

Российская академия наук
Отделение химии и наук о материалах

Научный совет
по аналитической химии

Отчет за 2025 год

Москва 2026

Электронный отчет ИСАХ РАН

<http://www.wssanalytchem.org/nsakh/SitePages/reports.aspx>

Бюро совета благодарит членов комиссий, отделений совета и организации, представившие материалы в отчет за 2025 г., а также председателей комиссий, принявших участие в обработке поступившего материала

Научный совет РАН по аналитической химии поздравляет

*Председателя совета
академика РАН Ю.А.Золотова,
членов совета член-корр. РАН Р.Х. Хамизова,
д.х.н. В.С. Гурского, д.х.н. Л.Н. Москвина,
д.х.н. О.В. Родинкова и д.х.н. Г.И.Цизина с присуждением Премии
Правительства РФ «За разработку и внедрение наукоемких
химических и радиохимических технологий, а также
высокоинформативных средств технологического и экологического
контроля опасных производств на основе оригинальных методов
разделения, концентрирования и выделения веществ»*

*Д.х.н. В.В. Апяри, д.х.н. В.Б. Барановскую,
д.х.н. С.Е. Винокурова
с присуждением почетных званий «Профессор РАН»*

СОДЕРЖАНИЕ	
НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В 2025 г.	
<i>МЕТОДЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ</i>	
<u>Методы определения</u>	7
Спектроскопические методы	7
<i>Общие вопросы спектроскопических методов. Приборы</i>	7
<i>Рентгеновские методы</i>	7
<i>Атомно-эмиссионные методы</i>	14
<i>Атомно-абсорбционные методы</i>	16
<i>Спектрофотометрические методы</i>	17
<i>Методы колебательной спектроскопии</i>	19
<i>Другие спектроскопические методы</i>	23
Масс-спектрометрические и родственные им методы	28
Хроматографические и родственные им методы	39
<i>Общие вопросы хроматографии. Приборы</i>	
<i>Газовая хроматография</i>	40
<i>Высокоэффективная жидкостная (в том числе ионная) хроматография</i>	42
<i>Хромато-масс-спектрометрия</i>	49
<i>Тонкослойная хроматография</i>	56
<i>Капиллярный электрофорез</i>	56
<i>Другие хроматографические методы</i>	60
Электрохимические методы	60
<i>Потенциометрия. Ионоселективные электроды</i>	60
<i>Вольтамперометрия</i>	63
<i>Электрохимические сенсоры</i>	67
Биохимические методы	76
<u>Другие методы определения</u>	87
<u>Методы разделения и концентрирования</u>	88
Общие вопросы пробоподготовки	88
Сорбционные методы	89
Экстракционные методы	100
Другие методы разделения и концентрирования	102
<u>Методы обнаружения и идентификации</u>	112
<i>СПОСОБЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ</i>	
Анализ в потоке	113
Химические сенсоры, бионические и тест-системы (электронный нос, язык, глаз и миниатюризация анализа)	114
Наноаналитика	121
Хемометрика. Математизация химического анализа	126
Метрология и стандартизация анализа	136
<i>АНАЛИЗ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ</i>	153
НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА В 2025 г.	167
КНИГИ	192

НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ 2025 г. МЕТОДЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Методы определения

Спектроскопические методы

Общие вопросы спектроскопических методов. Приборы

1. Продолжены исследования по совершенствованию средств измерения для химического анализа методом цифровой цветометрии. Сформулированы принципы построения и применения измерительных боксов, позволяющих минимизировать влияние аппаратных факторов, искажающих аналитический сигнал (пространственная и спектральная неоднородность источника излучения, высокий уровень рассеянного света, попадающего на светочувствительный датчик и др.) и компенсировать техническое несовершенство дешёвых бытовых цифровых устройств для получения оптических изображений как средств измерения аналитического сигнала. На основе разработанных технических и научно-методических принципов спроектирован портативный модульный цветометрический анализатор для изготовления методом 3D-печати.

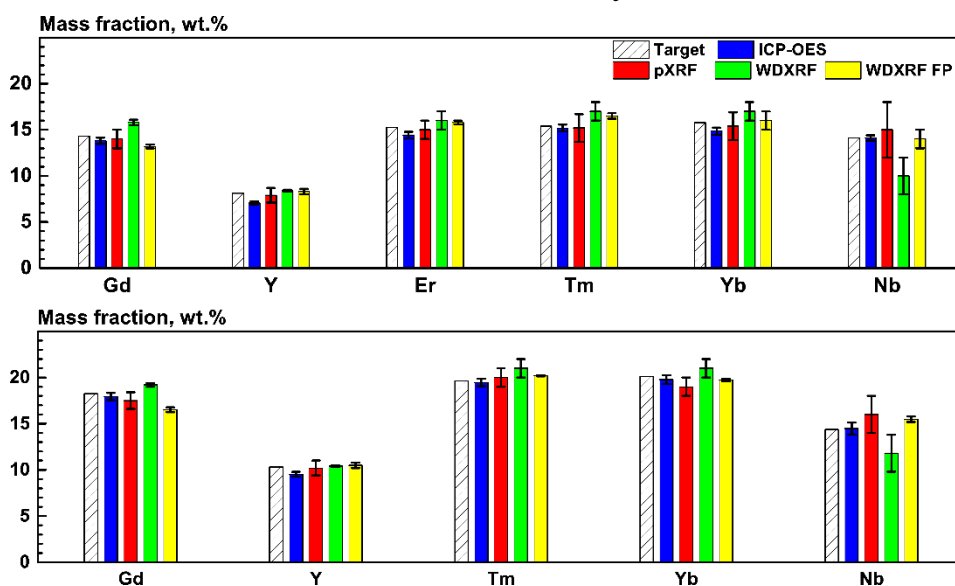
Для улучшения метрологических характеристик метода цифровой цветометрии предложен ряд научно-методических приёмов извлечения химико-аналитической информации из оптических изображений, полученных с помощью фотокамеры смартфона и офисного планшетного фотосканера. В частности, показано, что одновременная обработка сразу нескольких изображений, полученных при разной экспозиции светочувствительного датчика, использование полной информации о цвете, а также математический учёт взаимного влияния цветовых каналов позволяют существенно расширить диапазон линейности градуировочной зависимости (до двух порядков) и определять два окрашенных вещества одновременно. Предложенные приёмы апробированы при определении нитрата и аммония в почвах, а также пищевых красителей в газированных напитках методом цифровой цветометрии.

Для расширения возможностей цифровой оптической DIY-спектрометрии разработан комплекс технических и методических приёмов для выполнения химического анализа. Спроектирована портативная оптоволоконная спектрометрическая приставка к смартфону для изготовления методом 3D-печати. Установка имеет сборную модульную конструкцию, легко трансформируемую для проведения анализа 4 методами – спектрофотометрии, спектрометрии диффузного отражения света, флуориметрии и эмиссионной фотометрии пламени. Спектральная приставка пригодна для использования в учебных заведениях и малобюджетных организациях при проведении анализа (в т. ч., внелабораторного) растворов малого объёма.

Осколок К. В., к.х.н., k_oskolok@mail.ru; Моногарова О. В., к.х.н., o_monogarova@mail.ru; Гармай А. В., к.х.н., andrew-garmay@yandex.ru; (МГУ

Рентгеновские методы

1. В данном исследовании рассмотрены подходы к анализу средне- и высокоэнтропийной керамики (REE_3NbO_7), содержащей от четырех до пяти различных редкоземельных элементов. Выполнено сравнительное исследование способов выделения аналитического сигнала в энергодисперсионных спектрах. Рассмотрены особенности процесса деконволюции в спектрах рентгеновской флуоресценции с более высоким и более низким разрешением. Показано, что портативный спектрометр способен точно определять содержания Gd, Er, Tm, Yb и Y в керамике как со средней, так и с высокой энтропией. Продемонстрировано, что количественный анализ средне- и высокоэнтропийной керамики не требует деконволюции энергодисперсионных спектров. Установлено, что образцы сравнения, синтезированные методом обратного осаждения, обеспечивают получение воспроизводимых калибровочных кривых и позволяют минимизировать матричных эффектов при использовании портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра, несмотря на различие содержания основных компонентов в градуировочных образцах. Однако было обнаружено, что условия проведения экспериментов в вакуумируемом волнодисперсионном рентгеновском спектрометре увеличивают погрешность примерно на 9%. Тем не менее, эта система оказалась подходящей заменой ИСП-АЭС в лабораторной практике, а портативная версия имеет большие перспективы для использования в полевых условиях.



Сравнение результатов определения основных элементов в высокоэнтропийной керамике ($\text{Er}_{0.6}\text{Y}_{0.6}\text{Yb}_{0.6}\text{Gd}_{0.6}\text{Tm}_{0.6}\text{NbO}_7$, сверху) и среднеэнтропийной керамике ($\text{Y}_{0.75}\text{Yb}_{0.75}\text{Gd}_{0.75}\text{Tm}_{0.75}\text{NbO}_7$, снизу) с использованием ИСП-АЭС (синий), портативного энергодисперсионного РФЛА (красный), волнодисперсионного РФЛА (зеленый) и волнодисперсионного РФЛА с применением метода фундаментальных параметров (желтый). Белые столбцы с кривой чертой представляют ожидаемые значения.

Akhmetzhanov T.F., Arkhipenko A.A., Ryumin M.A., Yakushev I.A., Doronina M.S., Baranovskaya V.B. Determination of Rare-Earth Elements in Medium- and High-Entropy Ceramics by WDXRF and Handheld XRF. Critical Evaluation of the

Ахметжанов Т.Ф., к.х.н., mozgoglot@yandex.ru (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Центр коллективного пользования физическими методами исследования веществ и материалов, Москва).

2. Разработана методика количественного определения Ni, Ga, Ge, Fe, Co и Cu в железных метеоритах методом рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением (РФА ПВО). Ключевым этапом стала оптимизация пробоподготовки, обеспечивающей полное разложение образца и формирование тонкого слоя пробы на подложке-отражателе. Установлено, что разложение фрагмента метеорита в 6 М азотной кислоты с последующим разбавлением является оптимальным, тогда как использование царской водки приводит к потерям Ge и нестабильным результатам. В качестве основного аналитического подхода обоснован и успешно применен «бесстандартный» метод, что является значительным преимуществом, устраняющим необходимость проведения градуировочных процедур. Для расширения возможностей методики и определения критически важных микроэлементов — кобальта и меди — внедрена процедура жидкостной экстракции основного матричного элемента (железа) метилизобутилкетонем (МИБК). Метрологические характеристики методики были установлены на реальном объекте - метеорите Сихотэ-Алинь. Показаны удовлетворительные прецизионность (относительное стандартное отклонение RSD для разных элементов варьируется от 0.1% до 11%) и правильность (значения recovery в диапазоне 91–119%). Сравнение результатов РФА ПВО с литературными данными и результатами МС-ИСП демонстрирует высокую степень согласования.

Мальцев А.С., к.х.н., maltsev@crust.irk.ru (Институт земной коры СО РАН, ЦКП «Геодинамика и геохронология», Иркутск).

3. Разработана и апробирована методика определения следовых количеств переходных металлов четвёртого периода (Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn) в железных рудах с использованием рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением (РФА ПВО). Ключевым результатом является применение жидкость-жидкостной экстракции метилизобутилкетонем для удаления матрицы железа, что позволяет устранить спектральные помехи и снизить фон. Показано, что после удаления железа значительно улучшаются пределы обнаружения (до 1–23 мг/кг) и отношение сигнал/фон для целевых элементов, а также становится возможным количественное определение Co, V, Cr и Ni, которые не определялись при прямом анализе суспензии. Валидация методики проведена на аттестованных стандартных образцах железных руд, показав удовлетворительную точность и правильность для большинства определяемых элементов. Установлено, что основными источниками систематических погрешностей являются неполное растворение хром-

содержащих минералов и частичный переход ванадия в органическую фазу. Таким образом, предложенная процедура пробоподготовки существенно повышает чувствительность и селективность РФА ПВО-анализа сложных железосодержащих матриц.

Жиличева А.Н., alena.zhilicheva.13@mail.ru (Институт земной коры СО РАН, ЦКП «Геодинамика и геохронология», Иркутск).

4. Предложены методические подходы к рентгенофлуоресцентному определению F, P, S, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Th и U в образцах фракций каменного угля месторождений Иркутской области и в образцах почв, содержащих эти фракции, с использованием кристалл-дифракционного рентгеновского спектрометра S8 TIGER. Для построения градуировочных характеристик использованы смеси СО золы углей, горных пород и отложений с графитовым порошком. Этот подход позволяет получить градуировочные образцы, более близкие по физико-химическому составу к анализируемым пробам, и менее трудоемок по сравнению с использованием способа добавок химических реактивов определяемых элементов. Показано, что использование способа α -коррекции для учета взаимных влияний элементов позволяет анализировать пробы с широкими вариациями состава, включающие в себя как угольные материалы, так и почвы, содержащие уголь. Среди достоинств методики можно отметить экспрессность, возможность проведения анализа неозоленных проб и определения летучих элементов (F, S, As), низкие значения пределов обнаружения (0.6-20 мг/кг) для определяемых элементов, содержания которых могут быть использованы при экологическом мониторинге и для составления плана мероприятий по восстановлению почв.

Штельмах С.И., к.г.-м.н., fotina78@gmail.com (Институт земной коры СО РАН, ЦКП «Геодинамика и геохронология», Иркутск).

5. Раскрыт потенциал рентгенофлуоресцентного метода как инструмента оценки соотношения валентных форм железа в стандартных образцах состава почв, изверженных и осадочных горных пород с целью их характеристики с помощью отношения интенсивностей линий $FeK\beta_5$ и $FeK\beta_{1,3}$ рентгеновского эмиссионного спектра. Исследование выполнено на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре. 14 стандартных образцов с неизвестным содержанием FeO, а также 6 стандартных образцов с ориентировочными значениями массовой доли FeO были проанализированы методом рентгенофлуоресцентного анализа. Полученные данные показали удовлетворительную согласованность с результатами анализа контрольной методикой бихроматометрического титрования (НСАМ № 50-Х) и ориентировочными данными. Для 20 стандартных образцов с массовой долей FeO от 0.23 до 8.8 % стандартное отклонение при определении рентгенофлуоресцентным методом составило 0.30 %. Полученные впервые сведения о массовой доле FeO в стандартных образцах состава почв, изверженных и осадочных горных пород могут быть

использованы в аналитической практике и полезны для исследователей геологического профиля.

Чубаров В.М., Сокольникова Ю.В., Амосова А.А., Финкельштейн А.Л. Определение содержания двухвалентного железа в стандартных образцах горных пород и почв методом рентгенофлуоресцентного анализа // Аналитика и контроль. 2025. Т. 29, № 1. С. 83-95.

<https://doi.org/10.15826/analitika.2025.29.1.006>

Рентгеновские эмиссионные спектры в области $\text{CuK}\beta$ -линии изучены для образцов минералов, содержащих медь в различных формах. Измерения выполнены на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре, предназначенном для определения элементного состава и имеющем сравнительно невысокое энергетическое разрешение - около 30 эВ при энергии излучения линии $\text{CuK}\beta$ 8.905 кэВ. Особенности спектров различных минеральных форм меди проявляются в виде асимметрии формы и смещения максимума $\text{CuK}\beta$ -линии: спектры образцов минералов, содержащих преимущественно одновалентную медь в виде оксидов (куприт) и сульфидов (халькозин, борнит), значительно отличаются от спектров минералов, содержащих преимущественно двухвалентную медь в виде сульфидов (халькопирит) и гидроксосульфатов (антлерит, брошантит), однако близки к спектрам минералов, содержащих двухвалентную медь в гидроксокарбонатах (малахит, азурит). Спектры сульфидов и гидроксосульфатов двухвалентной меди не различимы в пределах погрешности измерения. Измерение формы рентгеновского эмиссионного спектра в области $\text{CuK}\beta$ -линии позволяет получать дополнительную информацию о минеральных формах меди в медных рудах.

Финкельштейн А.Л., Чубаров В.М., Радомская Т.А., Будяк А.Е. Особенности рентгеновских флуоресцентных спектров в области $\text{CuK}\beta$ -линии минералов месторождений меди // Аналитика и контроль. 2025. Т. 29, № 2. С. 134-140. <https://doi.org/10.15826/analitika.2025.29.2.002>.

Чубаров В.М., к.х.н., chubarov@igc.irk.ru; Финкельштейн А.Л., finkel@igc.irk.ru (Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, лаборатория рентгеновских методов анализа, Иркутск).

6. Метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) применен для определения содержаний потенциально токсичных элементов (Cu, Zn, As и Pb) в почвах техногенной зоны г. Свирск, Иркутская область (бывший завод по производству мышьяка). При расчете содержания элементов опробованы способы внешнего стандарта, стандарта-фона и α -коррекции. При определении невысоких содержаний элементов наилучшие результаты получены с помощью способа стандарта-фона с использованием в качестве внутреннего стандарта интенсивность некогерентно рассеянного образцом излучения Rh-анода рентгеновской трубки. Величины относительного стандартного отклонения, характеризующие отклонение результатов РФА от референтных значений (результатов ААС и МС-ИСП), не превышали 10 % отн. При определении составов, значительно отличающихся от составов градуировочных образцов с высокими содержаниями целевых элементов и

железа, величины относительного стандартного отклонения погрешности составили 16-37 % (Cu), 11-21 % (Zn), 9-20 % (As) и 12-18 % (Pb). Применение α -коррекции позволило повысить правильность анализа некоторых образцов.

Чупарина Е.В., lchup@igc.irk.ru (Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, лаборатория рентгеновских методов анализа, Иркутск).

7. На основе сочетания методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа (РСМА) разработана многокомпонентная методика РСМА породообразующих и акцессорных редкометалльных минералов гранитов, пегматитов и метасоматитов. Условия возбуждения и регистрации аналитических линий элементов выбраны с учетом свойств исследуемого материала на основе изученных зависимостей относительных интенсивностей определяемых элементов от времени воздействия электронного пучка на образец, полученных при разных напряжениях, токах зонда и диаметрах зонда. Искажение аналитического сигнала, обусловленное эффектом взаимного наложения аналитических линий определяемых элементов, учтено с помощью коэффициентов наложения, экспериментально определенных на образцах, не содержащих определяемый элемент. Оценка метрологических характеристик методики показала, что она соответствует требованиям II категории качества количественных определений и 2-й категории анализов, принятым в Международной программе профессионального тестирования геоаналитических лабораторий (GeoPT). На основе предложенной методики РСМА изучены редкометалльные граниты, пегматиты и метасоматиты многофазного массива Бага-Газрын (Центральная Монголия). Полученные данные о фазовом и элементном составе многокомпонентных породообразующих и включений редкометалльных акцессорных минералов из разных типов пород массива, позволили получить новую информацию о минералого-геохимических особенностях различных типов гранитоидов, закономерностях распределения в них минеральных акцессорных фаз, геохимической эволюции, а также P-T условий их образования.

Belozerova O.Yu., Antipin V.S., Kushch L.V., Odgerel D. Investigation of rare-metal granites, pegmatites, and metasomatites minerals of Mongolia by scanning electron microscopy and x-ray electron probe microanalysis methods // X-Ray Spectrometry. 2025. Vol. 54. N. 2. P. 66-75.

<https://doi.org/10.1002/xrs.3428>

Белозерова О.Ю., к.х.н., obel@igc.irk.ru (Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, лаборатория рентгеновских методов анализа, Иркутск).

8. В рамках методов рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа (РСМА) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) разработан способ определения состава платиновых и палладиевых минеральных фаз и включений микронных размеров (1-5 мкм), сопоставимых

с областью генерации характеристического рентгеновского излучения, в матрице минералов сульфидов Cu, Fe, Ni. Изучены факторы, влияющие на определение содержаний Pd, Pt и сопутствующих элементов, во включениях микронных размеров в матрице сульфидных минералов. Аналитический подход основан на вариациях оптимальных условий возбуждения аналитического сигнала, ускоряющего напряжения, интенсивности электронного пучка и диаметра зонда, для оценки области генерации рентгеновского излучения при РСМА исследуемых микровключений. Оценено и учтено влияние элементов окружающей матрицы на точность определения содержаний Pd и Pt в анализируемых микровключениях на приборах с кристалл-дифракционной и энергодисперсионной регистрацией интенсивностей, при разных способах учета матричных эффектов. Результаты проведенных экспериментов позволили успешно идентифицировать элементы, принадлежащие микрофазам платиновых минералов и вмещающей матрице. Предложенный подход позволил оценить уровни примесных элементов в их составе. На основе разработанного способа был изучен состав микровключений минералов майченерита (PdTeBi), фрудита (PdBi₂), некоторых других микронных фаз палладия и сложных соединений, содержащих Pt и другие элементы Sb, Te, Sn, в окружающих матрицах сульфидных минералов (халькопирита, пирротина, пентландита, борнита, арсенопирита) в образцах горных пород рудопроявления Желос.

Kolotilina T.B., Nikolaev A.V., Finkelstein A.L., Mekhonoshin A.S., Belozeroва O.Yu. Platinum Group Minerals in Sulfide Droplets of the Zhelos Intrusion, Eastern Sayn, Russia: First Data // Minerals. 2025. Vol. 15. P. 612.

