., Saliba A.J., Blackman J.W., Scollary G.R., Clark A.C., Rutledge D.N., Delgadillo I., Legin A. Sensory, chemical, and electronic tongue assessment of micro-oxygenated wines and oak chip maceration: assessing the commonality of analytical techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, vol. 58, no. 8, pp. 5026–5033. doi: 10.1021/jf904104f

9. Kirsanov D., Mednova O., Vietoris V., Kilmartin P.A., Legin A. Towards reliable estimation of an «electronic tongue» predictive ability from PLS regression models in wine analysis. *Talanta*, 2012, vol. 90, pp. 109–116. doi: 10.1016/j.talanta.2012.01.010
10. Rudnitskaya A., Polshin E., Kirsanov D., Lammertyn J., Nicolai B., Saison D., Delvaux F.R., Delvaux F., Legin A. Instrumental measurement of beer taste attributes using an electronic tongue. *Analytica Chimica Acta*, 2009, vol. 646, pp. 111–118. doi: 10.1016/j.aca.2009.05.008
11. Polshin E., Rudnitskaya A., Kirsanov D., Legin A., Saison D., Delvaux F., Delvaux F.R., Nicolai B.M., Lammertyn J. Electronic tongue as a screening tool for rapid analysis of beer. *Talanta*, 2010, vol. 81, no. 1-2, pp. 88–94. doi: 10.1016/j.talanta.2009.11.041
12. Mottram T., Rudnitskaya A., Legin A., Fitzpatrick J.L., Eckersall P.D. Evaluation of a novel chemical sensor system to detect clinical mastitis in bovine milk. *Biosensors and Bioelectronics*, 2007, vol. 22, no. 11, pp. 2689–2693. doi: 10.1016/j.bios.2006.11.006
13. Rudnitskaya A., Legin A. Sensor systems - electronic tongues and electronic noses for the monitoring of biotechnological processes. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2008, vol. 35, no. 5, pp. 443–451. doi: 10.1007/s10295-007-0298-1
14. Legin A., Kirsanov D., Rudnitskaya A., Iversen J.J.L., Seleznev B., Esbensen K.H., Mortensen J., Houmøller L., Vlasov Y. Multicomponent analysis of fermentation growth media using the electronic tongue (ET). *Talanta*, 2004, vol. 64, no. 3, pp. 766–772. doi: 10.1016/j.talanta.2004.04.001
15. Kirsanov D., Khaydukova M., Tkachenko L., Legin A., Babain V. Potentiometric sensor array for analysis of complex rare Earth mixtures. *Electroanalysis*, 2012, vol. 24, no. 1, pp. 121–130. doi: 10.1002/elan.201100439
16. Legin A.V., Babain V.A., Kirsanov D.O., Mednova O.V. Cross-sensitive rare earth metal sensors based on extraction systems. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 2008, vol. 131, no. 1, pp. 29–36. doi: 10.1016/j.snb.2007.12.002
17. Legin A.V., Kirsanov D.O., Babain V.A., Gall L.N., Gall N.R. Promising analytical techniques for HLW analysis. In: *Radioactive Waste: Sources, Types and Management*. Eds. Satoshi Yuan, Wenxu Hidaka. NY, USA, NOVA Science Publishers Inc, 2012, pp. 77–96.
18. Rudnitskaya A., Ehlert A., Legin A., Vlasov Yu., Buttgenbach S. Multisensor system on the basis of an array of non-specific chemical sensors and artificial neural networks for determination of inorganic pollutants in model groundwater. *Talanta*, 2001, vol. 55, no. 2, pp. 425–431. doi: 10.1016/S0039-9140(01)00444-1
19. Kirsanov D., Zadorozhnaya O., Krashennnikov A., Komarova N., Popov A., Legin A. Water toxicity evaluation in terms of bioassay with an Electronic Tongue. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 2013, vol. 179, pp. 282–286. doi: 10.1016/j.snb.2012.09.106
20. Legin A., Rudnitskaya A., Vlasov Y. Electronic tongues: new analytical perspective for chemical sensors. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 2003, vol. 39, pp. 437–486. doi: 10.1016/S0166-526X(03)80115-0
21. Kirsanov D., Babain V., Agafonova-Moroz M., Lumpov A., Legin A. Combination of optical spectroscopy and chemometric techniques – a possible way for on-line monitoring of SNF reprocessing. *Radiochimica Acta*, 2012, vol. 100, no. 3, pp. 185–188. doi: 10.1524/ract.2012.1901
22. Yaroshenko I., Kirsanov D., Kartsova L., Bhattacharyya N., Sarkar S., Legin A. On the application of simple matrix methods for electronic tongue data processing: case study with black tea samples. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 2014, vol. 191, pp. 67–74. doi: 10.1016/j.snb.2013.09.093
23. Kirsanov D., Cetó X., Khaydukova M., Blinova Y., Del Valle M., Babain V., Legin A. A combination of dynamic measurement protocol and advanced data treatment to resolve the mixtures of chemically similar analytes with potentiometric multisensor system. *Talanta*, 2014, vol. 119, pp. 226–231. doi: 10.1016/j.talanta.2013.11.003
24. Legin A., Rudnitskaya A., Clapham D., Seleznev B., Lord K., Vlasov Y. Electronic tongue for pharmaceutical analytics: quantification of tastes and masking effects. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2004, vol. 380, no. 1, pp. 36–45. doi: 10.1007/s00216-004-2738-3
25. Rudnitskaya A., Kirsanov D., Blinova Y., Legin E., Seleznev B., Clapham D., Ives R.S., Saunders K.A., Legin A. Assessment of bitter taste of pharmaceuticals with multisensor system employing 3 way PLS regression. *Analytica Chimica Acta*, 2013, vol. 770, pp. 45–52. doi: 10.1016/j.aca.2013.02.006