<https://doi.org/10.3390/min15060612>.

Финкельштейн А.Л., д.т.н., finkel@igc.irk.ru; Белозерова О.Ю., obel@igc.irk.ru (Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, лаборатория рентгеновских методов анализа, Иркутск).

9. Совместно с коллегами из НИИ и Музея антропологии МГУ и Геологического института РАН разработаны методики пробоотбора и анализа костного палеоантропологического материала для определения переходных элементов методами рентгенофлуоресцентной спектроскопии с полным внешним отражением и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Предложен способ анализа костного материала в виде суспензий, а также экспрессного растворения костного материала смесью пероксида водорода и азотной кислоты в мягких условиях.

Статкус М.А., д.х.н., statkusma@my.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа, совместно с НИИ и Музеем антропологии МГУ и Геологическим институтом РАН).

10. Методом РФА ПВО определен качественный состав красок в нативных образцах без пробоподготовки. «Светлый зеленый»: основные – Zn, Ba, Co; примеси – Fe, Pb, Bi, S, Ca. «Синий»: основные – Co, Zn; примеси – S, Ba, Pb, Ca, Fe. «Темный зеленый»: основные – Cr, Co, Zn; примеси – Ca, Fe,

Pb. «Красный»: основные – Co, Ni; примеси – Ca, Fe, Zn, La, Pr, Pb. Предложен внутренний стандарт (титан) для количественного анализа краски «темный зеленый». Правильность определения подтверждена методом «введено-найдено» на модельном растворе. Определены элементы, входящие в состав краски – Cr (s_r - 8%), Co (s_r - 5%), Zn (s_r - 6%), Ca (s_r - 8%), Fe (s_r - 6%), S (s_r - 10%), Pb (s_r - 50%). Рассчитан состав краски «темный зеленый» – 1 Cr: 0.6 Ca: 0.50 Co: 0.4 Zn: 0.14 Fe: 0.1 S: 0.05 Pb (неравномерно распределенная примесь).

Филатова Д.Г., к.х.н., gak1.analyt@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ спектроскопических методов анализа).

11. Исследована возможность определения формы нахождения тантала и ниобия в различных соединениях с помощью отношения интенсивностей линий характеристического излучения этих элементов. На примере металлических Ta и Nb, а также соединений TaH, NbH, Ta₂O₅, Nb₂O₅ показана возможность определения формы нахождения Ta и Nb с использованием серийного рентгенофлуоресцентного спектрометра со средним разрешением «СПЕКТРОСКАН МАХ- GVM». Отличать соединения Ta удаётся как с использованием отношений высоколежащих / низколежащих переходов, так и при помощи двух низколежащих переходов. Важно отметить, что с использованием отношения наиболее интенсивных ($L\beta_{2,15}/L\beta_1$) линий L-серии Ta также удалось различить все три формы его нахождения. Предлагаемый режим регистрации спектров совместим с режимом, используемым в стандартной схеме рентгенофлуоресцентного анализа, что в принципе позволяет определять элементный состав и форму нахождения аналитов в одном эксперименте.

Ахметджанов Т.Ф., Марьина Г.Е., Межевая Л.Ю., Филиппов М.Н. Определение формы нахождения ниобия и тантала по рентгенофлуоресцентным спектрам на волновом спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАХ GVM»// Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2025. Т. 91. № 11. с.34-40. DOI: 10.26896/1028-6861-2025-91-11-34-40.

Ахметжанов Т.Ф., к.х.н., mozgoglot@yandex.ru (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Центр коллективного пользования физическими методами исследования веществ и материалов, Москва), Филиппов М.Н., mn@filippov.org.ru, д.ф.м.н. (Университет науки и технологий МИСиС, Москва, кафедра сертификации и аналитического контроля).

Атомно-эмиссионные методы

1. Изучено влияние химически активных фторсодержащих добавок AlF₃, ZnF₂, и SrF₂ на характер испарения труднолетучих элементов, В, Ве, Cr, Fe, Hf, Мо, Si Ti V из графитового порошка дуговым атомно-эмиссионным методом. Найдено, что наиболее эффективной добавкой является фторид цинка, использование которого позволило снизить пределы определения

исследуемых элементов на 2–3 порядка, до $n \times 10^{-7}$ – $n \times 10^{-5}$ мас.% и улучшить в два раза сходимость результатов их определения по сравнению с анализом графитового порошка без использования добавок.

Золотарёва Н.И., Гражулене С.С. grazhulene@mail.ru (Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, Экспериментально-технологическая лаборатория. Черноголовка).

2. Продолжены исследования состава и распределения легирующих элементов в защитном цинковом покрытии на поверхности стального проката. Разработана методика послойного анализа цинкового покрытия стального проката для определения концентраций нормируемых легирующих элементов в диапазонах Mg (0,03 – 5,04 %), Al (0,07 – 12,4 %), Si (0,06 – 0,27 %), Fe (0,7 – 98,0 %), Cu (0,2 – 5,95 %), Zn (80,0 – 99,0 %), Sn (0,01 – 0,50 %), Pb (0,003 – 2,07 %), соответствующих требованиям нормативной документации на продукцию. Для обеспечения равномерного катодного распыления исследуемого материала экспериментально выбраны параметры плазмы тлеющего разряда (мощность 40 Вт и давление 700 Па). Построение градуировочных графиков в координатах «интенсивность излучения – концентрация элемента (умноженная на скорость распыления)», проводили с применением стандартных образцов цинковых сплавов: ЦАМ9-1.5, ЦАМ 10-5, ЦАМ9-1.5Л, ЦАМ10-5Л, ЦАМ9-1.5ч, ЦАМ10-5ч (комплект М28), ЦФ4, ЦА4о (комплект М92), ЦАМ9-1.5 (комплект М160); 41XZ3: IMPURITIES IN ZINC (CAST) и чистого железа: 098. Относительные скорости распыления стандартных образцов, позволяющие получить послойные профили распределения элементов в координатах концентрация (С, %) – глубина (h, мкм), рассчитывали с учетом глубины катодного травления, полученных на профилометре. Обоснована корректировка градуировочных графиков с учетом комплекса математических алгоритмов взвешенного метода наименьших квадратов и показателей неопределенности. С применением критерия Стьюдента проведена проверка правильности определения концентрации Mg, Al, Si, Cu, Sn, Pb, установлены оптимальные значения рабочих параметров плазмы тлеющего разряда и условий применения комплекса математических алгоритмов корректировки градуировочных графиков. Методика апробирована на производственных образцах стального проката с цинк-алюминий-магний-цинковым покрытием и применяется в лаборатории металлургического предприятия.

Лепилина М.Ю., Якубенко Е.В., Ермолаева Т.Н., Барановская В.Б. Применение метода атомно-эмиссионной спектроскопии тлеющего разряда для послойного анализа сталей с цинковым покрытием // Журнал аналитической химии (в печати).

Ермолаева Т.Н., д.х.н., erm1704@gmail.com; Якубенко Е.В., alyenka13@yandex.ru (ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»).

3. **АЭС-ИСП методика анализа оксида тербия.** Разработана методика определения содержания 48 элементов в оксиде тербия (III) методом АЭС-ИСП. Изучены матричные влияния основы проб на сигналы аналитов.

Показано, что оптимальная концентрация тербия в растворах для анализа составляет 0,75 г/л. Оптимизированы инструментальные параметры АЭС-ИСП анализа. Достигнуты ПО 48 аналитов в диапазоне от $n \cdot 10^{-5}$ до $n \cdot 10^{-2}$ % мас. при относительной погрешности результатов измерений, не превышающей 15%.

АЭС-МП методика анализа меди. Предложена методика анализа меди методом атомно-эмиссионной спектроскопии с микроволновой плазмой (АЭС-МП). Изучено влияние меди на сигналы эмиссии элементов. Показано, что количественный анализ следует проводить с использованием градуировки по адекватным образцам сравнения с тем же основным составом, что и анализируемые пробы. Достигнуты ПО аналитов (Ag, As, Bi, Cd, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn и Zn) на уровне от 10^{-4} до 10^{-2} % мас., что демонстрирует возможность успешного применения метода МП-АЭС для анализа медных концентратов и черновой меди совместно с методом ИСП-АЭС. Подтверждена хорошая долговременная стабильность микроволновой плазмы, которая сохраняется при замене азота в распылительном потоке на аргон. Правильность предложенной методики подтверждена анализом стандартных образцов меди.

Медведев Н.С., к.х.н., medvedev@niic.nsc.ru; Полякова Е.В., e.polyakova.niic@gmail.com (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, аналитическая лаборатория. Новосибирск).

Атомно-абсорбционные методы

1. Предложено конструктивное решение графитового тигельного атомизатора с ячейками-каналами для прямого атомно-абсорбционного анализа порошковых образцов. Зона испарения в тигле дополнена графитовым блоком (контейнером) с ячейками-каналами для размещения и разделения дозируемой массы порошкового образца. Таким образом, изменены условия термического разложения и испарения органоминеральных образцов, уменьшены помехи и снижены пределы обнаружения элементов (Ag, Bi, Cd, Tl) в концентратах и взвесах природных вод.

Цизин Г.И., д.х.н., tsisin@analyt.chem.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра АХ, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа, совместно с Институтом фундаментальных проблем биологии РАН, Пуцино).

2. **Методика ААС-ЭТА анализа сурьмы с предварительным концентрированием примесей.** Исследована эффективность использования предварительного концентрирования примесей реакционной отгонки основы проб при анализе сурьмы высокой чистоты методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией (ААС-ЭТА). Отгонку основы проб проводили в виде трихлорида сурьмы в проточном реакторе под действием газообразного хлора. Разработана методика ААС-ЭТА анализа сурьмы, которая позволяет определять содержания Ag, Au, Cd, Co, Mn, Ni, Pb, Pd с пределами обнаружения от $3 \cdot 10^{-9}$ до $4 \cdot 10^{-8}$ % мас. Показано, что при выбранных условиях основа проб отгоняется более чем на 99,99 %, что

обеспечивает отсутствие матричных влияний при анализе. Правильность результатов ААС-ЭТА анализа подтверждена способом «введено-найдено». Экспериментально установлено, что метод ЭТА-ААС позволяет снизить ПО ряда аналитов в 5-150 раз по сравнению с ИСП-АЭС анализом с предварительным концентрированием примесей.

Медведев Н.С., к.х.н., medvedev@niic.nsc.ru ; Петрова Н.И., petrova@niic.nsc.ru (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева) СО РАН, аналитическая лаборатория. Новосибирск).

Спектрофотометрические методы

1. По данным спектрофотометрии рассчитаны константы ионизации (рК) функциональных групп молекул антибиотиков: цефтриаксона натрия, цефазолина натрия, цефуроксима натрия и цефотаксима натрия. Полученные значения рК отражают кислотно-основные свойства функциональных групп, таких как -COOH, окситриазинон и тиазольное кольцо в структуре цефалоспориновых антибиотиков, что указывает на различную степень ионизации в зависимости от рН среды.

Фам Тхи Гам, аспирант кафедры аналитической химии Воронежского ГУ (Ханойский университет бизнеса и технологий), Зяблов А.Н., д.х.н., alex-n-z@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

2. Разработан способ спектрофотометрического определения флавоноидов методом Фирордта в присутствии аскорбиновой кислоты (антиоксиданта, подавляющего деградацию полифенолов) после пробоподготовки QuEChERS. Такой подход позволяет определять концентрации одновременно нескольких аналитов в смеси без их предварительного разделения. В качестве сорбента использовали наноструктурированный аналог SBA-15, синтезированный с добавкой этанольного раствора кверцетина. Для рассматриваемого твердофазного материала отмечено увеличение плотности свободных силанольных групп. При анализе ацетонитрильных растворов с пробоподготовкой QuEChERS это приводит к повышению степени извлечения примесных компонентов и повышению правильность определения кверцетина.

Карпов С.И., д.х.н., karsiv@mail.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

3. Разработан способ экстракционно-люминесцентного определения сульфаниламидных препаратов (сульфаниламид, сульфаметазин, сульфаметоксазол) с использованием бытового цветорегистрирующего устройства – калибратора мониторов i1Pro2. Определение основано на предварительном получении люминесцирующего производного сульфаниламидов с флуорескаминном и последующем извлечении продукта в небольшой объём несмешивающегося с водой органического растворителя. Использование калибратора мониторов для измерений позволяет реализовать

определение без предварительного отделения экстракта от водной фазы – достаточно в кювету поместить полимерную мембрану-разделитель, плотность которой меньше, чем у воды, и выше, чем у органической фазы – мембрана самопроизвольно располагается на границе раздела фаз и служит своеобразным дном новой кюветы, в которой проводят измерения. Показано, что экстракция определяемых веществ из 12.5 мл водной фазы в 2.5 мл органической фазы позволяет снизить предел обнаружения с 0.9 до 0.7 мкМ в случае сульфаниламида, с 0.8 до 0.4 мкМ в случае сульфаметазина и с 1 до 0.3 мкМ для сульфаметоксазола, увеличение соотношения объемов водной и органической фаз понижает предел обнаружения. Предложенный способ применим для определения сульфаниламидов в меде.

Safronova A.S., Vasilieva A.A., Bukharin S.M., Lukianova T.E., Halyamina M.D., Matiash M.V., Apyari V.V., Dmitrienko S.G. Monitor calibrator as a tool for extraction-fluorometric determination of sulfonamide drugs without separation of the phases. // Microchem. J. 2025. V. 209. Article 112877. DOI: 10.1016/j.microc.2025.112877.

Матяш М.В., к.х.н., masha13.1992@mail.ru; Апяри В.В., д.х.н., apyari@mail.ru; Дмитриенко С.Г., д.х.н., s.g.dmitrienko@yandex.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

4. Показано, что взаимодействие дофамина с флуорескаминном может быть положено в основу люминесцентного определения дофамина с использованием фотоаппарата, поскольку образующийся в результате этого взаимодействия продукт характеризуется максимумом люминесценции в видимой области (485 нм), и для возбуждения люминесценции достаточно светодиода, излучающего свет в ближней ультрафиолетовой области (395 нм). Реакцию следует проводить при рН 8–8.5 в фосфатном буферном растворе в течение 5 мин, флуорескамин в реакционную смесь стоит вводить в последнюю очередь. Оценены некоторые аналитические характеристики определения с помощью фотоаппарата и проведено их сравнение с характеристиками аналогичного определения дофамина с использованием профессионального спектрофлуориметра и спектрофотометра. Пределы обнаружения дофамина с помощью фотоаппарата, спектрофотометра и спектрофлуориметра составили 1.8, 1.6 и 0.5 мкМ, диапазон определяемых содержаний 5.4–50 мкМ, 4.8–100 мкМ, 1.5–100 мкМ соответственно. Определению не мешает присутствие распространенных неорганических ионов, содержание которых в 10 раз превышает содержание дофамина. Предложенный способ определения дофамина может быть использован для контроля качества лекарственных препаратов.

Громова С.А., Матяш М.В., Апяри В.В., Дмитриенко С.Г., Золотов Ю.А. Люминесцентное определение дофамина с помощью фотоаппарата. // Журнал аналит. хим. 2025. Т. 80. № 1. С. 52–61. DOI: 10.31857/S0044450225010054 (Gromova S.A., Matiash M.V., Apyari V.V., Dmitrienko S.G., Zolotov Yu.A. Luminescence determination of dopamine using a photcamera // J. Analyt. Chem. 2025. V. 80. No. 1. P. 76–84. DOI: 10.1134/S1061934824701557).

Матяш М.В., к.х.н., masha13_1992@mail.ru; Апяри В.В., д.х.н., apyari@mail.ru; Дмитриенко С.Г., д.х.н., s.g.dmitrienko@yandex.ru; Золотов Ю.А., академик РАН, zolotov.32@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

5. Получены ИК-спектры магнезона ХС (МХС) и люмогаллиона (ЛГ). Проведено сравнение влияния катионных ПАВ хлорида цетилпиридиния (ЦПХ) и бромида цетилтриметиламмония (ЦТАБ), неионных ПАВ Бридж-35 и Тритон X 100 и катионных полиэлектролитов полиэтиленimina (ПЭИ) и хлорида поли(диметилдиаллиламмония) (ПДДА) на спектры поглощения МХС и ЛГ. Изучено совместное влияние ЦПХ и ЦТАБ и неионных ПАВ, а также КПАВ и ПДДА. Показано, что локальное взаимодействие МХС и ЛГ с катионными ПАВ приводит к изменению протолитических равновесий в азосоединениях и образованию ионных ассоциатов с КПАВ с уникальным батохромным сдвигом в максимуме спектров поглощения на 90-100 нм. При введении катионных полиэлектролитов сдвиг максимума азосоединения не превышает 40-50 нм. Добавки мицеллярных концентраций неионных ПАВ улучшают устойчивость ионных ассоциатов, но слегка уменьшают величину батохромного сдвига. Показано, что на сдвиги в спектрах и устойчивость ионных ассоциатов влияет ионная сила раствора.

Штыков С.Н., д.х.н., shtykovsn@mail.ru (Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Институт химии, кафедра аналитической химии и химической экологии).

Методы колебательной спектроскопии

1. Методом ИК-спектроскопии НПВО проведен структурно-групповой анализ пленок полимеров с молекулярными отпечатками (ПМО) антибиотиков. Анализ показал, что процесс молекулярного импринтирования не изменяет лестничную структуру полиимида, это свидетельствует о сохранении в процессе синтеза ПМО характерной структуры материала. Сходство между ИК-спектрами ПМО и неимпринтированного полимера указывает на то, что процесс импринтирования в основном приводит к образованию полостей или селективных центров связывания в уже существующей полиимидной структуре, а не к перераспределению структуры полимера. Однако, для полимеров с отпечатками антибиотиков увеличивается интенсивность характеристических частот. Это может быть обусловлено легкой доступностью полученных отпечатков для молекул гидратной воды, что подтверждается характеристическими частотами для $\text{COO}^- \dots \text{H}_2\text{O}$ ($3055 - 3049 \text{ см}^{-1}$ и $2363 - 2359 \text{ см}^{-1}$).

Фам Тхи Гам, аспирант кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета (Ханойский университет бизнеса и технологий), Зяблов А.Н., д.х.н., alex-n-z@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

2. Метод колебательной спектроскопии в средней и ближней ИК-области с применением двукратного численного дифференцирования успешно использован для изучения межмолекулярных взаимодействий биологически активных молекул в природных и синтетических системах. В частности, исследованы реакции образования и структура молекулярных комплексов *L*-аскорбиновой кислоты с аминами, для которых экспериментально установлена антиокислительная активность. Кроме того, на основании предложенного подхода выполнены теоретическое моделирование и последующая проверка адекватности предложенных моделей к поликомпонентным композитным гидрогелевым системам, в составе которых *L*-аскорбиновая кислота выполняет роль переносимой к мишени молекулы БАВ.

Черепанов И.С., Тарасова Д.А., Егорова А.И. Изучение строения продуктов взаимодействия *L*-аскорбиновой кислоты с *n*-аминоацетанилидом // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025. Т. 15. N 4. С. 446–455. <https://doi.org/10.21285/achb.1014>.

Cherepanov I., Sidorov A., Beduleva L. et al. Infrared Spectral Patterns of Thyroglobulin Bearing Thyroiditogenic Epitopes. *Protein J.* 44, 68–78 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10930-024-10243-8>.

Черепанов И.С., к.х.н., cherchem@mail.ru; Тарасова Д.А., dashatarasova20@mail.ru; Егорова А.И., ealiapril@gmail.com (Удмуртский государственный университет, кафедра фундаментальной и прикладной химии, Ижевск).

3. ¹Разработаны ГКР (гигантское комбинационное рассеяние)-сенсорные поверхности на основе наноструктур оксида цинка (ZnO) с осажденными наночастицами серебра (Ag). Выявленная высокая активность (коэффициенты усиления составили в среднем 10^8 на примере индикатора Родамина 6Ж) полученных гибридных наноструктур ZnO/Ag и широкий диапазон линейности зависимости аналитического сигнала от концентрации индикатора (10^{-14} – 10^{-6} М) в сочетании с простотой получения сенсорных структур открывают широкие перспективы для их применения в химическом анализе и фотонике.

Kapitanova O., Kornilova A.V., Mitiushhev N.D., Veselova I.A., Timoshenko V.Yu, Baranov A.N. ZnO/Ag nanostructures for surface-enhanced Raman spectroscopy: Effect of wedge microcavity. // *Nanotechnology.* 2025. V. 36. Article 375702. DOI: 10.1088/1361-6528/ae01ab.

²Для мониторинга содержания хлорогеновой кислоты использованы неразрушающие методы колебательной спектроскопии – рамановская и ИК-спектроскопия. В результате предложен подход к определению хлорогеновой кислоты в подсолнечном шроте с использованием ИК-спектроскопии с пределом обнаружения 0.75 мас.%. Ее содержание в исследуемом образце подсолнечного шрота составило 5.6 мас. %, что подтверждено УФ-спектроскопией и ВЭЖХ. Показана принципиальная возможность анализа белковых изолятов с использованием рамановского рассеяния с пределом обнаружения хлорогеновой кислоты 1 мас.%.

Vershinina Y., Reshetnikova E., Lv S., Kolesnik I., Kapitanova O., Veselova I. Raman and IR spectroscopy as a promising approach to rapid and non-destructive monitoring of chlorogenic acid in protein matrices. // Frontiers in Chemistry. 2025. V. 13. Article 1543663. DOI: 10.3389/fchem.2025.1543663.

¹Капитанова О.О., к.х.н., olesya.kapitanova@gmail.com;
^{1,2}Веселова И.А., д.х.н., irina.veselova@mail.ru; ²Вершинина Ю.С., yu.vrshn@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической хими, НИЛ биоаналитических методов и оптических сенсорных систем).

4. Проведено комплексное исследование методом ИК-НПВО фракций оксида графена, разделённых по размерам, в сочетании с современным статистическим анализом и методами машинного обучения (МО). Собран набор данных из 75 образцов ОГ, синтезированных различными методами и подвергнутых различным способам постобработки с последующим фракционированием по размеру (0,2–70 мкм) и воспроизводимыми измерениями методом ИК-НПВО. К спектральным данным применены строгая предварительная обработка данных, МО-идентификация пиков и разработка признаков для выделения интерпретируемых спектральных дескрипторов. Модели логистической регрессии обучены в области отпечатков пальцев (1900–800 см⁻¹), как наиболее изученной и характеристической, а также в области высоких частот (3800–2500 см⁻¹). В области отпечатков пальцев показана высокую точность и выявлены корреляции между размером частиц и функциональными группами, такими как карбонильные, эпоксидные, ОН-группы спиртов и алифатические фрагменты. Область высоких частот, несмотря на всего нескольких информативных полос, продемонстрировала почти такую же прогностическую способность, особенно для малых и крупных фракций, то важно для быстрой классификации рассмотренных материалов.

Предложен метод ИК-молекулярных зондов для изучения кислотно-основных свойств оксидов графена (ОГ) с целью различения сайтов адсорбции Льюиса (Л) и Брэнстеда–Лоури (Б) на поверхности ОГ. Апробация метода проведена на коммерческих и синтезированных образцах оксида графена, полученных методом Хаммерса. Показано, что при адсорбции молекул ИК-активного зонда сайты связывания Брэнстеда появляются как новые полосы, отсутствующие в исходных спектрах зонда или ОГ, тогда как сайты связывания Льюиса проявляются как сдвиг (в среднем ± 5 см⁻¹) и уширение существующих полос зонда. Появление новых и значительные сдвиги положений существующих полос позволили идентифицировать сайты Льюиса и Брэнстеда. Характеристические полосы наблюдаются при 1540 см⁻¹ (Б), 1485 см⁻¹ (Б+Л) и 1440 см⁻¹ (Л). Интерпретацию полос подтвердили квантово-химическими расчётами спектров ИК-зонда наряду со сравнительным анализом ИК-спектров аналогичных систем. Подготовка образцов для тестирования требует предварительной диализной очистки для удаления следов потенциальных связывающих молекулы зонда веществ, например Mn²⁺. Насыщение ОГ в паровой фазе девятью отобранными органическими соединениями показала, что пиридин наиболее пригоден как

молекулярный зонд за счет хорошего разрешения полос и селективного взаимодействия. Дейтерирование зонда и стерические эффекты, обусловленные сложной молекулярной структурой, оказывают заметное влияние на результаты. ИК-зондовое тестирование дополнено измерениями изопиестической адсорбции. Результаты показали, что метод ИК-молекулярных зондов позволяют оценить концентрацию адсорбционных центров на поверхности ОГ.

Ratova D.-M.V., Kaplin A.V., Khitrov M.D., Eremina E.A., Korobov M.V., Proskurnin M.A., Mikheev I.V. Topochemical speciation of acidic sites in graphene oxide via tailored ftir probes. Analytical Chemistry, 2025 97 (45), 25004-25019 DOI: 10.1021/acs.analchem.5c03415.

Проскурнин М.А., д.х.н., proskurnin@gmail.com; Михеев И.В. mikheev.ivan@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ спектроскопических методов анализа).

5. Изучено распределение органического вещества в узких (от нанометровых до микрометровых) фракций коллоидных частиц черноземной почвы при помощи мембранной фильтрации. Для исследования использована мультимодальная (ИК- и флуоресцентная) двумерная корреляционная спектроскопия (2D-COS). 2D-COS ИК-НПВО предоставляет большой объем информации о характерных полосах по сравнению с традиционными вариантами ИК-спектроскопии, особенно в диапазонах C–H (3000–2800 и 1450–1300 см⁻¹). Флуоресцентная спектроскопия в варианте регистрации матриц возбуждения-эмиссии (МВЭ) совместно с 2D-COS показала, что флуоресцентные показатели и соотношения гумино-подобных и биогенных соединений воспроизводимы, при этом показывают существенные различия между размерными фракциями: максимальное количество гумино-подобных соединений найдено в самых крупных (2–10 мкм) и самых мелких фракциях (0,01–0,03 мкм), тогда как в средних по размеру частицах (0,05–1 мкм) доминируют фульвокислоты и биогенные соединения. Гетероспектральная 2D-COS (флуоресценция–ИК) увеличивает точность идентификации и оценки состава почвенного органического вещества. Показано, что интенсивность ИК-полос C–H групп коррелирует с тирозиноподобными полосами МВЭ и биогенными флуоресцентными показателями, тогда как величины сигналов ИК-полос карбоксильных групп хорошо согласуются с величинами сигналов полос гуминовых соединений в МВЭ и соответствующими флуоресцентными показателями. Профили элементов в исследованных фракциях коррелируют с флуоресцентными показателями; гуминовые — с P, Cu и Zn; биогенные — с Cd, K, S и Ca.

Волков Д.С., к.х.н., dmsvolkov@gmail.com; Проскурнин М.А. . д.х.н., proskurnin@gmail.com; Рогова О.Б., obrogova@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория спектроскопических методов анализа).

Другие спектроскопические методы

1. ¹H-ЯМР-спектроскопия на частоте 80 МГц была использована для дифференциации молочных продуктов различного происхождения. Было исследовано более 100 образцов продуктов (йогурт, молоко, (кулинарные) сливки, творог и сгущенное молоко). Сигналы углеводов, в частности лактозы, глюкозы, сахарозы и галактозы, могут быть использованы для дифференциации безлактозных, содержащих лактозу продуктов и растительных заменителей. Дополнительная информация содержится в сигналах жирных кислот исследуемых продуктов. Исследовательский анализ на методе главных компонент (РСА), подтвердил и дополнил результаты визуальной интерпретации спектров. Низкопольный ЯМР может стать более быстрой и дешевой альтернативой традиционным методам контроля маркировки пищевых продуктов как животного, так и растительного происхождения.

Метод гетероядерной одноквантовой корреляции (HSQC) ЯМР широко используется для исследования сложных смесей. В этом исследовании метод HSQC-ME был применен для количественного анализа на ЯМР-устройствах с низким разрешением (80 MHz). Параметры измерения, такие как количество сканирований и приращения t_1 , а также время повторения, были оптимизированы для достижения наилучшего отношения сигнал/шум. Стандартизация на основе внутреннего стандарта с использованием поправочного коэффициента и подходов калибровки были применены для активных фармацевтических ингредиентов/стимуляторов в фармацевтических продуктах и диетических добавках. Средняя погрешность составила 5,0% и 7,7%, соответственно. Метод HSQC-ME характеризуется неопределенностью измерения менее 4% и пределами обнаружения менее 3 мг/мл для времени измерения 2 ч. Полуколичественный анализ HSQC-ME органических кислот в электронных сигаретах может быть выполнен с точностью до 25% на ЯМР-приборах с низким разрешением в случае перекрытия 1D ЯМР сигналов и в присутствии интенсивных сигналов растворителя.

Jurgenson, N., Monakhova Yu, Kirsanov, D. Multivariate calibration transfer between ATR-FTIR and NIR spectrometers: Electronic cigarette refill fluids case study. Microchemical Journal, (2025). 212, 113375. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113375>.

Количественный ядерный магнитный резонанс (qNMR) считается мощным инструментом для измерения абсолютного количества соединений в сложных смесях. В этом исследовании производительность количественного анализа на ЯМР-устройствах с низким разрешением была оценена для представительного набора из 33 лекарственных препаратов. Систематически были оценены подготовка образцов и параметры измерения и обработки сигналов. Степень извлечения варьировалась от 97 до 103% и была достигнута при отношении сигнал/шум (SNR) равном 300 с использованием дейтерированных растворителей. Для недейтерированных растворителей степень извлечения составляла от 95 до 105%. Средняя погрешность составила 1,4% и 2,6% для дейтерированных и недейтерированных

растворителей соответственно. Ошибочные результаты могут быть получены для недейтерированных растворителей, если сигналы расположены близко к областям подавления сигналов растворителя.

Adels, K., Monakhova, Y.B. What Is the Accuracy of Quantitative Analysis by Low-Field NMR Spectroscopy Using Internal Standard: Systematic Study of Finished Medicinal Products?. Appl Magn Reson 56, 1789–1810 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00723-025-01804-w>.

Монахова Ю.Б., д.х.н., yul-monakhova@mail.ru; (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, Институт химии, кафедра общей и неорганической химии).

2. Проведен цикл работ по использованию тушения люминесценции легированных квантовых точек CdZnSeS/ZnS, покрытых различными поверхностными тиолигандами: тиогликолевой, 3-меркаптопропионовой и дигидролипоевой кислотами для определения доксорубина и митоксантрона. Установлено, что природа лигандов на поверхности квантовых точек оказывает существенное влияние на чувствительность определения. Выбраны оптимальные условия анализа, включая разведение плазмы и концентрацию квантовых точек. Времяразрешенное тушение люминесценции квантовых точек и измерения поглощения позволили установить, что процесс тушения происходит по комбинированному механизму. При низких концентрациях антрациклинов преобладает динамическое тушение, при более высоких (2,5 мкМ для доксорубина) резко возрастает вклад статического тушения. Было проведено определение доксорубина и митоксантрона в цельной крови человека и сравнение результатов с другими методами определения препаратов в крови. Результаты метода сопоставимы с результатами высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-вид детектированием.

Mescheryakova S.A., Koganova D.G., Tsyupka D.V., Kornilov D.A., Pidenko P.S., Drozd D.D., Goryacheva O.A., Goryacheva I.Yu., Doxorubicin detection in plasma and blood using a luminescence turn-off nanosensor based on alloyed CdZnSeS/ZnS quantum dots, Microchimica Acta 2025, Vol. 192, 416.

Коганова Д.Г., Цюпка Д.В., Дрозд Д.Д., Мещерякова С.А., Пиденко П.С., Корнилов Д.А., Горячева О.А., Горячева И.Ю. Определение доксорубина на основе тушения люминесценции сплавных квантовых точек, Журнал аналитической химии, 2025, том 80, № 12, с. 1319–1330.

Tsyupka D.V., Drozd D.D., Pidenko P.S., Khudina E.A., Presnyakov K.Y., Koganova D.G., Kornilov D.A., Goryacheva O.A., Goryacheva I.Y., Luminescence quenching of alloyed quantum dots for mitoxantrone detection: in search of the ideal thioligand. Microchemical Journal, 2025, 219, 115919.

Горячева И.Ю., д.х.н., goryachevaiy@mail.ru (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, кафедра общей и неорганической химии).

3. Изучено влияние различных катехоламинов на люминесцентные свойства кремниевых наночастиц (SiNPs). В присутствии катехоламинов происходит изменение спектральных свойств наночастиц, зависящее от

природы вещества: дофамин вызывает снижение интенсивности люминесценции SiNPs при 445 нм; в присутствии норадреналина и адреналина в спектре люминесценции SiNPs появляется максимум люминесценции при 500 и 510 нм соответственно. Интенсивность при 445 нм или соотношение интенсивностей при 500 (510) нм и 445 нм можно использовать как аналитические сигналы при определении соответствующих катехоламинов. Пределы обнаружения дофамина, норадреналина и адреналина составили 2, 0.06 и 0.14 мкМ, соответственно. Предложенный способ определения катехоламинов применим для анализа лекарственных препаратов. SiNPs представляют собой перспективную «зеленую» альтернативу многим другим аналитическим реагентам для определения катехоламинов.

Vasilyeva A.A., Holmanskikh D.D., Fokina A.S., Matiash M.V., Kolesnik I.V., Maksimov S.V., Apyari V.V., Dmitrienko S.G. Silica nanodots: Luminescent effects and insights for the determination of catecholamines. // J. Photochem. Photobiol. 2025. V. 459. Article 116034. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2024.116034.

Матяш М.В., к.х.н., masha13_1992@mail.ru; Апяри В.В., д.х.н., apyari@mail.ru; Дмитриенко С.Г., д.х.н., s.g.dmitrienko@yandex.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

4. Показана возможность люминесцентного и цветиметрического определения норадреналина с использованием легко синтезируемых из доступных реагентов кремниевых наноточек (SiNDs), а также с помощью коммерчески доступного флуорескамина. Для цветиметрического определения достаточно использования смартфона бюджетного класса стоимостью около 20 USD при облучении внешним источником света (ультрафиолетовая лампа с длиной волны излучения 395 нм). Определение с помощью SiNDs как в случае люминесцентного, так и цветиметрического анализа характеризуется большей чувствительностью по сравнению с определением с использованием флуорескамина (пределы обнаружения 0.06 и 0.1 мкМ при использовании SiNDs и 0.3 и 0.5 мкМ при использовании флуорескамина), а также выгодно отличается стоимостью используемых реактивов и соответствием принципам «зелёной химии». Предложенные способы определения применимы для анализа лекарственных препаратов.

Vasilyeva A.A., Matison A.D., Matiash M.V., Maksimov S.V., Apyari V.V., Dmitrienko S.G., Zolotov Y.A. Silica nanodots versus fluorescamine: the fluorometric and colorimetric determination of norepinephrine // Microchem. J. 2025. V. 218. Article 115717. DOI: 10.1016/j.microc.2025.115717.

Разработан экспрессный, простой и селективный способ люминесцентного определения аденозин-5'-трифосфата с использованием нанокластеров меди. Он основан на селективном ингибировании процесса тушения люминесценции нанокластеров меди ионами Cu^{2+} , что обусловлено связыванием тушителя с фосфатными группами аналита. Молярную концентрацию АТФ, вступившего во взаимодействие с тушителем, оценивали по увеличению интенсивности люминесценции нанокластеров меди при длине волны 420 нм. Изучено влияние времени взаимодействия, pH раствора,

концентрации нанокластеров меди, природы и концентрации тушителя, концентрации АТФ и порядка смешивания реагентов на величину аналитического сигнала. Установлено, что максимальная интенсивность люминесценции нанокластеров меди в присутствии тушителя и АТФ достигается через 5 мин после смешивания растворов всех реагентов в диапазоне рН 7–9. Предел обнаружения аденозин-5'-трифосфата при выбранных условиях равен 10 мкМ, диапазон определяемых содержаний составляет от 30 мкМ до 2 мМ. Относительное стандартное отклонение при определении 1 мМ АТФ не превышает 0.05. Установлено, что люминесцентному определению АТФ с использованием нанокластеров меди не мешают 10-кратные избытки ионов Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , HSO_4^- , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-} и H_2PO_4^- . Тяжелые ионы, парамагнитные молекулы и химические вещества, образующие с АТФ нелюминесцентные комплексные соединения, могут оказывать значительное влияние на селективность разработанного подхода. Предложенный способ определения аденозин-5'-трифосфата успешно применен для анализа фармацевтических препаратов и модельных систем, имитирующих состав сточных вод и искусственной мочи.

Разработан и теоретически обоснован оригинальный подход к люминесцентному определению L-цистеина, в основе которого лежит селективное взаимодействие этой аминокислоты с ионами меди(II), выступающими в роли эффективных тушителей люминесценции нанокластеров меди. Показано, что комплексообразование по сульфгидрильной группе аналита приводит к изменению спектральных характеристик люминесценции, что позволяет использовать данные изменения в роли аналитического сигнала, линейно связанного с содержанием L-цистеина в анализируемом растворе. Установлено, что максимальная интенсивность люминесценции нанокластеров меди при длине волны 420 нм в присутствии 5 мМ раствора сульфата меди(II) достигается при комнатной температуре через 5 мин после добавления 1 мМ раствора L-цистеина в диапазоне рН 7–8. Предел обнаружения L-цистеина в выбранных условиях равен 2 мкМ, диапазон определяемых содержаний составляет 6–1000 мкМ. Оценена селективность предложенного подхода по отношению к серосодержащим соединениям, а также распространенным неорганическим ионам. Валидация разработанной методики проведена на образце фармацевтического препарата «Аминовен Инфант. Раствор для инфузий 10%». Рассчитанное значение молярной концентрации L-цистеина в образце фармацевтического препарата составило (0.47 ± 0.02) мМ ($n = 3$, $p = 0.95$).

Фурлетов А.А., к.х.н., aleksei.furletov@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

5. Предложен способ сорбционно-флуориметрического определения энрофлоксацина в водных растворах с использованием сенсibilизированной флуоресценции на поверхности нановолокна, полученного методом электроспиннинга. Изучено влияние природы полимерных волокон, концентрации ионов тербия, кислотности среды и природы поверхностно-

активного вещества на степень извлечения энрофлоксацина и интенсивность флуоресценции аналитической системы. Лучшим в качестве сорбента выбрано волокно полиакрилонитрила, сформированное из 13%-го раствора в диметилформамиде. Показано, что в присутствии ионов тербия степень извлечения фторхинолона возрастает в 5 раз и достигает 91%. Предлагаемый сорбционно-люминесцентный способ определения энрофлоксацина отличается низким пределом обнаружения $1.2 \cdot 10^{-7}$ М и достаточно широким диапазоном определяемых содержаний $3.7 \cdot 10^{-7}$ – $5 \cdot 10^{-4}$ М.

Сярдина А.А., Юрова Е.В., Смирнова Т.Д., Русанова Т.Ю. Сорбционно-флуориметрическое определение энрофлоксацина с использованием волокон, полученных методом электроформования. ЖАХ, 2026, Т.81 (в печати).

Смирнова Т.Д., д.х.н., smirnovatd@mail (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, кафедра аналитической химии и химической экологии).

6. Вариант термолинзовой спектроскопии с обратной связью использован для стационарных фототермических измерений и времяразрешенных измерений динамики образования термолинзы для сравнения прецизионности и чувствительности измерений в водных растворах полиэтиленгликолей (ПЭГ) различной молекулярной массы для ряда модельных систем (ферроин, комплексы кобальта с нитрозо-нафтолами и водные дисперсии фуллеренов). Проведено сравнение термолинзовых измерений в однофазных водных растворах ПЭГ и в условиях экстракционного концентрирования в двухфазных водных системах на основе ПЭГ. Показано, что в ПЭГ-содержащих средах времяразрешенные кривые развития термолинзового эффекта характеризуются лучшей стабильностью и большим разделением во времени самого термолинзового эффекта и мешающего явления термофореза (эффекта Соре), чем в немодифицированных полимерах водных средах. Для увеличения правильности измерений температуропроводности выбраны условия, в которых достигается минимальное отклонение от теоретического развития кривой, а эффект Соре не проявляется (50–300 мс с начала цикла измерений). В ПЭГ-содержащих средах достигается лучшее согласие динамики развития термолинзового эффекта с теорией даже для тонкодисперсных систем (водные дисперсии фуллеренов), что обеспечивает существенный рост чувствительности термолинзовых измерений. Прецизионность термолинзовых измерений в растворах ПЭГ выше по сравнению с водными растворами за счет меньших флуктуаций сигнала, что позволяет дополнительно увеличить чувствительность термолинзовых измерений в таких средах. Предложены условия экстракционно-термолинзового определения кобальта с 2-нитрозо-1-нафтолом, основанного на распределении окрашенного комплекса в двухфазной водной системе на основе ПЭГ и фосфат-ионов (K_2HPO_4 , NaH_2PO_4 или $(NH_4)H_2PO_4$), и последующего их термолинзового определения в экстракте. Пределы обнаружения кобальта с 2-нитрозо-1-нафтолом в водной системе на основе фосфатов–ПЭГ, а также с нитрозо-Р-солью в водной системе на основе сульфата аммония–ПЭГ составили: 1 мкмоль/л (532 нм, мощность

индуцирующего излучения 10 мВт); предел обнаружения кобальта для комплекса с нитрозо-Р-солью (мощность индуцирующего излучения 100 мВт) составил 0.2 мкмоль/л. Для водных дисперсий фуллеренов показан рост чувствительности измерений в два раза по сравнению с водными средами без ПЭГ.

Проскурнин М.А., д.х.н., proskurnin@gmail.com; Хабибуллин В.Р., vladhab1995@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ спектроскопических методов анализа; Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского) РАН, Москва).