- Ярошенко Ирина Сергеевна** – инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия; аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет, irina.s.yaroshenko@gmail.com
- Кирсанов Дмитрий Олегович** – кандидат химических наук, ведущий инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия; доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, d.kirsanov@gmail.com
- Легин Андрей Владимирович** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия; ведущий научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, andrey.legin@gmail.com
- Ванг Пинг** – доктор, профессор, профессор, Университет Чжэцзян, Ханчжоу, Китай, sprwang@zju.edu.cn
- Ха Да** – аспирант, Университет Чжэцзян, Ханчжоу, Китай, bmehighday@gmail.com
- Ван Хао** – аспирант, Университет Чжэцзян, Ханчжоу, Китай, wh18162008@gmail.com
- Ван Хайтонг** – доктор, профессор, декан, Китайский медицинский Университет Чжэцзян, Ханчжоу, Китай, wanhaitong@zjtcn.net
- Хе Ю** – доктор, профессор, профессор, Китайский медицинский Университет Чжэцзян, Ханчжоу, Китай, heyu0923@sina.com

- Irina S. Yaroshenko*** – engineer, ITMO University, Saint Petersburg, Russia; postgraduate, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia, irina.s.yaroshenko@gmail.com
- Dmitry O. Kirsanov*** – PhD, Leading engineer, ITMO University, Saint Petersburg, Russia; Associate professor, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia, d.kirsanov@gmail.com
- Andrey V. Legin*** – PhD, Chief scientific researcher, ITMO University, Saint Petersburg, Russia; Leading research scientist, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia, andrey.legin@gmail.com
- Ping Wang*** – D.Sc., Professor, Zhejiang University, Hangzhou, China, cnpwang@zju.edu.cn
- Da Ha*** – postgraduate, Zhejiang University, Hangzhou, China, bmehighday@gmail.com
- Hao Wan*** – postgraduate, Zhejiang University, Hangzhou, China, wh18162008@gmail.com
- Haitong Wan*** – D.Sc., Professor, Dean, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou, China, wanhaitong@zjtcn.net
- Yu He*** – D.Sc., Professor, Professor, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou, China, heyu0923@sina.com

Принято к печати 01.04.14
Accepted 01.04.14