7. Разработан метод получения соединений ряда люминола на основе эффективного перекрестного связывания бромфталимида, как универсального реагента. Универсальный модульный подход к синтезу ряда соединений позволил получить два класса фотоактивных молекул: высокофлуоресцентные 6-арил-4-амино-N-метилфталимиды и хемилюминесцентные 7-арилпроизводные люминола. Показано, что введение в молекулу люминола электронодонорных арильных заместителей значительно повышает квантовые выходы хемилюминесценции молекул, что позволило снизить пределы обнаружения перекиси водорода методом хемилюминесценции. Взаимосвязь структура-свойства исследованного ряда молекул изучена экспериментальными и теоретическими методами и позволила установить закономерности между стереоэлектронным строением молекул и их спектральными (поглощение, флуоресценция) и хемилюминесцентными свойствами.

B.C. Bimberg, F.K. Blaser, P.S. Pidenko, J. Recio Ramos, E Fedotova, B.Mueller, N.A. Burmistrova, A. Baeumner, A.Duerkop, A. Jacobi von Wangelin. Fluorescent and Chemiluminescent Dyes with Aryl Phthalimide and Aryl Luminol Chromophores. ChemPhotoChem, 2500064. <https://doi.org/10.1002/cptc.202500064>.

Бурмистрова Н.А., д.х.н., naburmistorba@mail.ru (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, кафедра общей и неорганической химии).

Масс-спектрометрические и родственные им методы

1. В рамках федерального проекта «Развитие отечественного приборостроения гражданского назначения для научных исследований» в НИЯУ МИФИ в консорциуме с ведущими российскими научными, образовательными и производственными организациями (ИАП РАН, БФУ им. И. Канта, 1-й МГМУ им. И.М. Сеченова, АО ЭЗАН) разработан первый российский серийный ЖХ-МС/МС на основе tandemного трехквadrupольного масс-спектрометра с ионизацией электрораспылением и успешно проведены его государственные приемочные испытания. Прибор рассчитан на широкий круг приложений, в первую очередь включающий направленный количественный анализ в научных исследованиях, а также в области

персонализированной и предиктивной медицины, ветеринарии и безопасности продовольственного рынка, криминалистики, безопасности, судебной экспертизы, экологического мониторинга и фармацевтики.

В рамках государственных приемочных испытаний тандемного трехкврупольного масс-спектрометра, оснащенного отечественным ВЭЖХ «Скороход» с автосамплером и двумя двухплунжерными насосами, в частности, было показано следующее. В диапазоне 1 – 10000 пг инъекции в колонку стандартного образца резерпина в ацетонитриле в режиме масс селективного детектирования (m/z 609 → m/z 195) линейность отклика характеризуется коэффициентом детерминации $R^2=0.997$ с уровнем значимости 0.95. Прибор продемонстрировал чувствительность, соизмеримую с приборами уровня Sciex Triple Quad 4500. Авторы рассчитывают выпустить установочную серию масс-спектрометров и приступить к серийному выпуску изделия. Планируется, что в дальнейшем созданный прибор станет младшей моделью разрабатываемой в настоящее время линейки дифференцируемых по чувствительности и диапазону масс тандемных масс-спектрометров, отличающихся конструкцией газодинамического интерфейса, а также исполнением квадрупольных фильтров масс и алгоритмом их управления.

Адамов А.Ю., Морозов А.А., Сильников Е.Е., Баранов А.А., Крайнов М.Н., Бугров П.В., Ведерников В.В., Шипицин И.Е., Ахметов А.Ф., Ястребцев А.А., Кирюшин А.Н., Сысоев А.А. Новый тандемный трехкврупольный масс-спектрометр с ионизацией методом электрораспыления // Масс-спектрометрия. 2025. Т.3, №2, С. 116-118.

Сысоев А.А., д.ф.-м.н., aasysoyev@mephi.ru (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва).

2. Исследователи из ИНЭПХФ им. В.Л. Тальрозе ФИЦ ХФ РАН приняли участие в создании масс-спектрометра нового поколения с времяпролетным многоходовым масс-анализатором сверхвысокого разрешения. Масс-анализатор в так называемой Y-MRT конфигурации явился результатом многолетних усилий д.ф.-м.н. А.Н. Веренчикова по созданию времяпролетных масс-анализаторов на принципиально новых принципах многоотражательных ионных зеркал, начатых в начале 2000-х годов в рамках фундаментальных исследований в Институте аналитического приборостроения РАН. Среди множества рассмотренных и разработанных им конфигураций зеркал и методов управления ионами, конструкция Y-MRT позволила создавать траектории пролёта ионов до 100 метров, обеспечивая разрешающую способность по массе более 1 000 000 в широком диапазоне масс ионов, включая ионы больших биомолекул, пептидов и белков. Такое разрешение является самым высоким на сегодняшний день во времяпролетной масс-спектрометрии и сравнимо по этому показателю с безальтернативной до недавнего времени в области сверхвысоких разрешений масс-спектрометрией ионного циклотронного резонанса, превосходя ее на порядки по скорости получения масс-спектров.

Сотрудники Лаборатории физико-химических методов исследования структуры веществ Института приняли участие в реализации развиваемого в лаборатории метода экспресс-анализа протеомов на основе прямой хроматомасс-спектрометрической идентификации белков DirectMS1 на этом новом масс-анализаторе. В задачи работы входила реализация метода экспресс-анализа протеомов для использования в различных приложениях протеомики и аналитической химии. Полученные в рамках этих работ результаты представляют первую демонстрацию времяпролетной многоотражательной масс-спектрометрии в конфигурации Y-MRT для анализа клеточных протеомов.

Vorobyev A.V., Makarov V. V., Kozlov S.P., Verenchikov A.N., Ivanov M.V., Gorshkov M.V., A Novel Ultrahigh-Resolution Y-Injection Multireflecting Time-of-Flight Mass Spectrometer for Bottom-Up Proteomics // Analytical Chemistry. 2025. V.97, №45, P.24946-24952. doi: 10.1021/acs.analchem.5c04182.

Горшков М.В., к.ф.-м.н., к.т.н., gorshkov@chph.ras.ru (Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе ФИЦ ХФ РАН им. Н.Н. Семенова).

3. Экспериментально подтверждено, что в алгоритме быстрого преобразования Фурье при сборе данных масс-спектрометра высокого разрешения Orbitrap усреднение отдельных микросканов не эквивалентно усреднению сканов. Исследовано влияние микросканов на абсолютный уровень шума; получены значения отношения сигнал/шум и результаты качественного молекулярного анализа природного органического вещества (ПОВ). Найдено, что структуры полученных спектров значительно отличаются, особенно по интенсивности и характеру шумовых пиков. Обнаружено, что увеличение числа микросканов приводит к возрастанию отношения сигнал/шум, что особенно важно для систем с большим содержанием низкоинтенсивных аналитических пиков, таких как ПОВ. Выявленное влияние значительно и должно учитываться как при лабораторных измерениях различных образцов, так и при сравнении результатов между лабораториями.

Волков Д.С., к.х.н., dmsvolkov@gmail.com; Проскурнин М.А., д.х.н., proskurnin@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ спектроскопических методов анализа).

4. Масс-спектрометрия высокого разрешения с преобразованием Фурье позволяет извлекать уникальную информацию, недоступную для других методов, о составе таких сверхсложных смесей, как гуминовые вещества. На регистрируемых масс-спектрах сигналы отдельных компонентов смеси оказываются разрешены. Им на основании значений m/z подбираются брутто-формулы. Однако такому нетаргетному анализу мешает наличие в масс-спектрах существенной доли пиков, сформированных шумом, которым ошибочно могут быть присвоены элементные составы.

В литературе предложено несколько методов цифровой обработки масс-спектров, направленных на удаление шума. При этом ранее не

рассматривалось использование в подобных алгоритмах значений фазы колебаний ионов, ϕ , которые можно вычислить с помощью преобразования Фурье. Из литературы известно о наличии систематической зависимости значения ϕ детектированных сигналов от m/z ионов в масс-анализаторах ионно-циклотронного резонанса и в системах типа Orbitrap. Также известно, что значения фазы информативны только для сигналов аналитов, а в остальных точках масс-спектра – это случайный шум. На этой основе разработан новый алгоритм фильтрации шума, основанный на использовании закономерностей, наблюдаемых в значениях фазы колебаний ионов.

В масс-спектрах гуминовых веществ, зарегистрированных в масс-спектрометре Orbitrap, действительно обнаружена зависимость $\phi(m/z)$. Разработан алгоритм, который классифицирует масс-спектрометрические сигналы на две группы. В первую входят пики, значение ϕ которых согласуется с найденной систематической зависимостью. Во вторую – пики, фаза которых существенно от неё отклоняется. Более детальный анализ второй группы позволил предположить, что в неё входят сигналы малоинформативные, вероятно, являющиеся шумом. Это позволило на основе описанного классификатора разработать алгоритм фильтрации шума. Результаты такой классификации можно использовать и для оценки эффективности удаления шума из масс-спектров. Для этого рассмотрели число удаляемых информативных и неинформативных сигналов при выбранной оценке уровня шума. Применение разработанных алгоритмов позволило увеличить долю пиков с присвоенными формулами в ходе нетаргетного анализа масс-спектров гуминовых веществ.

Первый алгоритм представляет собой фильтр шума, в основе которого лежит ранее не использовавшийся для такой задачи признак – фаза колебаний ионов. Второй – демонстрирует новый подход к оценке эффективности подобных фильтров шума.

Волков Д.С., к.х.н., dmsvolkov@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ спектроскопических методов анализа).

5. Предложен подход к определению марганца отдельно на поверхности и в объёме нанокompозитов $\text{SnO}_2/\text{MnO}_x$ для установления связи «условия синтеза – состав». Подход включает определение валового содержания Mn и Sn в растворах композита и Mn на его поверхности методом ИСП-МС с последующим расчетом содержания добавки в объёме материала. В качестве реагента кислотного восстановительного травления для определения марганца на поверхности исследованы растворы HCl , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, формальдоксима. Показано, что при обработке поверхности образцов раствором формальдоксима при 20 °С марганец растворяется на поверхности образца, в то время как олово в раствор не переходит. Разработана 4-х ступенчатая температурная программа для перевода в раствор SnO_2 , синтезированного при высокой температуре, в смеси кислот в автоклаве с микроволновой интенсификацией для последующего определения содержания Mn и Sn методом ИСП-МС. Показано, что

применение внутренних стандартов Mn/Cu и Sn/Rh позволяет снизить относительное стандартное отклонение результатов определения до 0,02. На основании полученных результатов определения Mn и Sn на поверхности и общего содержания рассчитано распределение марганца в композитах SnO₂/MnO_x между поверхностью и объемом. Показано, что марганец распределен между объемом и поверхностью образцов неравномерно. С увеличением времени отжига содержание марганца на поверхности композита снижается за счет диффузии добавки внутрь частиц SnO₂.

Эшмаков Р.С., Шерстобитов А.В., Филатова Д.Г., Румянцева М.Н. Изучение распределения марганца между поверхностной сегрегацией MnO_x и кристаллической структурой SnO₂ в нанокompозитах SnO₂/MnO_x методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, том 91, № 12, с. 14-19. DOI: 10.26896/1028-6861-2025-91-12-14-19.

Филатова Д.Г., к.х.н., gak1.analyt@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ спектроскопических методов анализа).

6. Наночастицы городской пыли, чрезвычайно подвижные в окружающей среде и легко проникающие в живые организмы, являются важным объектом экоаналитических исследований. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой в режиме анализа единичных частиц (МС-ИСП-ЕЧ) служит эффективным инструментом изучения антропогенных наночастиц. Критической стадией МС-ИСП-ЕЧ анализа наночастиц окружающей среды является пробоподготовка, как правило, включающая приготовление суспензий и выделение наночастиц из полидисперсного образца. В настоящей работе показано, что оптимальное соотношение образца пыли и экстрагента (воды) для выделения наночастиц методом центрифугирования составляет 1/500. Выявлено, что для исследований целесообразно брать навеску пыли массой 20 мг в 10 мл воды, что сокращает временные затраты при выделении наночастиц и позволяет определить их массовые концентрации со средним относительным стандартным отклонением, не превышающим 34 %. С использованием стандартного образца наночастиц золота оценена полнота выделения наночастиц из полидисперсного образца пыли, которая составила 102 ± 4 %. Оптимизированная методика пробоподготовки апробирована на примере образцов городской пыли Красноярска, определены массовые концентрации и медианный диаметр Cr-, Cu-, Zn-, Sn-, Sb-, W-, Pb-, Bi-содержащих наночастиц.

Ермолин М.С., к.х.н., ermolin@geokhi.ru (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва).

7. Методом газовой хромато-масс-спектрометрии с электронной ионизацией изучен состав образцов мазута, попавшего в окружающую среду в результате аварии танкеров в Керченском проливе в декабре 2024 г., а также образцов, отобранных на побережье Черного моря. Установлено, что контакт

с окружающей средой приводит к значительному изменению относительного содержания сравнительно легкокипящих соединений, включая низкомолекулярные алканы, пристан и фитан. В то же время отношение откликов высокомолекулярных устойчивых маркеров — полиароматических углеводородов (дибензотиофенов, фенантронов, хризенов) и реликтовых углеводородов (гопанов) — остается стабильным. На основе соотношений площадей пиков характерных ионов (например, m/z 191 для гопанов, m/z 228 для бенз[а]антрацена и хризена и т.д.) были рассчитаны диагностические индексы. Комбинация этих индексов с иерархическим кластерным анализом позволяет надежно дифференцировать мазут, разлившийся в результате упомянутой аварии, от загрязнений иного происхождения включая мазуты других нефтеперерабатывающих заводов. Разработанный подход апробирован на серии реальных образцов и показал свою эффективность для идентификации источника загрязнения и управления экологическими рисками.

Зименс М.Е., Половков Н.Ю., Золотарева В.А., Панцерный А.В., Канатьева А.Ю., Борисов Р.С. Идентификация источников загрязнения мазутом на побережье Черного моря после аварии в Керченском проливе // Нефтехимия. 2025. Т. 65, № 5. С. 417–423. DOI: 10.31857/S0028242125050082.

Борисов Р.С., к.х.н., borisov@ips.ac.ru (Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва), Панцерный А.В. (ООО «Инжиниринговый центр «Кронштадт»).

8. Разработан новый способ экспресс-анализа растительных масел, основанный на масс-спектрометрии с ионизацией, индуцированной лазерной плазмой при атмосферном давлении (APLPI), в сочетании с методами машинного обучения. Изучены образцы оливкового, рапсового, подсолнечного и льняного масел. Анализ и классификацию образцов проводили на основе масс-спектрометрических профилей летучих органических соединений, выделяемых маслами. Длительность анализа одной пробы не превышает 200 секунд. Полученные масс-спектрометрические данные обрабатывали без покомпонентной интерпретации методами машинного обучения. В рамках разработанного способа решались две различные задачи. Первая из них – это классификация различных растительных масел по типу, вторая – количественная оценка доли масел в их бинарных смесях. Показано, что точную классификацию по типу масла обеспечивает применение метода иерархической кластеризации в комбинации с предварительным отбором признаков методом дисперсионного анализа и сокращением размерности данных методом стохастического вложения соседей с t -распределением. Для количественного определения доли масел при масс-спектрометрическом анализе их бинарных смесей эффективным методом является множественная линейная регрессия. Полученные результаты показали хорошие прогностические возможности модели и, следовательно, эффективность применения метода APLPI в сочетании с методом линейной регрессии для определения фальсификации оливкового масла.

Разработанный способ позволяет проводить быстрый неразрушающий анализ растительных масел без пробоподготовки и, в частности, может быть востребован для быстрого контроля качества продукции.

Кравец К.Ю., Тимакова С.И., Гречников А.А., Никифоров С.М. Прямой анализ растительных масел методом ионизации, индуцированной лазерной плазмой при атмосферном давлении, в сочетании с методами машинного обучения // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80, № 6. С. 582–591.

Гречников А.А., д.х.н., grechnikov@geokhi.ru (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва).

9. С применением газовой хроматографии – масс-спектрометрии высокого разрешения (ГХ-МСВР) выполнены идентификация и определение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в аэрозольных частицах атмосферного воздуха. Отбор взвешенных частиц (PM_{2.5}) с использованием мембранных фильтров из стекловолокна (размер пор 1.6 мкм) проводился в г. Архангельск, одном из крупнейших городов арктической зоны. Оптимизация ГХ-МСВР на основе орбитальной ионной ловушки позволила достичь пределов обнаружения целевых аналитов от 0.020 до 1.5 нг/м³ (в пересчете на 1.8 м³ воздуха). Концентрации ПАУ варьировались в широком диапазоне от 1.2 до 4.0 нг/м³ для индивидуальных соединений (17 и 32 нг/м³ суммарные концентрации 18 ПАУ). С использованием диагностических соотношений изомерных структур некоторых ПАУ было установлено, что источниками данной группы ксенобиотиков являются преимущественно пирогенные процессы – неполное сгорание топлива и сжигание биомассы. В ходе нецелевого скрининга было идентифицировано и количественно оценено 31 соединение, среди которых наиболее экологически значимыми оказались кислородные производные фенантрена и антрацена, азотсодержащие соединения, а также высокомолекулярные ПАУ, такие как бензо[*j*]флуорантен, бензо[*e*]пирен и перилен. Их концентрации составили порядка 1–2 нг/м³.

Шаврина И.С., к.х.н., i.shavrina@narfu.ru, Косяков Д.С., к.х.н., d.kosyakov@narfu.ru (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск).

10. Разработан новый подход к высокочувствительному определению восьми стероидных сапогенинов – гекогенина, неорускогенина, рускогенина, гитогенина, диосгенина, сарсапогенина, ямогенина и тигогенина в экстрактах растительного сырья с использованием исчерпывающей двумерной высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ×ВЭЖХ-МС/МС) в режиме мониторинга заданных реакций. Исследованы особенности ионизации сапогенинов в условиях химической ионизации при атмосферном давлении с регистрацией положительно заряженных ионов. Изучены тандемные масс-спектры выбранных ионов-предшественников, а также основные направления их диссоциации, активированной соударениями. Сочетание двумерного хроматографического разделения и масс-спектрометрического

детектирования позволило разработать методику одновременного определения стероидных сапогенинов с пределами обнаружения от 0.7 до 2.9 мкг/л. Разработанный подход был валидирован и апробирован при анализе экстрактов растений богатых стероидными сапонинами, такими как Юкка славная, Юкка трекуле, Юкка нитчатая и Юкка алоэлистная.

Фалёв Д.И., к.х.н., d.falev@narfu.ru (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск).

11. Идентификация азотсодержащих гетероциклов (например, производных триазолов, пиразолов) является важной задачей при анализе объектов окружающей среды. Такие соединения лишь ограниченно представлены в базах данных ГХ-МС, что затрудняет их идентификацию. Была создана база данных ГХ-МС, названная *mini-N_i*. База данных содержит 104 соединения с высокой массовой долей азота, в том числе производные триазолов, пиразолов, имидазолов, пиридинов, амидов, диазинов и триазинов. Для каждого соединения представлены индексы удерживания для стандартной полярной и неполярной неподвижных фаз и масс-спектры электронной ионизации (ЭИ). Для 12 соединений масс-спектры опубликованы впервые, а значит, гарантированно не использовались при обучении существующих моделей машинного обучения. Это позволило апробировать подходы к идентификации с использованием методов глубокого обучения без применения баз данных масс-спектров. Для каждого из соединений были получены структуры, соответствующие брутто-формуле, и протестирована способность существующих алгоритмов выбрать из списка изомеров верный, используя масс-спектр ЭИ и индекс удерживания. Есть два основных подхода к этой задаче: предсказание масс-спектров и выбор наиболее похожего на наблюдаемый, и предсказание «молекулярного отпечатка пальца», исходя из наблюдаемого масс-спектра, с последующим ранжированием структур. Совместное использование обоих подходов обеспечивает корректную идентификацию структуры в 8 из 12 случаев, в то время как в остальных случаях верная структура входит в число пяти наиболее вероятных кандидатов. Показано, что данный подход может быть использован для скрининга, когда определяемые соединения отсутствуют в базах данных, но для этого требуется информация об индексе удерживания и брутто-формуле неизвестных соединений.

Матюшин Д.Д., Хрисанфов М.Д., Боровикова С.А., Шолохова А.Ю. Проверка надёжности идентификации азотсодержащих соединений, отсутствующих в масс-спектральных базах данных, с помощью сочетания газовой хроматомасс-спектрометрии и глубокого обучения // Масс-спектрометрия. 2025. Т. 22, № 3. С. 152–162. DOI: 10.25703/MS.2025.22.17.

Sholokhova A.Y., Borovikova S.A., Kosyakov D.S., Matyushin D.D. A GC-MS Database of Nitrogen-Rich Volatile Compounds // Toxics. – 2025. – Vol. 13. – No. 11. – Art. 986. – DOI: 10.3390/toxics13110986.

Шолохова А.Ю., к.х.н., shonastya@yandex.ru (Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фrumкина РАН, Москва).

12. С помощью метаболомного анализа и реконструкции генных сетей исследовано влияние излучения частотой 2.3 ТГц на клетки меланомы человека SK-MEL-28. Обнаружено более сорока метаболитов, в основном связанных с пуриновым и пиримидиновым синтезом и путями распада, содержание которых изменилось после облучения. Также были затронуты липиды, такие как церамиды и фосфатидилхолины. Реконструкция и анализ генной сети позволили выявить ключевые регуляторы ферментов, участвующих в биосинтезе и распаде этих метаболитов. На THz-излучение отреагировали компоненты митохондриальной мембраны, такие как комплекс дыхательной цепи, протон-транспортирующий комплекс АТФ-синтазы и компоненты липидных рафтов. Мы предполагаем, что ТГц-излучение вызывает обратимое разрушение макромолекулярной структуры липидных рафтов, тем самым изменяя транспорт молекул в митохондриях при сохранении целостности белков, что объясняет высокую выживаемость клеток.

Butikova E.A., Basov N.V., Rogachev A.D., Gaisler E.V., Ivanisenko V.A., Demenkov P.S., Makarova A.A., Ivanisenko T.V., Razumov I.A., Kolomeyets D.A., Cheresiz S.V., Solovieva O.I., Larionov K.P., Sotnikova Y.S., Patrushev Y.V., Kolchanov N.A., Pokrovsky A.G., Vinokurov N.A., Kanygin V.V., Popik V.M., Shevchenko O.A. Metabolomic and gene networks approaches reveal the role of mitochondrial membrane proteins in response of human melanoma cells to THz radiation. // Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids, 2025. V. 1870, No. 2. P. 159595. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2025.159595>.

Исследована метаболическая стабильность, противовирусную активность *in vivo* и фармакокинетические профили эфиров (-)-борнеола, которые были идентифицированы как мощные ингибиторы РСВ в ходе скрининга библиотеки соединений. Два наиболее эффективных соединения, ST-2 и AS-645, вызывали снижение вирусных титров у мышей, инфицированных RSV. При интраназальном (*i.n.*) введении соединение ST-2 оказалось более эффективным, чем пероральное (*i.g.*), и продемонстрировало более сильный противовирусный эффект и улучшенные фармакокинетические свойства.

Sokolova A.S., Okhina A.A., Shtro A.A., Klabukov A.M., Galochkina A.V., Nikolaeva Yu.V., Petukhova G.D., Yarovaya O.I., Rogachev A.D., Baev D.S., Fatyanova A.V., Tolstikova T.G., Salakhutdinov N.F. Biostability, In Vivo Antiviral Activity against Respiratory Syncytial Virus, and Pharmacokinetic Profiles of (-)-Borneol Esters // European Journal of Pharmacology. 2025. V. 996, P. 177567. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2025.177567>.

Разработаны и валидированы методики количественного анализа агента OL9–116, ингибитора Tdp1 на основе усниновой кислоты, в легких, печени и почках мышей соответственно. Кроме того, был разработан полуколичественный метод для количественного определения агента в первичном опухолевом узле карциномы легких Льюиса. С их использованием исследована фармакокинетика агента в органах здоровых мышей и мышей с перевитой карциномой легких Льюиса после однократного внутрижелудочного введения вещества в дозе 150 мг/кг. Сравнение распределения OL9–116 в органах животных показало, что наличие опухоли

значительно изменяет фармакокинетику вещества, снижая его биодоступность, что следует учитывать при разработке стратегий лечения опухолей.

Okhina A.A., Kornienko T.E., Rogachev A.D., Luzina O.A., Popova N.A., Nikolin V.P., Zakharenko A.L., Dyrkheeva N.S., Pokrovsky A.G., Salakhutdinov N.F., Lavrik O.I. Tissue distribution of OL9-116, a Tdp1 inhibitor based on usnic acid, is significantly altered in Lewis lung carcinoma-bearing mice compared to healthy animals // J. Pharm. Biomed. Anal. 2025. V. 265, P. 117054. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2025.117054>.

Проведен таргетированный метаболомный анализ культуральных жидкостей штаммов *L. plantarum*, включая биобанкированные штаммы и изолят, полученный из чайного гриба, методом ВЭЖХ-МС/МС. На основании полученных результатов проведена оценка межштаммовых различий с использованием метода главных компонент (PCA), дискриминантного анализа на основе метода частичных наименьших квадратов (PLS-DA), а также метода классического многомерного масштабирования (Multidimensional scaling, MDS) с введением весовых коэффициентов метаболитов, пропорциональных их участию в метаболических реакциях. Показано, что PCA и PLS-DA обеспечивают грубое разделение метаболомных профилей штаммов, но не позволяют полностью разрешить профили при высокой внутригрупповой вариабельности, тогда как использование метода MDS позволило сформировать биохимически интерпретируемое метрическое пространство метаболомных расстояний между штаммами. Полученные результаты показывают, что сочетание тандемной масс-спектрометрии с взвешенным многомерным масштабированием является перспективным инструментом для детального сравнения метаболомных профилей близкородственных бактериальных штаммов и рационального отбора продуцентов биологически активных соединений.

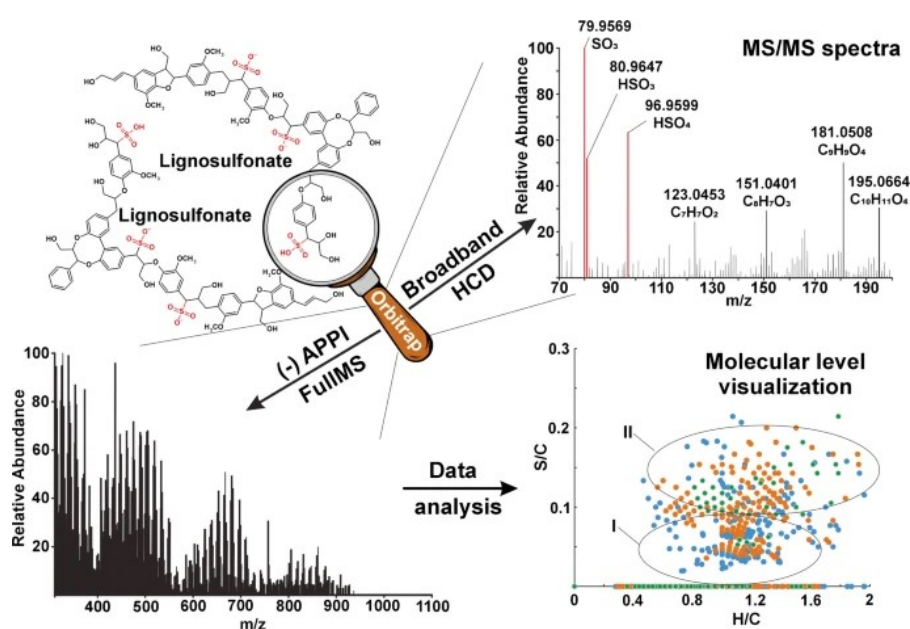
*Затолоцкая Ю.А., Дудник Д.Е., Титенко А.С., Сотникова Н.А., Виденкина А.А., Сотникова М.А., Сотникова Ю.С., Патрушев Ю.В., Гайслер Е.В., Басов Н.В., Рогачев А.Д., Покровский А.Г., Прокопьева Е.А., Щербаков Д.Н., Иркитова А.Н. Экзометаболомное исследование штаммов *Lactiplantibacillus plantarum* методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрической детекцией с применением взвешенного многомерного масштабирования на основе метаболических путей // Масс-спектрометрия. 2025. Т. 22, № 3. С. 164-175. <https://doi.org/10.25703/MS.2025.22.18>.*

Рогачев А. Д., к.х.н., artrogachev@yandex.ru (Новосибирский институт органической химии им. Ворожцова СО РАН; Новосибирский государственный университет).

13. Как и другие лигнины, лигносульфонаты (ЛС) характеризуются чрезвычайно сложной нерегулярной структурой, а их отличительной особенностью является наличие сульфо-групп в боковых цепях структурных единиц фенилпропана. В выполненном исследовании впервые предложена масс-спектрометрическая (Orbitrap) методология для характеристики

химического состава ЛС, основанная на использовании методов ионизации при атмосферном давлении (электрораспылительной ЭРИ, химической ХИАД и фотохимической ФИАД) в режиме генерации отрицательно заряженных ионов и хемометрических подходов к обработке данных. Эффективность ионизации ЛС возрастает в ряду ЭРИ < ХИАД < ФИАД со значительным изменением селективности в отношении сульфированных или несulfированных видов, которые могут детектироваться преимущественно в режимах ионизации ЭРИ и ХИАД соответственно. Использование 1,4-диоксана или допированного аммиаком метода ФИАД-МСВР позволило надежно детектировать >1000 олигомеров ЛС как СНО-, так и СНОS-классов в самом широком диапазоне молекулярных масс (до 1.2 кДа). Для обработки сложных данных МС и МС/МС (широкополосной диссоциации, индуцированной столкновениями) были предложены методы фильтрации данных на основе модифицированного анализа дефектов масс Кендрика и визуализации элементных соотношений ван Кревелена. Это позволило дискриминировать типичные структуры лигнина, сульфированные олигомеры с различной степенью сульфирования и ненасыщенности, а также примесные компоненты. Разработанный подход был успешно протестирован на реальных образцах технических ЛС и может быть в дальнейшем использован для отслеживания процессов химической модификации лигнина при сульфитной варке целлюлозы и быстрой характеристики препаратов ЛС для различных промышленных применений.

Pikovskoi I.I., Ilyin A.V., Kosyakov D.S. Molecular-level characterization of lignosulfonates: high-resolution mass spectrometry approach // Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2025, 417(22), p. 5131–5143 DOI: [10.1007/s00216-025-06037-1](https://doi.org/10.1007/s00216-025-06037-1).



Пиковской И.И., i.pikovskoj@narfu.ru; Косяков Д.С., к.х.н., d.kosyakov@narfu.ru (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск).

14. Диоксанлигнин (ДЛ) выделяется из растительного материала в условиях мягкого ацидолиза и широко используется во многих исследованиях в качестве репрезентативного образца протолигнина, являясь альтернативой лигнину механического размола (ЛМР). Для установления особенностей структуры ДЛ предложена аналитическая методология, основанная на комбинации двумерной спектроскопии ЯМР и масс-спектрометрии высокого разрешения на основе орбитальной ионной ловушки с фотоионизацией при атмосферном давлении. Это позволило выявить в составе ДЛ сосны неизвестные ранее структурные фрагменты, относящиеся к продуктам деградации 1,2-диарилпропана. Кроме того, была однозначно идентифицирована 1,3-диоксановая структура β -арилового эфира, которая образуется из элементов нативной структуры и формальдегида (продукта частичной деградации лигнина в ходе ацидолиза).

Faleva A.V., Pikovskoi I.I., Kosyakov D.S. Structural features of dioxane lignin: A comparative study with milled wood and formaldehyde-stabilized lignins //International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 299, 140267. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.140267.

Фалёва А.В., a.bezumova@narfu.ru; Пиковской И.И., i.pikovskoj@narfu.ru; Косяков Д.С., к.х.н., d.kosyakov@narfu.ru ((Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск).

Хроматографические и родственные им методы

Тенденции в развитии методов ГХ и ВЭЖХ в 2025 г.

В газовой хроматографии (ГХ) одной из наметившихся мировых тенденций является развитие быстрой газовой хроматографии (Fast GC). Это достигается за счет использования узкоканальных капиллярных колонок, высокой скорости нагрева термостатов и применения водорода в качестве газа-носителя. Такие решения позволяют сократить время стандартных анализов с десятков минут до нескольких секунд. Двумерная хроматография (ГХ×ГХ и, особенно, ЖХ×ЖХ) находит все большее применение при анализе сложных многокомпонентных смесей, таких как нефтепродукты, пищевые ароматизаторы или биологические экстракты. Использование двух различных механизмов разделения в одном цикле обеспечивает беспрецедентную пиковую емкость. К сожалению, в отечественных исследованиях это практически не отражено и наметилось определенное отставание в этой области. (Хотя советские и российские ученые по поликапиллярным колонкам имели приоритет и хороших задел в 80-е и 90-е годы XX века).

В области высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) доминирующим трендом остается переход к ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии (УВЭЖХ). Использование колонок, заполненных сорбентом с размером частиц менее 2 мкм, позволяет значительно сократить время анализа при сохранении высокой разделяющей способности. Параллельно с этим активно внедряются технологии поверхностно-пористых частиц (core-shell), которые обеспечивают высокую

эффективность разделения при более низком обратном давлении по сравнению с полностью пористыми аналогами.

Другим важным направлением является миниатюризация систем. Микро- и нанопотоковая хроматография становится востребованной в протеомике и биофармацевтике, так как она позволяет работать с крайне малыми объемами образцов и снижает расход дорогостоящих растворителей. Это также способствует лучшей интеграции с масс-спектрометрическими детекторами благодаря низким скоростям потока, способствующим более эффективной ионизации.

Внимание (хоть и не столь «всеобъемлющее», как несколько лет назад) уделяется и концепции «зеленой химии». Разработчики стремятся минимизировать использование токсичных растворителей и внедрять методы, снижающие энергопотребление приборов. В жидкостной хроматографии это проявляется в использовании сверхкритической флюидной хроматографии (СФХ), где в качестве мобильной фазы применяется диоксид углерода.

Интеллектуализация систем также становится важным фактором. Современные хроматографы оснащаются функцией самодиагностики, автоматизированным поиском неисправностей и программным обеспечением для быстрой разработки и оптимизации методов разделения на основе математического моделирования.

Параллельно с аппаратным совершенствованием активно развивается область сорбентов и неподвижных фаз. На смену традиционным силикагелям приходят гибридные органическо-неорганические материалы, которые обладают повышенной химической стабильностью и позволяют работать в широком диапазоне pH. В области синтеза новых сорбентов для ионной и гидрофильной хроматографии российская наука (в основном – силами ученых МГУ) не уступает мировой.

В области детектирования продолжается глубокая интеграция высокоразрешающей масс-спектрометрии (HRMS) с хроматографическими системами. Это превращает хроматограф в мощный идентификационный комплекс, способный определять структуру неизвестных соединений в следовых концентрациях. Применение орбитальных ловушек и времяпролетных детекторов в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта для обработки данных позволяет проводить нецелевой скрининг (*non-target screening*), что незаменимо в метаболомике, токсикологии и криминалистике.

О.А. Шпигун, А.В. Пирогов

Общие вопросы хроматографии. Приборы

Газовая хроматография

1. Методом газовой хроматографии исследована остаточная концентрация хлорорганического пестицида линдана в модельных образцах томатов, огурцов и репчатого лука. Раствор пестицида вносили в почву, после чего в загрязненной почве дважды выращивали данные растения. При

анализе использовали два метода пробоподготовки: согласно ГОСТ 30349 и аналогичную методику с применением жидкого азота на стадии гомогенизации. Установлено, что использование жидкого азота при пробоподготовке увеличивало выход аналитов до двух раз. Для образцов томатов и огурцов установлено, что как при первичном, так и при вторичном выращивании растений остаточное количество хлорорганического пестицида возрастало с увеличением концентрации пестицида при опрыскивании. Однако для образцов лука это не характерно. В последнем случае остаточные количества линдана снижались с ростом концентрации исходного аналита. Такое поведение типично для образцов корнеплодов, к которым лук не относится. Остаточная концентрация линдана в различных частях растений томата и огурца различалась: томат в большей степени накапливал пестицид в плодах, а огурец – в ботве. При повторном выращивании в загрязненной почве остаточное количество линдана не превышало 12% от исходного. В результате установлено, что наиболее подходящим растением для выращивания на почвах, загрязненных линданом, является огурец, поскольку 80–90% линдана накапливается в несъедобных корнях огурца, а плоды содержат наименьшее количество загрязнителя среди всех овощей. Томат непригоден для выращивания на загрязненных почвах, так как плоды накапливают значительные количества линдана.

Мусабиров Д.Э., Гуськов В.Ю., д.х.н., guscov@mail.ru (Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека, Уфимский университет науки и технологий, кафедра аналитической химии).

2. Предложен критерий выявления термической нестабильности аналитов в условиях газохроматографического анализа, основанный на аппроксимации зависимостей относительных площадей пиков проблемных компонентов от температуры испарителя с использованием логистической регрессии. Показано, что этот же критерий эффективен для выявления присутствия в образцах не детектируемых труднолетучих матричных компонентов, что продемонстрировано на примере обнаружения добавки полиэтиленгликоля к эфирному маслу *Lavandula angustifolia* Mill.

На примере идентификации наиболее распространенных низкокипящих органических растворителей проанализирована информативность газохроматографических индексов удерживания (RI) на стандартных неполярных неподвижных фазах для решения этой задачи. Выявлено, что использование одних только значений RI не обеспечивает получение однозначных результатов и необходимо привлечение дополнительных аналитических параметров, наиболее удобными из которых по простоте измерений представляются показатели преломления, n_D^{20} . Для сравнения проанализирована информативность сочетаний RI со значениями динамической вязкости характеризуемых растворителей.

Проанализированы основные источники погрешностей количественных газохроматографических определений способом двойного внутреннего стандарта. Выявлено, что одной из причин снижения точности определений

(систематические погрешности) являются следы воды, содержащиеся в умеренно гидрофильных органических соединениях.

По сложившейся с 2000 г. традиции в выполнении этой работы (с публикацией результатов) принимали участие студенты бакалавриата Института химии СПбГУ при прохождении ими практикума по газовой хроматографии.

Зенкевич И.Г., д.х.н., izenkevich@yandex.ru (Санкт-Петербургский государственный университет. Институт химии, кафедра органической химии).

Высокоэффективная жидкостная (в том числе ионная) хроматография

1. β -Блокаторы — важные хиральные фармацевтические препараты, обнаруженные в качестве микрозагрязнителей в водах окружающей среды в результате неполного удаления при очистке сточных вод. Поскольку они проявляют энантиоселективную токсичность, необходимо включать хиральную информацию в оценку их экологического риска. Продемонстрирована возможность применения двух хиральных сорбентов на основе силикагеля и стирол-дивинилбензола с отечественным макроциклическим антибиотиком эремомицином для определения энантиомерной фракции β -блокаторов и других хиральных фармацевтических препаратов в водных средах методом ВЭЖХ.

Ананьева И.А., к.х.н., Просунцова Д.С., к.х.н., Irishan@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии).

2. Изучено хроматографическое удерживание спиртов, кетонов, альдитов и углеводов на катионообменной колонке (200 × 4.6 мм, Севко АА), заполненной сульфированным поли(стирол-дивинил- бензол)ом со степенью сшивки 10 % и диаметром частиц 7 мкм, насыщенной различными противоионами (H^+ , Ca^{2+} и La^{3+}), в варианте лигандообменной хроматографии. Сорбент в Ca^{2+} -форме показал более высокие времена удерживания и селективность при разделении углеводов и этиленгликолей. Сорбент в La^{3+} -форме обеспечивает сильное удерживание и лучшую селективность разделения альдитов. Показана возможность применения данной колонки для определения углеводов в пищевых продуктах (соке, меде) при использовании рефрактометрического детектирования.

Лаптев А.Ю, Балашова С.С., Рожманова Н.Б., Севко А.В., Казакова В. Д., Нестеренко П.Н. Закономерности удерживания спиртов, кетонов и сахаров на сульфокатионообменнике в H^+ -, Ca^{2+} - и La^{3+} - формах. // Журнал анал тической химии. 2025. том 80. № 8. с. 838–851.

В варианте ионоэкслюзионной хроматографии изучено хроматографическое удерживание нейтральных полярных (спирты, кетоны, карбоновые кислоты, углеводы и вещества-подсластители) и в ионизированной форме (одно- и двухосновные органические кислоты) соединений на катионообменных колонках, заполненных сульфированным

поли(стирол-дивинилбензолом) со степенью сшивки 8 % (Наутилус ИЭ) и 10 % (Севко АА). При использовании 5 мМ серной кислоты определены параметры удерживания соединений и получены новые закономерности, уточняющие механизм удерживания органических кислот в варианте ионоэкслюзионной хроматографии. Найдено, что удерживание всех изученных соединений ($\log k'$) прямо пропорционально значениям гидрофобности ($\log P_{\text{exp}}$). При этом электростатическое отталкивание органических кислот от сульфогрупп катионообменника смещает зависимости $\log k' - \log P_{\text{exp}}$ на фиксированную величину, пропорциональную числу карбоксильных групп. Показана возможность применения колонки Sevko АА не только для аминокислотного анализа, но и для ионоэкслюзионного хроматографического определения органических кислот и спиртов в образцах сложного состава с одновременным спектрофотометрическим и рефрактометрическим детектированием.

Лаптев А.Ю., Рожманова Н.Б., Севко А.В., Нестеренко П.Н. Применение сульфированных сополимеров стирола и дивинилбензола с различной степенью сшивки для ионоэкслюзионной хроматографии// Журнал аналитической химии. 2025. том 80. № 1. с. 95–108.

Методом жидкостной хроматографии гидрофильных взаимодействий (ЖХГВ) на комплексообразующем сорбенте на основе силикагеля с привитыми группами 2-гидроксиэтилиминодиуксусной кислоты (ГИДК), насыщенного La^{3+} , показана возможность определения низких содержаний сукралозы на фоне 500-кратных количеств эритрита за счет относительного концентрирования в ацетонитриле. Наилучшее разделение сукралозы и эритрита получено при использовании смеси ацетонитрил:вода 95:5 об.% в качестве подвижной фазы. Разработан простой хроматографический способ определения низкого содержания сукралозы в комбинированных подсластителях на основе эритрита ЖХГВ с применением рефрактометрического детектора. Предел обнаружения сукралозы составляет 28 мкг/мл.

Yu. Laptev, N. B. Rozhmanova, and P. N. Nesterenko. Determination of Sucralose in Combined Sweeteners on a Complexing Sorbent Using Hydrophilic Interaction Chromatography.// Moscow University Chemistry Bulletin. 2025, V. 80, № 6, P. 384-389.

Рожманова Н.Б., к.х.н., nb.rozhmanova@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии).

3. Рассмотрены особенности хроматографического удерживания катионов щелочных и щелочноземельных металлов на поли(стирол-дивинилбензолных) катионообменниках с привитыми карбоксильными группами. Найдено, что удерживание катионов металлов, имеющих одинаковый заряд, прямо пропорционально значениям их поляризуемости. Изучены закономерности удерживания катионов металлов и аммония от природы и концентрации элюента, определен вклад вторичных процессов в удерживание и форму хроматографических пиков. Показано, что с увеличением концентрации элюента улучшается симметрия хроматографических пиков. Построены зависимости Вант-Гоффа

и рассчитаны значения энтальпии (ΔH°) адсорбции. Отмечено, что эффективность колонки возрастает с увеличением температуры. Показана возможность одновременного определения катионов щелочных, щелочноземельных металлов и аммония методом ионной хроматографии с использованием карбоксильных катионообменников и двух вариантов кондуктометрического детектирования. Обсуждается практическое применение сорбентов.

Нестеренко П.Н., Тимина М.С., Крашенинина С.В., Ставрианиди А.Н., Рожманова Н.Б. Закономерности удерживания катионов щелочных и щелочноземельных металлов на карбоксильном катионообменнике. // Журнал аналитической химии. 2025, Т. 80, № 11, с.1189-1205.

Закономерности хроматографического удерживания на колонке, заполненной микросферическими частицами цеолита 13X, были изучены для различных классов соединений (алканов, ароматических веществ, кислород-, азот-, хлор- и серосодержащих соединений) в условиях жидкостной хроматографии гидрофильных взаимодействий (HILIC) с использованием метанола и ацетонитрила в качестве подвижных фаз. В целом, удерживание ($\log k'$) исследуемых веществ, кинетический диаметр которых меньше размера пор цеолита, пропорционально их полярности. Удерживание органических веществ сравнивалась для колонок с сорбентом 13X и мезопористым кремнеземом. Особое внимание было уделено удерживанию n- и изо-спиртов гомологического ряда, для которых наблюдался эффект электростатического просеивания. Было обнаружено, что коэффициенты удерживания (k') изученных веществ на 13X сильно зависят от скорости потока подвижных фаз, что указывает на наличие эффекта кинетической селективности для микропористого сорбента. Впервые было получено базовое разделение для низких концентраций n-алканолов. Также было проведено селективное разделение метанола и метанол-d₄ (селективность $\alpha = 1,274$; разрешение пиков $R_s = 1,32$) на колонке размером 50 × 4,6 мм с ацетонитрилом в качестве элюента.

Kazakova V.D., Rozhmanova N. B., Lanin S. N., Nesterenko P.N. Retention regularities of alkanols and other small organic molecules on 13X zeolite under HILIC conditions // Microporous and Mesoporous Materials. V.384 (2025) 113443.

Нестеренко П.Н., д.х.н., nes.pavel@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет).

4. ¹Проведено сравнение хроматографических свойств 27 синтезированных в лабораторных условиях стационарных фаз, модифицированных мономерами и полимерами, полученных с помощью реакции Уги, для гидрофильной жидкостной хроматографии (HILIC). Эти неподвижные фазы, наряду с немодифицированной матрицей, были охарактеризованы по коэффициентам удерживания 33 полярных биологически активных соединений, принадлежащих к различным классам (азотистые основания/нуклеозиды, сахара, карбоновые кислоты и водорастворимые витамины). Кроме того, был проведен широко используемый гидрофильный тест Танака. Экспериментальные данные,

полученные обоими методами характеристики, были обработаны с использованием нескольких хемометрических методов, включая анализ главных компонент (РСА), иерархический кластерный анализ (НСА) и алгоритм К-средних. Первоначально ожидалось, что модифицированные полимера́ми фазы будут значительно отличаться от модифицированных мономерами из-за их многофункциональных свойств. Это было подтверждено четким разделением этих двух типов фаз на графике РСА, полученном для бинарных логарифмов селективности (рассчитанных по всем 33 коэффициентам удерживания). Наблюдаемые различия между некоторыми модифицированными мономерами неподвижными фазами позволили получить представление об условиях реакции Уги, подходящих для получения адсорбентов с различными хроматографическими свойствами. Для каждого класса тестовых соединений требовался определенный состав подвижной фазы для достижения приемлемых хроматографических характеристик, таких как времена удерживания и форма пиков. Чтобы исключить длительную стадию повторного установления равновесия, связанную со сменой подвижной фазы, был предложен меньший набор всего из трех тестовых соединений, дающий практически те же результаты кластеризации, что и полный набор данных. Эта упрощенная процедура может облегчить быструю характеристику вновь синтезированных неподвижных фаз и позволить сравнивать их с ранее изученными фазами.

Shemiakina, M. Khrisanfov, N. Chikurova, A. Samokhin, A. Chernobrovkina. Getting insights into chromatographic properties of hiliC and mixed-mode homemade stationary phases using principal component and cluster analyses // Journal of Chemometrics. 2025. V, 39. № 3. P. e70019.

²Проведена оценка независимого влияния компонентов подвижной фазы на удерживание аналитов, что обеспечит надежную основу для управления селективностью в гидрофильной жидкостной хроматографии (HILIC). Поскольку большинство аналитов и неподвижных фаз обладают слабыми кислотно-основными свойствами, влияние pH подвижной фазы является наиболее важным. В данном исследовании рассматриваются ограничения существующих процедур изменения pH, обобщаются принципы оценки независимого влияния pH и предлагается метод, учитывающий различное сродство буферных анионов в условиях HILIC. Большое внимание уделено изменению констант диссоциации и pH буфера в среде, обогащенной ацетонитрилом. Подробно показано, как тенденции удерживания аналитов с различными свойствами зависят от pH подвижной фазы, концентрации противоионов, содержания ацетонитрила и природы буферного раствора. Ценным инструментом, используемым для контроля состояния ионизации как неподвижной фазы, так и растворенных веществ, является наклон зависимости $\lg k' = f(\lg [C])$. Разработанный подход был использован для характеристики свойств модифицированного эремоницином силикагеля и определения профилей удерживания ионизируемых соединений. Были оценены водно-органические константы диссоциации для бензойной кислоты, ксантина и цитозина, а также определены условия переключения заряда неподвижной фазы. Зарегистрированные тенденции были аналогичны тем, которые были получены для некоторых ранее описанных неподвижных

фаз. Эти результаты предлагают практические рекомендации по контролю селективности разделения в режиме ННЛС для ионизируемых соединений в многокомпонентных смесях.

Khrisanfova A., Smagina M., Maximo G., Tsizin G., Shpigun O., Chernobrovkina A. Evaluating independent effect of mobile phase components on retention mechanism of ionizable analytes in hydrophilic interaction liquid chromatography // Journal of Chromatography A. 2025. V. 1758. P. 466201.

^{1,2}Чернобровкина А.В., к.х.н., chernobrovkina@analyt.chem.msu.ru;
¹Самохин А.С. (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория хроматографии).

5. Среди растущего числа неподвижных фаз для ВЭЖХ все большее распространение получают цвиттер-ионные неподвижные фазы, обеспечивающие повышенное удерживание полярных и гидрофильных аналитов. Целью данной работы являлось применение новых сорбентов с различными цвиттер-ионными фрагментами в структуре функционального слоя разной разветвленности для определения органических кислот, сахаров, нуклеозидов и витаминов в различных объектах. Для всех изученных классов аналитов выявлено уменьшение эффективности при наращивании функционального слоя сорбента. В связи с этим, для определения нуклеозидов и азотистых оснований в питательной смеси для бактерий использовали наименее разветвленную неподвижную фазу, полученную с помощью диэпоксида и глицина. В случае определения водорастворимых витаминов полного разрешения тиамин и никотинамида достигли на сорбенте с более разветвленным слоем, содержащим таурин во внутренней его части. Установлено, что снижение эффективности при повышении разветвленности слоя компенсируется для органических кислот при увеличении силы и количества кислотных групп цвиттер-иона в структуре неподвижной фазы. В результате сорбент с таурином и иминодиуксной кислотой в структуре разветвленного слоя с наилучшей разделяющей способностью, превышающей возможности известных фаз фирм-производителей, выбран для определения органических кислот в различных напитках. Использование таурина при создании гиперразветвленного слоя также положительно сказывалось на разделении углеводов благодаря улучшению селективности и повышению эффективности, в результате чего сорбент с глицином во внутреннем слое и таурином во внешнем был использован для экспрессного определения углеводов в сладких напитках. Идентификацию аналитов в объектах осуществляли путем сравнения их времен удерживания с временами удерживания пиков в растворах стандартов определяемых веществ. Диапазон построения градуировочных зависимостей выбирали исходя из предполагаемого содержания в объектах анализа, а также растворимости аналитов в водно-органической подвижной фазе. Правильность подтверждена с помощью метода «введено-найдено». Обнаруженные с использованием новых неподвижных фаз содержания соединений различных классов в объектах анализа соответствуют заявленным производителями.

Чернобровкина А.В., Крыжановская Д.С., Ужель А.С., Цизин Г.И., Штигун О.А. Анализ напитков и питательной смеси для бактерий методом гидрофильной хроматографии с использованием цвиттер-ионных неподвижных фаз. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2025. Т. 91. № 8. С.7–15.

Синтезирован ряд сорбентов на основе силикагеля с цвиттер-ионами в функциональном слое, закрепленными с использованием спейсера на основе 1,4-бутандиолдиглицидилового эфира. Изучено влияние структурных фрагментов неподвижной фазы на хроматографические свойства в режиме гидрофильной хроматографии, а также продемонстрированы многофункциональные возможности разделения нейтральных полярных, гидрофобных и отрицательно заряженных соединений. На основе установленных закономерностей создан сорбент с высокой разделяющей способностью по отношению к карбоновым кислотам, позволяющий разделить 13 органических кислот за 25 мин с разрешением не ниже 1.0.

Чернобровкина А.В., Крыжановская Д.С., Ужель А.С., Соболев Н.А., Цизин Г.И., Штигун О.А. Новые гиперразветвленные сорбенты для ВЭЖХ и способы управления их разделяющей способностью. Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 11. С.1175–1188.

Чернобровкина А.В., к.х.н., chernobrovkina@analyt.chem.msu.ru; (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория хроматографии).

6. Большинство энзимологических задач направлены на определение полярных соединений, представляющих собой субстраты, продукты, родственные вещества ферментативных реакций и т. д. В настоящее время они решаются либо с помощью обращенно-фазовой ВЭЖХ, требующей предварительной дериватизации для повышения гидрофобности, либо даже с помощью спектроскопии, остающейся неселективной по отношению к родственным соединениям образца. Метод гидрофильной жидкостной хроматографии (HILIC) для прямого определения полярных аналитов предоставляет перспективные решения для современных биохимических задач, обеспечивая гораздо более простой и быстрый анализ сотен и тысяч образцов. Основное внимание в таких исследованиях уделяется выбору условий для разделения сложных смесей разнообразных полярных соединений, что во многих случаях может представлять собой сложную задачу. В данной работе разработана простая и экспрессная методика HILIC для определения ферментативной активности цистеинсинтазы А (CysK, EC 2.5.1.47). CysK — это пиридоксальфосфат-зависимый фермент, катализирующий образование L-цистеина и ацетата из O-ацетил-L-серина и сульфида. Эта реакция представляет собой критически важный этап в пути ассимиляции серы, играющий жизненно важную роль в поддержании гомеостаза серы и обеспечении клеточных функций, таких как синтез белка, антиоксидантная защита и детоксикация. CysK — один из ферментов, секретлируемых лактобациллами при совместном культивировании с клебсиеллами, который может использоваться для синтеза цистеина и также важен для жизнедеятельности микроорганизмов. Был получен новый

рекомбинантный CysK из *Limosilactobacillus reuteri* путем клонирования гена и экспрессии в клетках *E.coli*. Разработка методики HILIC для определения активности фермента представляла собой сложную задачу разделения двух субстратов, двух продуктов и компонента буфера в одном образце. Эта задача была решена путем выбора как колонки, так и условий элюирования. Среди трех разработанных в лаборатории хроматографии МГУ колонок HILIC была выбрана специфическая амидная неподвижная фаза на основе силикагеля, полученная с помощью реакции Уги. Влияние ионного обмена на механизм удерживания основных компонентов ферментативной реакции было оценено для определения условий разделения на выбранной колонке. Разработанная методика позволила отделить цистеин от всех остальных пиков в течение 11 минут в условиях изократического элюирования. Пределы обнаружения и количественного определения составили 2 и 7 мкМ соответственно. С помощью разработанной методики впервые была определена скорость реакции CysK, полученного из *Limosilactobacillus reuteri*. Основные преимущества этой методики — экспрессность анализа, прямое определение без стадии дериватизации и использование простого ВЭЖХ-оборудования без градиентного элюирования и сложных систем детектирования.

A.V. Chernobrovkina, A. V. Gorbovskaia, N. Yu Chikurova, E. K. Les, A. D. Efremova, E. S. Chichkanova, O. A. Shpigun, V. I. Tishkov, A. A. Pometun. Development of hydrophilic interaction liquid chromatography method for determining enzymatic activity of cysteine synthase A // Journal of Chromatography A. 2025. V. 1766. P. 466540.

Чикурова Н.Ю., Горбовская А.В., к.х.н., gorbovskaia_av@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория хроматографии).

7. Синтезированы многофункциональные неподвижные фазы на основе двух типов модифицированного полистирол-дивинилбензола с привитыми полиэлектролитами, содержащими фрагменты иминодиуксусной кислоты и применены в гидрофильной (ГИХ), обращенно-фазой (ОФ ВЭЖХ) и ионной хроматографии (ИХ). Предварительное модифицирование полимерной матрицы включало ацилирование по методу Фриделя-Крафтса или окисление остаточных двойных связей на поверхности частиц. Была продемонстрирована перспективность использования эпоксицированной матрицы для прививки слоя полиэлектролита с целью получения селективной и эффективной фазы для режима ГИХ. Напротив, сорбент на основе ацилированной матрицы оказался более перспективен для разделения ароматических соединений в режиме ОФ ВЭЖХ/ИХ. Полученные неподвижные фазы способны разделять неорганические анионы, оксогалогениды, алкилфосфонаты, водорастворимые и жирорастворимые витамины, нуклеозиды и азотистые основания, фенолы и полициклические ароматические углеводороды. Введение иминодиуксусной кислоты в функциональный слой полиэлектролита позволило добиться более высокой разделяющей способности по отношению к аминокислотам и фенолам по сравнению с ранее полученными сорбентами с привитыми

полиэлектролитом. Впервые на полимерных многофункциональных сорбентах было достигнуто разделение сахарозы, мальтозы и лактозы.

Uzhel A.S., Gorbovskaia A.V., Talipova I.I., Chernobrovkina A.V., Pirogov A.V. Polymer-based mixed-mode stationary phases with grafted polyelectrolytes containing iminodiacetic acid functionalities. // Journal of Chromatography A. 2025. V. 1756, 466062.

Ужель А.С., к.х.н., anna_uzhel@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория хроматографии).

8. Предложены методики идентификации и определения ряда ионола, дифениламина, диалкилдитиофосфата цинка и дизстерового масла в минеральных гидравлических маслах с предварительной твердофазной экстракцией аналитов с детектированием методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии. Методом гелепроникающей хроматографии определены молекулярно-массовые характеристики полимерных присадок гидравлического масла, и рассчитано содержание вязкостной присадки в реальном образце.

Темердашев З.А. и др. Идентификация и хроматографическое определение некоторых функциональных присадок в минеральных гидравлических маслах // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 10. С. 1072-1081.

Темердашев З.А., д.х.н., temza@kubsu.ru (Кубанский государственный университет, кафедра аналитической химии).

Хромато-масс-спектрометрия

1. Можжевельник обыкновенный представляет собой перспективный источник биологически активных веществ для лечения и профилактики хронических заболеваний. Экстракты хвои и плодов можжевельника анализировали методами ВЭЖХ-МС высокого разрешения и ГХ-МС с термодесорбцией (ТД). На полученных в режиме полного сканирования хроматограммах экстрактов идентифицировано шесть гидроксibenзойных кислот и четыре гидроксикоричные кислоты. Содержание салициловой, п-гидроксibenзойной, галловой, кумаровой и феруловой кислот оценено на уровне 0.03–17 мг/л. В режиме ТД-ГХ-МС зарегистрированы пики веществ в диапазоне времен удерживания 9–25 мин (по ин дексам удерживания от 900 до 1700). Для более надежной идентификации рассчитаны экспериментальные индексы удерживания и выполнено их сравнение с приведенными в литературе. Сделано предположение о том, что наличие на хроматограммах таких веществ, как космен, пинокарвеол и 2-пинен-4-он может служить маркером присутствия плодов можжевельника в БАД хвои.

*Ермаков А.Р., Бобкова Н.В., Нестерова О.В., Нестеров Г.В., Пирогов А.В., Чичканова Е.С., Ананьева И.А., Просунцова Д.С., Кузьменко А.Н. Сравнительный анализ состава некоторых фенолкарбонных кислот и терпенов плодов и хвои можжевельника обыкновенного (*juniperus communis**

1.) методами газовой и жидкостной хроматомасс-спектрометрии. // Журнал аналитической химии. 2025. том 80, № 11, с. 1206-1213.

Пирогов А.В., д.х.н., PirogovAV@my.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория хроматографии).

2. Исследована электрохимическая минерализация тетрациклина в хлоридных водных растворах с использованием Pt/Ti анодов. Процесс минерализации, эффективность окисления и продукты окисления были охарактеризованы с помощью УФ-видимой спектроскопии и ВЭЖХ-МС. Эффективность окисления тетрациклина составляет $97 \pm 2\%$ в 0,64 мас.% NaCl в течение 15 минут электролиза. УФ-видимая спектроскопия подтвердила деградацию p-сопряженной электронной системы антибиотика и позволила идентифицировать активные частицы (т. е. перекись водорода и растворенный хлор), которые потенциально могут разрушать тетрациклин. Исследования ВЭЖХ-МС показывают, что интенсивность пика тетрациклина постепенно уменьшается во время электролиза, что указывает на его окисление. Пики, соответствующие промежуточным продуктам окисления с молекулярной массой более 70, не обнаружены, что свидетельствует об отсутствии продуктов окисления с большей молекулярной массой.

Ivantsova N.A., Kuzin E.N., Kuznetsov V.V., Filatova E.A., Pirogov A.V., Timchenko Yu V., Poineau F., German K.E., Averina Yu M., Kolesnikov A.V. Advanced electrochemical treatment of tetracycline-contaminated water using Pt/Ti electrodes. // RSC advances. 2025. V.15, P.21785-21793.

Кузнецов В.В., д.х.н., vitkuzn1@mail.ru (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва); Пирогов А.В., д.х.н., PirogovAV@my.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет).

3. Представлены результаты лабораторного моделирования конверсии керогена и добычи нефти в образцах нефтематеринских пород баженовской свиты (Западная Сибирь, Россия). Два образца из одной скважины с аналогичным составом и незрелым керогеном II типа, которые были накоплены в тех же глубоководных условиях, что и использовались для данного исследования. Гидропиролиз проводился при температуре 300 °С, жидкие продукты и проба отбирались каждые 12 часов для изучения параметров керогена методом пиролиза и состава синтетической нефти методом ГХ-МС. Трансформация пиролитических параметров была аналогична естественной тенденции, ранее выявленной для нефтематеринских пород баженовской свиты с различной степенью зрелости. Состав нормальных алканов и параметры биомаркеров синтетических нефтей преобразовывались со временем. Условия осадконакопления и параметры литологии биомаркеров, предположительно постоянные (Pr/Ph, Ph/C18, H29/H30 и DBT/Phen), менялись в зависимости от продолжительности нагрева. Созревание нефти несколько увеличивалось. Были обнаружены различия между образцами в продолжительностью генерации углеводородов (5 и 8 дней), составе n-алканов и соотношении C27/C29 и DBT/Phen. Была

выдвинута гипотеза о влиянии изменчивости керогена и минеральной матрицы на добычу нефти. Данная работа закладывает основу для более детального и точного исследования факторов, влияющих на крекинг керогена и образование углеводородов.

Kalmykov A.G.; Levkina V.V.; Tikhonova M.S.; Savostin G.G.; Makhnutina M.L.; Vidishcheva O.N.; Volkov D.S.; Pirogov A.V.; Proskurnin M.A.; Kalmykov G.A. Laboratory Modeling of the Bazhenov Formation Organic Matter Transformation in a Semi-Open System: A Comparison of Oil Generation Kinetics in Two Samples with Type II Kerogen. Fuels 2025, 6, 22. <https://doi.org/10.3390/fuels6020022>.

Калмыков А.Г., к.х.н., a.kalmykov@oilsu.ru; Пирогов А.В., д.х.н., PirogovAV@my.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет).

4. В данном исследовании четыре модели машинного обучения, включая ранжирующие нейронные сети, были разработаны для прогнозирования порядка элюирования пар производных флавоноидов, содержащих агликон флавонона, с гидроксид- и метокси заместителями. Времена удерживания были косвенно оценены путем соотнесения счетов модели методами линейной регрессии и интерполяции. Два набора данных из доступных библиотек и литературы использовались для изучения альтернативных стратегий обучения моделей и проведения внутренней и внешней валидации. Специально разработанный молекулярный отпечаток был использован для кодирования структурных особенностей флавонового скелета и его заместителей. Парные коэффициенты ошибок для предсказания порядка элюирования были преимущественно ниже 10%. Использование большого однородного набора данных оказалось предпочтительнее фрагментированных данных, полученных из литературы.

Rozanov I., Stavriani A., Buryak A. Machine Learning for Group-Targeted Elution Order Prediction: Substituted Flavones as a Case Study. // Journal of Chemical Information and Modeling. 2025. In press. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jcim.5c02096>.

Ставрианиди А.Н., д.х.н., stavrianiidi.andrey@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии; Институт физической химии и электрохимии РАН).

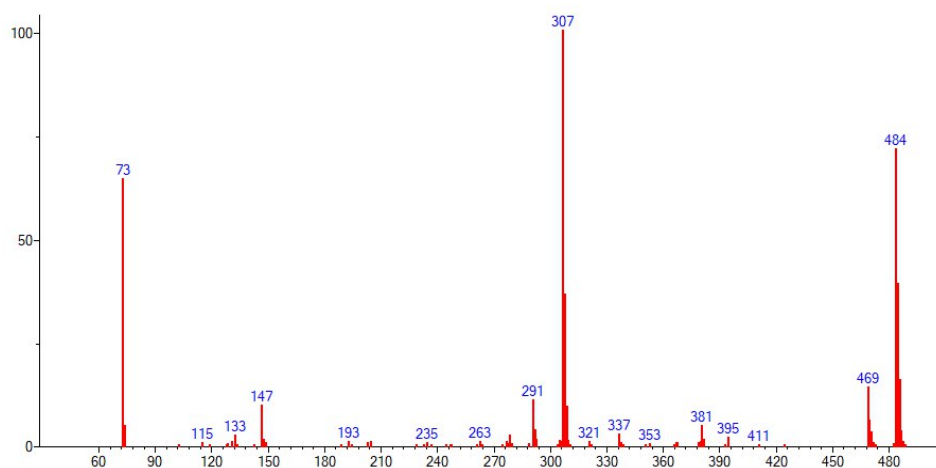
5. В данной работе методом ВЭЖХ-МС осуществлен мониторинг непрерывного культивирования суспензии клеток *Dioscorea deltoidea* в 20-литровом биореакторе на содержание основных биоактивных соединений – стероидных гликозидов протодиосцина и диосцина. Контролировалось соотношение 25(S)/25(R)-изомеров протодиосцина, проявляющих различную фармакологическую активность. Результаты показали, что продуктивность культуры клеток (0,33 г/(л·день)), максимальное накопление сухого веса (8,5 г/л), жизнеспособность (80,2%) и общее содержание стероидных гликозидов (1,74% от сухого веса) оставались высокими в течение всего периода культивирования. Однако содержание диосцина, спиростанолового стероидного гликозида, снизилось на 82% после одного года культивирования. Более того, соотношение 25(S)/25(R)-изомеров

протодиосцина, фураностанолового стероидного гликозида, в биомассе клеток изменилось обратно пропорционально с 0,66 до 1,40 после первого полугодия культивирования. Эти результаты свидетельствуют о сложной динамике биосинтеза стероидных гликозидов в культурах клеток растений в процессе длительного культивирования в биореакторе и подтверждают важность мониторинга их состава с использованием современных методов аналитической химии.

*Titova M.V., Popova E.V., Ivanov I.M., Prudnikova O.N., Tyurina T.M., Metalnikov P.S., Kupaeva N.V., Lisitsyn A.B., Sarvin B.A., Rodin I.A., Stavriani A.N. Long-term bioreactor cultivation affects dioscin content and the ratio of 25(S)- and 25(R)-protodioscin isomers in the suspension cell culture of *Dioscorea deltoidea* Wall. // Journal of Biotechnology, V. 402. P. 9-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2025.02.012>.*

Ставрианиди А.Н., д.х.н., stavrianiidi.andrey@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии).

6. Проведено исследование возможностей газовой хромато-масс-спектрометрии для выявления примесей и продуктов деградации в чистых образцах кофейной и хлорогеновой кислот. Показано, что прямой ГХ-МС-анализ данных соединений невозможен вследствие их высокой полярности, низкой летучести и термической нестабильности, приводящей к разложению в условиях хроматографирования. Для повышения летучести и термостабильности исследуемых веществ применена дериватизация с использованием N,O-бис(триметилсилил)трифторацетамида, а также изучено влияние добавки триметилхлорсилана, обеспечивающей увеличение выхода и интенсивности сигналов ТМС-производных, особенно для хлорогеновой кислоты. В результате ГХ-МС-анализа дериватизированных образцов выявлены примеси и продукты превращений, включая ТМС-производные протокатеховой, хинной, транс-кофейной и 4-кумаровой кислот. Кроме того, зарегистрирован ранее неидентифицированный пик, предположительно соответствующий ТМС-производному тригидроксикоричной кислоты.



Масс-спектр неидентифицированного пика в образце кофейной кислоты

Ксенофонтова Г.Д., Барановская В.Б. Применение газовой хромато-масс-спектрометрии для обнаружения примесей в хлорогеновой и кофейной кислотах. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2025;91(11):5-12. DOI: [10.26896/1028-6861-2025-91-11-5-12](https://doi.org/10.26896/1028-6861-2025-91-11-5-12).

Ксенофонтова Т.Д., kxenofontovat@bk.ru (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Центр коллективного пользования физическими методами исследования веществ и материалов; Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, Кафедра сертификации и аналитического контроля).

7. Совместно с коллегами из НИИ и Музея антропологии МГУ, а также сотрудниками лаборатории масс-спектрометрии кафедры аналитической химии химического факультета МГУ разработан способ определения красителей растительного происхождения в археологическом текстиле. Оптимизированы условия экстракции, приводящие к минимальной химической трансформации маркеров растительных красителей.

Статкус М.А., д.х.н., statkusma@my.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра АХ, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа, НИЛ масс-спектрометрии, совместно с НИИ и Музеем антропологии МГУ).

8. Разработан способ LC-HRMS (QTOF) одновременного определения ультракоротко- и короткоцепочечных перфторалкильных веществ (PFAS) в сложных растительных матрицах с разделением веществ на пористом графитированном углероде. Способ обеспечил чувствительное и селективное детектирование семи PFAS (C₂–C₁₀) за 18 мин, включая трифторуксусную кислоту (TFA), которая, как известно, плохо удерживается на традиционных фазах C₁₈. Систематически исследовано удерживание аналитов в изократических и градиентных условиях, установлена нелинейная зависимость от содержания метанола. На основании этих результатов предложена оптимизированная программа градиентного элюирования, обеспечивающая эффективное разделение и симметричную форму пика даже при введении богатых метанолом растительных экстрактов — одно из преимуществ пористых графитовых углеродных колонок. Градуировочные зависимости при определении всех аналитов продемонстрировали хорошую линейность ($R^2 > 0.99$) в соответствующих диапазонах концентраций с точностью в пределах $\pm 15\%$. Метод характеризуется высокими степенями извлечения аналитов (71–103%) и точностью определения ($RSD < 7\%$) в метанольных экстрактах рапса и репейника лекарственного. Определение аналитов в реальных образцах растений, подвергшимся воздействию среды, загрязненной ПФАС (10 мкг/мл), выявило значительное накопление ПФАС с ультракороткими цепями, особенно ТФК и перфторпропионовой кислоты (ПФПрК). Эти результаты подтверждают потенциал стратегий ремедиации на основе растений и подчеркивают важность мониторинга ПФАС с короткими и ультракороткими цепями в экологических и сельскохозяйственных системах.

Цизин Г.И., д.х.н., tsisin@analyt.chem.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа, совместно с ИФХЭ РАН).

9. Методом хромато-масс-спектрометрии исследован примесный состав тетрахлорида германия природного изотопного состава и обогащенного изотопом ^{72}Ge (^{72}Ge – 99,75221 ат. %). Для разделения веществ исследована возможность применения хроматографической колонки DB-5MS 30 м × 0,32 мм × 0,25 мкм с метилсилоксаном. Идентификацию примесей проводили сравнением их масс-спектров с данными библиотеки NIST. В образцах установлены постоянные газы, хлорсодержащие углеводороды C_1 – C_2 , тетрафторид и диметилдифторид кремния, метилтрихлорид германия. Впервые установлены примеси SiF_4 , $\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{F}_2$, $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$, GeCH_3Cl_3 . Пределы обнаружения идентифицированных веществ находятся на уровне $3 \cdot 10^{-5}$ – $2 \cdot 10^{-6}$ об. %. Определены их концентрации в образцах тетрахлорида германия после синтеза. Впервые получены и описаны отсутствующие в литературных источниках масс-спектры $^{72}\text{GeCl}_4$ и $^{\text{nat}}\text{GeCl}_3\text{CH}_3$.

Впервые методом хромато-масс-спектрометрии исследован примесный состав изотопно обогащенного тетракис(трифторфосфин) никеля $^{58}\text{Ni}(\text{PF}_3)_4$ (^{58}Ni – 99,374 ат. %). Для разделения примесей изучены возможности применения капиллярных колонок GS-GasPro 60 м × 0,32 мм и DB-5MS 30 м × 0,32 мм × 0,25 мкм. Идентификацию соединений проводили по их масс-спектрам. Установлены примеси следующих веществ: N_2 , Ar, CH_4 , C_2H_6 , N_2O , CO_2 , CH_3Cl , C_4H_8 1-пропен-2-метил, C_4H_8 2-бутен, CH_2Cl_2 , *n*- C_6H_{14} , C_6H_6 , C_7H_8 толуол, *n*- C_7H_{16} , C_7H_{16} 3-метилгексан, C_9H_{12} 1-этил-2-метилбензол, $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_2$ 1-пропен-1-(2-фуранил), $\text{Ni}(\text{PF}_3)_3(\text{PF}_2\text{CH}_3)$. Их концентрации в образце после изотопного обогащения составили 10^{-2} – $4 \cdot 10^{-5}$ об. %. Впервые получен и описан отсутствующий в литературных источниках масс-спектр $\text{Ni}(\text{PF}_3)_3(\text{PF}_2\text{CH}_3)$.

Созин А.Ю., д.х.н., Sozin@ihps-nnov.ru (Институт химии высокочистых веществ РАН, г. Нижний Новгород).

10. Продемонстрирована возможность использования новой ионной жидкости 3-(2-гидразинил-2-оксоэтил)-1-метил-1H-имидазол-3-иум хлорида ([НОМ]Cl) в качестве реагента для дериватизации стероидных гормонов и их последующего анализа с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с квадрупольным времяпролетным масс-спектрометром в образцах мочи человека.

Zorina M., Feng Y.-Q., Atapattu, Sanka N., Girel S., Konshina, Dzh., Konshin, V.V., Temerdashev A.Z. A novel ionic liquid 3-(2-hydrazinyl-2-oxoethyl)-1-methyl-1H-imidazol-3-ium chloride as a derivatization reagent for HPLC-HRMS determination of steroid hormones in urine// Journal of Chromatography B Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences Open source preview, 2025, 1265, 124760.

Оценена возможность использования хлорида алрестатина для дериватизации. Протестированы выбранные аминокислоты, катехоламины и биогенные амины, определены пределы обнаружения, пределы и ключевые параметры аналитической эффективности.

Temerdashev A. et al. Application of alrestatin chloride as a derivatizing reagent for the determination of amino acids, catecholamines and biogenic amines

in urine // Journal of Chromatography Open. 2025. Vol. 8. Номер статьи 100268.

Представлены основные аспекты применения жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией низкого и высокого разрешения для определения стероидных гормонов. Показаны преимущества и недостатки целевого и нецелевого анализа, а также основных подходов к пробоподготовке. Обсуждаются результаты применения масс-спектрометрии изотопных соотношений в сочетании с жидкостной хроматографией для определения стероидных гормонов в целях допинг-контроля.

Temerdashev A.Z. et al. Liquid chromatography coupled to mass spectrometry for steroid hormones analysis: issues and solutions in sample preparation and method development // Journal of Chromatography Open. 2025. Vol. 8. № 100250.

Проведен нецелевой ГХ-МС анализ образцов мочи 22 пациентов с раком различной локализации и 22 здоровых добровольцев. В образцах было идентифицировано 54 стероидных гормона и некоторые жирные кислоты. Проецируя наблюдения на факторную плоскость, удалось разделить группы пациентов с раком и здоровых людей, что демонстрирует перспективность использования нецелевого ГХ-МС анализа для обнаружения биомаркеров рака.

Гашимова Е.М. и др. Применение нецелевого ГХ-МС-анализа для идентификации биомаркеров рака среди стероидных гормонов в моче человека // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 10. С. 1082-1091.

Темердашев А.З., д.х.н., TemerdashevAZ@gmail.com (Кубанский государственный университет, кафедра аналитической химии).

11. Изучены особенности концентрирования и хромато-масс-спектрометрического определения полициклических ароматических углеводородов в высокогумусных почвах с техникой QuEChERS и дисперсионной жидкостно-жидкостной микроэкстракцией. Пределы ГХ-МС-определения флуорантена, пирена, хризена и трифенилена в почвах с техникой QuEChERS составили 5 мкг/кг, остальных ПАУ - 10 мкг/кг. Применение техник QuEChERS и ДЖЖМЭ позволило снизить пределы определения флуорантена, пирена, хризена, трифенилена до 1.8 мкг/кг, других ПАУ - до 3.5 мкг/кг. Разработана методика определения 18 полициклических ароматических углеводородов в почвах и донных отложениях, сочетающая технику извлечения QuEChERS с последующим определением аналитов ВЭЖХ с флуориметрическим и диодно-матричным детектированием.

Темердашев З.А. и др. Особенности концентрирования и хромато-масс-спектрометрического определения ПАУ в почвах с высоким содержанием органического вещества // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 8. С. 852-864.

Овсеян С.К. и др. Определение полиароматических углеводородов в почвах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием техники QUECHERS // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2025. Т. 91. № 11. С. 26-33.

Проведено хромато-масс-спектрометрическое определение летучих органических соединений в различных экстрактах цветов ромашки аптечной. Установлены содержания ЛОС в эфирном масле и ароматной воде. Показано, что в ароматной воде ромашки аптечной в сравнении с эфирным маслом выше содержание и шире перечень ЛОС.

Темердашев З.А. и др. Хромато-масс-спектрометрическое определение летучих компонентов в различных экстрактах из цветов ромашки аптечной (*Matricaria chamomilla* L.) // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 3. С. 279-292.

Темердашев З.А., д.х.н., temza@kubsu.ru (Кубанский государственный университет, кафедра аналитической химии).

Тонкослойная хроматография

1. Предложен способ денситометрического определения кверцетина в экстрактах растительного сырья с использованием в качестве внутренних стандартов (+)-катехина, нарингина и рутина. Использование указанных флавоноидов в качестве внутренних стандартов дает возможность улучшить метрологические характеристики способа определения флавоноидов методом ТСХ с денситометрическим детектированием, в том числе расширить область линейности градуировочной зависимости. Использование внутреннего стандарта повышает точность и воспроизводимость результатов денситометрического определения флавоноидов и природных антиоксидантов в экстрактах растительного сырья при их разделении методом ТСХ.

Карпов С.И., д.х.н., karsiv@mail.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

2. Изучено влияние природы ПФ и ПФ, концентрации органического растворителя и ПАВ на хроматографическое поведение кверцетина, рутина, нарингина и (+)-катехина в подвижных фазах, содержащих цетилтриметиламмония бромид и додецилсульфат натрия. Выбраны условия для определения и разделения кверцетина, рутина, нарингина и (+)-катехина в ПФ, содержащих ПАВ. При разделении флавоноидов на пластинах «Alugram RP-18» целесообразно применение ПФ состава ПАВ : пропионовая кислота (8 об %), а на пластинах «Sorbfil ПТСХ-АФ-УФ» предпочтительнее применения ПФ состава ДДС Na : пропанол, $\omega = 50$ об%, $c(\text{ПАВ}) = 10.0 \cdot 10^{-3} \text{М}$, $c(\text{KCl}) = 0.5 \text{М}$ и СТАBr : пропанол, $\omega = 50$ об%, $c(\text{ПАВ}) = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{М}$, $c(\text{KCl}) = 0.5 \text{М}$ и ДДС Na : бутанол, $\omega = 20$ об%, $c(\text{ПАВ}) = 100.0 \cdot 10^{-3} \text{М}$.

Беланова Н.А., к.х.н., belanovana@mail.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

Капиллярный электрофорез

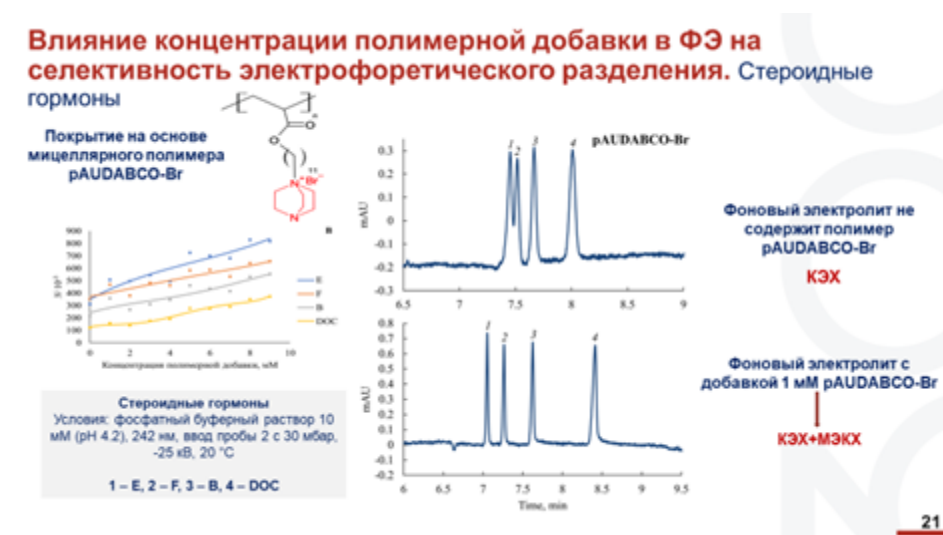
1. Выявлены аналитические возможности разделения и концентрирования биологически активных веществ с применением т.н. *smart*

materials: имидазолиевых ионных жидкостей, синтезированных мицеллярных полимеров, включая полимер с хиральным селектором – хинином, глубоких эвтектических растворителей на основе холин хлорида, модифицированных наночастиц золота и магнитных наночастиц, в качестве: 1) модификаторов стенок кварцевого капилляра и электроосмотического потока (ЭОП); 2) псевдостационарных фаз (ПСФ); 3) поглощающих добавок в фоновый электролит для косвенного детектирования; 4) экстрагентов в твердофазной магнитной микроэкстракции.

L Kartsova, A. Maliushevska, A. Adamova, A. Ganieva. *Smart materials as modifiers of capillary electromigration methods in bioanalysis TrAC. Trends in Analytical Chemistry* (2025) <https://doi.org/10.1016/j.trac.2025.118335>.

Карцова Л.А., д.х.н., kartsova@gmail.com; Адамова А.А., aleksandraadamova01@gmail.com; Малюшевская А.А., st103318@student.spbu.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии; кафедра органической химии).

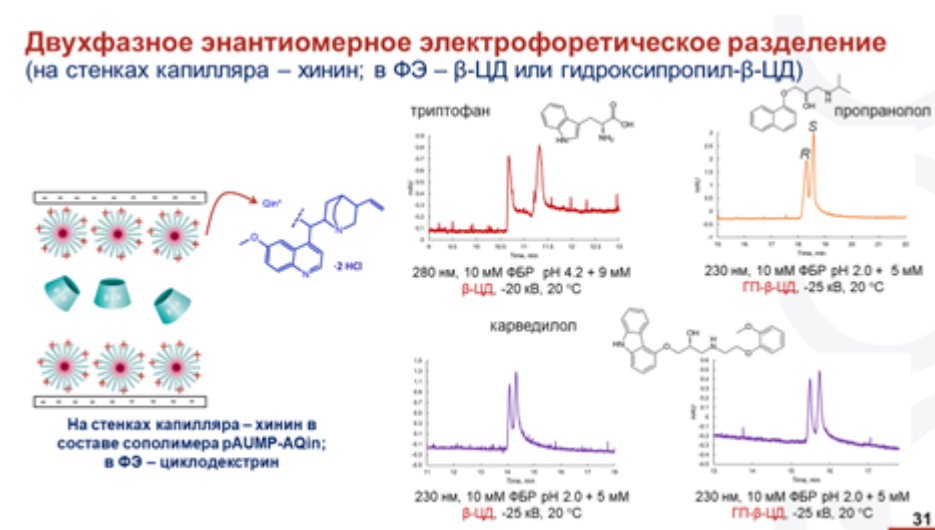
2. Выявлены аналитические возможности синтезированных мицеллярных полимеров при электрофоретическом разделении смесей аминокислот, стероидных гормонов, катехоламинов. Ранее их потенциал в методе КЭ не был изучен. На основе мицеллярных полимеров сформированы покрытия на внутренних стенках кварцевого капилляра, оценена их толщина (30 нм – в случае ахиральных полимеров, 80 нм – в случае сополимера с хиральной меткой) и морфологии методом СЭМ. Установлено, что новые материалы обеспечивают режимы электрокинетической хроматографии (МЭКХ, КЭКХ), косвенное детектирование в случае полимера с пиридиновой хромофорной группы, повышают эффективность и селективность разделения БАВ. Реализуя совместно режимы КЭКХ и МЭКХ с новыми полиэлектролитами, удалось добиться очень высокой эффективности для стероидных гормонов, до 10^6 теоретических тарелок (Рис.)



A. Adamova, D. Potapenko, P. Fetin, L. Kartsova. *New Cationic Polyelectrolytes for Achiral and Chiral Separations in Capillary Electromigration Methods. Chromatographia* (2025) <https://doi.org/10.1007/s10337-025-04447-y>.

Карцова Л.А., д.х.н., kartsova@gmail.com; Адамова А.А., aleksandraadamova01@gmail.com (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии; кафедра органической химии).

3. Установлены факторы электрофоретического энантиомерного разделения аминокислот и нестероидных противовоспалительных средств при использовании в качестве хиральных селекторов наночастиц золота, модифицированных хиральными селекторами на основе хитозана, а также мицеллярных полимеров с хиральным селектором – хинином. Получены новые результаты по электрофоретическому разделению энантиомеров триптофана, пропранолола и карведилола, кетопрофена и кеторолака с высокой энантиоселективностью в хиральных двухфазных системах с применением хитозана и синтезированных мицеллярных полимеров на стенках капилляра и вторым хиральным селектором (β -циклодекстрин, β -гидроксипропилциклодекстрин, ванкомицин) в ФЭ. (Рис.)



A.A.Adamova, D.A.Potapenko, P.A.Fetin, L.A. Kartsova. New Micellar Polymers as Polyfunctional Modifiers of Electrophoretic Systems. Journal of Analytical Chemistry. 2025. V.80. No 7. Pp 1292-1300. DOI: [10.1134/S1061934825700571](https://doi.org/10.1134/S1061934825700571).

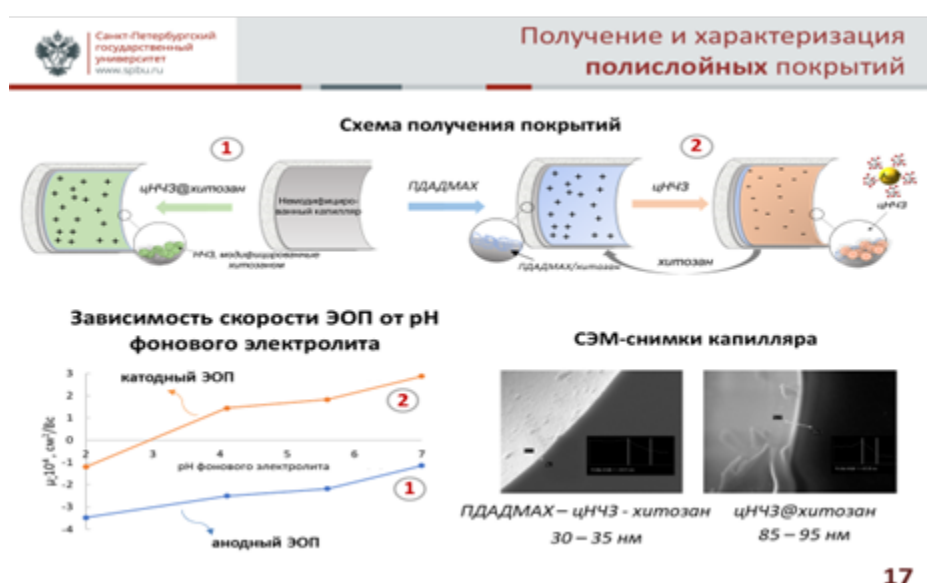
Карцова Л.А., д.х.н., kartsova@gmail.com; Адамова А.А., aleksandraadamova01@gmail.com; Зиангирова Э.Р., st097674@student.spbu.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии; кафедра органической химии).

4. Сформированы моно- и полислоенные покрытия стенок кварцевого капилляра с применением наночастиц золота и выявлен их потенциал для энантиомерного разделения аминокислот и лекарственных препаратов методом капиллярной электрохроматографии. Для увеличения удельной поверхности наряду с хитозаном изучены аналитические возможности синтезированных *цитрат-стабилизированных наночастиц золота (цНЧЗ)*; *цитрат-стабилизированных наночастиц золота, модифицированных хитозаном (цНЧЗ@хитозан)*; *наночастиц золота, модифицированных хитозаном (НЧЗ@хитозан)* (Рис. 1.2).

Рис.1



Рис.2



На полислоистых покрытиях наблюдали значительный рост эффективности ($N = 209-236$ тыс.т.т.) и факторов разрешения ($R_s = 25.6-29.3$) по сравнению с немодифицированным капилляром ($N = 36-60$ тыс.т.т; $R_s = 9.1-10.2$) и монослойным покрытием ($N = 84 - 127$ тыс.т.т; $R_s = 2.7 - 12.1$), что свидетельствует о значительном вкладе НЧЗ.

Ziangirova E.R., Kolobova E.A., Solovyeva E.V., Kartsova L.A. Chitosan and Gold Nanoparticle-Based Coatings for Electrophoretic Separation of Biologically Active Compounds // *Chromatographia*. 2025. DOI: 10.1007/s10337-025-04462-z.

Карцова Л.А., д.х.н., kartsova@gmail.com; Зиангирова Э.Р., st097674@student.spbu.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии; кафедра органической химии).

5. Проведены метаболомные исследования природных объектов (биологические жидкости, растительные объекты и др) с применением разработанных подходов с участием smart материалов хроматографическими

(ГХ-МС, ВЭЖХ-МС-МС, ВЭЖХ-УФ) и электрофоретическими (КЗЭ) методами с хемометрической обработкой полученных результатов. В случае гидроксикарбоновых кислот селективность разделения изомеров (изо-С4-С4, изо-С5-С5) обеспечивается только с применением имидазолиевой ИЖ в ФЭ. При стэкинге с усилением поля достигнуты факторы концентрирования от 40 до 90. В случае ГКК селективность разделения достигается в обоих вариантах для предельных КК селективное разделение изомеров (изо-С4-С4, изо-С5-С5) обеспечивается только с применением ИЖ.

Бессонова Е.А., к.х.н., lena_pol@inbox.ru; Карцова А.А., д.х.н., kartsova@gmail.com; Лазаретова А.И., st075497@student.spbu.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии; кафедра органической химии).

Другие хроматографические методы

1. Изучена хроматографическая подвижность фосфолипидов (ФЛ) входящих в состав лецитинов сои, подсолнечника в зависимости от состава подвижной фазы на основе растворителей при варьировании дисперсионных взаимодействий (галогеналканы), протонодонорных растворителей (алканола), а также с добавками органических кислот с различной константой кислотности. При выборе условий хроматографического разделения ФЛ ключевое внимание принадлежит разрешению хроматографических зон эффективности слоя сорбента с учетом состава подвижной фазы. Отмечено, что состав элюента позволяет значительно влиять на разрешение, возможность полного разделения веществ. Разрешение хроматографических зон при использовании элюентов с добавками органических кислот повышает точность определения индивидуальных ФЛ, а также способствует росту полноты извлечения индивидуальных фосфолипидов, применяемых на стадиях темплатного синтеза упорядоченных кремнеземов с отпечатками ФЛ.

Карпов С.И., д.х.н., karsiv@mail.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

Электрохимические методы

Потенциометрия. Ионоселективные электроды

1. Предложен ионселективный электрод для экспресс-определения цефтриаксона (Ceftr) в биологических объектах, в котором ионный ассоциат октадециламина (ОДА) с Ceftr является электродноактивным компонентом (ЭАК) мембраны цефтриаксонселективного электрода (Ceftr-СЭ). С целью установления механизма функционирования мембраны изучены равновесия в системе мембрана-раствор в зависимости от кислотности среды и количества ЭАК. При рН 6-9 ионный ассоциат $(\text{ОДА})_2^+ \cdot \text{Ceftr}^{2-}$ стабилен, а мембрана селективно откликается на цефтриаксон. Подобран оптимальный состав мембраны для Ceftr-СЭ, (мас.%): $(\text{ОДА})_2^+ \cdot \text{Ceftr}^{2-}$ - 0.80, поливинилхлорид -

33.06, ОДА - 1.7 (100 мМ), диоктилсебацинат - 66.14, внутренний электролит Ceftr (0.01 М) + КСl (0.01 М). Изучены электрохимические характеристики работы мембраны Ceftr-СЭ: линейный диапазон 1×10^{-5} -0.1 М, крутизна электродной функции 24.9 мВ/декада, предел обнаружения Ceftr 8.3×10^{-6} М. Способом бионных потенциалов определены потенциометрические коэффициенты селективности Ceftr-СЭ. Электрод использован для определения Ceftr в крови и слюне больных ковидом. Правильность результатов определения Ceftr подтверждена методом введено-найдено.

Татаева С.Д., Рамазанов А.Ш. Ионоселективный электрод для экспресс-определения цефтриаксона в биологических объектов. // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 6. С. 574-581. DOI: 10.31857/S0044450225060042.

Рамазанов А.Ш., д.х.н., a_ramazanov_@mail.ru (Дагестанский государственный университет, кафедра аналитической и фармацевтической химии, Махачкала).

2. Изучены потенциометрические характеристики электрополимеризованных покрытий органических красителей, полученных из сред фосфатного и ГЕПЕС-буферного растворов, а также глубоких эвтектических растворителей (ГЭР) – релина и смеси лимонной кислоты, глюкозы и воды. Для всех полученных покрытий изучено влияние кислотности среды на потенциал сенсора и проведена оценка обратимости потенциометрического отклика. На основе синтезированных покрытий разработан ряд твердоконтактных потенциометрических сенсоров для определения легкоокисляющихся органических соединений – гидрохинона, дофамина, кверцетина и аскорбиновой кислоты. Показано, что в зависимости от кислотности среды аналиты могут проявлять себя как однозарядные анионы, демонстрируя наклоны, близкие к нернстовским, или как восстановители, которые влияют на соотношение окисленной и восстановленной форм полимеров в составе модифицирующего слоя. Покрытия, синтезированные из ГЭР, демонстрировали более широкий диапазон определяемых концентраций и большую чувствительность по сравнению с покрытиями, электроосажденными из водных сред. Разработанные твердоконтактные потенциометрические сенсоры были апробированы для определения аналитов в составе косметических средств, лекарственных препаратов и биологически активных добавок. Степень открытия в реальных образцах составила от 92 до 107%.

G.I. Galimzyanova, M.I. Sorvin, R.V. Shamagsumova, T.N. Krasnova, A.V. Porfir'eva G.A. Evtugin./ Comparative characteristics of coatings electropolymerized from aqueous media and deep eutectic solvents and their using in potentiometric sensors // Russ J Electrochem. – 2025. – V. 61. – P. 559–575. <https://doi.org/10.1134/S1023193525700120>.

Порфирьева А.В., к.х.н., porfireva-a@inbox.ru; Галимзянова Г.И. galimzyanova98@mail.ru; Шамагсумова Р.В. rezeda84190@mail.ru (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

3. Разработаны модифицированные screen-printed потенциометрические сенсоры, чувствительные к цефалоспориновым антибиотикам – цефуроксиму (Cefur), цефотаксиму (Ceftx), цефазолину (Cef). В качестве электродноактивных компонентов (ЭАК) использованы ассоциаты тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро (I) – цефуроксим (цефотаксим). Показана роль магнитных наночастиц Fe_3O_4 и хлорида цетилпиридиния (ЦПХ) в улучшении электроаналитических свойств сенсоров в растворах исследуемых антибиотиков. Найдены оптимальные соотношения модификаторов в углеродсодержащих чернилах (Fe_3O_4 :ЦПХ=1:2,5). Определены основные электроаналитические характеристики модифицированных сенсоров. Введение в углеродсодержащие чернила бинарной смеси магнитных наночастиц и хлорида цетилпиридиния приводит к улучшению электроаналитических свойств планарных сенсоров, чувствительных к цефуроксиму, цефотаксиму, цефазолину: при этом снижается предел обнаружения $1 \cdot 10^{-6}$ ($1 \cdot 10^{-7}$ М), увеличиваются угловые коэффициенты (55 ± 3 мВ/рС) и интервалы линейности электродных функций ($1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-2}$ М), снижается время отклика – 26 - 30 с. Адсорбция ПАВ на границе раздела обеспечивает стабильность суспензии наночастиц и позволяет провести концентрирование молекул аналита.

Показана возможность отдельного определения цефалоспориновых антибиотиков в двух- и трех-компонентных смесях проекционными методами многомерной обработки данных ПЛС-1 и ПЛС-2. Оценены среднеквадратичные ошибки градуировки и прогноза, на основании которых подобраны оптимальное количество латентных переменных для данных методов. Установлено, что все исследованные модели дают высокие значения коэффициентов корреляции и тангенсы угла наклона зависимостей «измерено-предсказано» близкие к единице, что позволяет рекомендовать эти методы для практического использования.

Кулапина Е.Г., Мурсалов Р.К., Кулапина О.И. Модифицированные планарные сенсоры для отдельного определения некоторых цефалоспориновых антибиотиков // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 42–55. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-42-55>.

Кулапина Е.Г., д.х.н., kulapinaeg@mail.ru; Мурсалов Р.К., ruslan.mursalov2011@yandex.ru (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, кафедра аналитической химии и химической экологии).

4. Продолжаются работы по исследованию молекул азолазинового ряда - потенциальных противовирусных лекарственных средств. Предложена методология комплексного изучения физико-химических свойств с использованием современных инструментальных методов включающая в частности

- Изучение термодинамических и кинетических параметров процессов электропревращений;
- Изучение реакционной способности, локализации нуклеофильных и электрофильных центров, карт электростатического потенциала

промежуточных, побочных и конечных продуктов с использованием комбинации методов: ЭПР-спектроскопии/Электрохимии, ЭПР-спектроскопии/методов компьютерной симуляции;

- Изучение метаболической стабильности молекул при участии их в некоторых RedOx процессах;

- Определение констант диссоциации (рКа).

Изучена электрохимическая трансформация соединений с использованием комбинированного подхода, включающего циклическую вольтамметрию, хроноамперометрию, спектроскопию электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), квантово-химические расчеты и препаративный электролиз с анализом LC-HRMS,

Предложен подход к определению рКа соединений триазоло[5,1-с][1,2,4]триазина в N,N-диметилформамиде с использованием потенциометрического титрования. Отмечено, что изменение системного потенциала на кривых титрования триазоло[5,1-с][1,2,4]триазина наблюдается для соединений, содержащих либо Н⁺, расположенный у атома азота в положении 1, либо группу –NH₂. Рассчитанные значения рКа исследуемых молекул соответствуют значениям рКа умеренно сильных кислот и находятся в диапазоне 2–8. Установлена взаимосвязь между кислотностью гетероциклического фрагмента и наличием электронодонорных заместителей. Полученные значения рКа соединений коррелируют с рассчитанными возможными центрами депротонирования молекулы. Установлено, что определение кислотных констант веществ полезно для выяснения механизмов их превращений. Показана возможность установления связи между структурой соединения, рКа и вероятной биологической активностью.

Comprehensive study of the possible electrotransformations of the sodium salt of 3-nitro-4-hydroxy-7-methylthio-4H-[1,2,4]triazolo[5,1-c][1,2,4]triazinide monohydrate as potential antiviral drug. Mozharovskaia, P., Balin, I., Ivoilova, A., Tsmokalyuk, A., Drokin, R., Rusinov, V., Ivanova, A. & Kozitsina, A., 2025, в: Chimica Techno Acta. 12, 4.

Determination of pKa of triazolo[5,1-c][1,2,4]triazines in non-aqueous media by potentiometric titration. Ivoilova, A. V., Mozharovskaia, P. N., Mokrousova, L. V., Balin, I. A., Tsmokalyuk, A. N., Drokin, R. A., Sapozhnikova, I. M., Rusinov, V. L., Ivanova, A. V. & Kozitsina, A. N., 2024, в: Chimica Techno Acta. 11, 4, 202411410.

Козицина А.Н., д.х.н., Alisa-Kozitsina@yandex.ru (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург).

Вольтамперометрия

1. Изучено электрохимическое поведение асимметричного пиллар[5]арена с одним незамещенным гидрохиноновым фрагментом и четырьмя фрагментами, несущими восемь терминальных аминогрупп, методами вольтамперометрии на поверхности стеклоуглеродного электрода (СУЭ), модифицированного различными углеродными наноматериалами

(функционализированными многостенными углеродными нанотрубками, углеродной чернью (УЧ), электрохимически восстановленным оксидом графена). На вольтамперограммах регистрировали квазиобратимую пару пиков, отнесенную к редокс-превращениям гидрохинонового фрагмента. При иммобилизации на стеклоуглероде пиллар[5]арен сохранял способность к супрамолекулярным взаимодействиям и демонстрировал свойства редокс-медиатора. Это позволило определять L-тирозин после его накопления на поверхности сенсора состава СУЭ/УЧ/пиллар[5]арен. Взаимодействие между пиллар[5]ареном и нитратом серебра приводило к образованию наночастиц серебра, морфология которых была изучена с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Нанокompозитное покрытие, содержащее УЧ/пиллар[5]арен-Ag, использовали для окисления нитрит-аниона и наблюдали снижение редокс-потенциала на 300 мВ. Кроме того, вольтамперометрический сенсор состава СУЭ/УЧ/пиллар[5]арен-Ag был использован для определения хлорид-аниона в диапазоне концентраций от 50 мкМ до 0.1 мМ.

Shamagsumova, R. Electrochemical characteristics of composites based on novel asymmetric pillar[5]arene with carbon materials and their potential electrochemical applications / R. Shamagsumova, K. Gayazova, D. Shurpik, V. Evtugyn, D. Stoikov, I. Stoikov, G. Evtugyn // J. Solid State Electrochem. – 2025. – V. 29. – P. 1929-1943. <https://doi.org/10.1007/s10008-024-06147-3>.

Шамагсумова Р.В., к.х.н., rezeda84190@mail.ru; Евтюгин Г.А., д.х.н., gevtugyn@gmail.com (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

2. Установлено, что бинарная система золото-палладий (Au-Pd), осажденная на электрод из СУ, проявляет каталитическую активность при окислении парацетамола (ПЦ), аскорбиновой (АК) и ацетилсалициловой кислот (АсК). Использование композитного электрода на основе СУ, покрытого полимерной пленкой из поли-3,4-этилендиоксотиофена (ПЭДОТ) и бинарной системой Au-Pd (Au-Pd-ПЭДОТ-СУ) ведет к росту тока. Определены оптимальные условия электрополимеризации ПЭДОТ и потенциостатического осаждения Au-Pd, при которых регистрируются наилучшие вольтамперные характеристики при окислении исследуемых субстратов. Окисление АК, ПЦ и АсК протекает при потенциалах окисления модификатора – при +0.42 В, +0.77 В и +1.12 В соответственно, что указывает на участие в электрохимическом процессе в качестве катализаторов оксоформ палладия (II) и золота (III). Разница потенциалов окисления рассматриваемых аналитов позволяет разработать селективный способ вольтамперометрического определения трех аналитов при совместном присутствии на электроде Au-Pd-ПЭДОТ-СУ. Нижняя граница определяемых содержаний АК и ПЦ достигает 5×10^{-7} М соответственно и 5×10^{-6} М для АсК. Разработанный селективный вольтамперометрический способ определения АК, ПЦ и АсК на Au-Pd-ПЭДОТ-СУ апробирован в анализе лекарственных средств.

Шайдарова Л.Г., д.х.н., larisashaidarova@mail.ru (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

3. ¹Исследовано электрохимическое окисление галловой кислоты, применяемой в качестве модельного полифенольного антиоксиданта на стеклоуглеродном электроде в водных растворах с рН 2–7. Проведен анализ водных экстрактов нескольких коммерческих образцов черного и зеленого чая на содержание полифенольных антиоксидантов. Наблюдаемые пики окисления/восстановления относятся к различным флавоноидам, содержащимся в чае. Валовое содержание флавоноидов составляет (в расчете на сухой чайный лист): 50-110 мг/г (зеленый чай) и 20-40 мг/г (черный чай). Предложенный в работе электрохимический метод анализа является быстрым и доступным средством оценки антиоксидантной активности чая, дополняя существующие более сложные хроматографические с спектрофотометрические методы.

²Проанализировано содержание полифенольных антиоксидантов в плодах алой и черноплодной рябины с использованием двух методов - общепринятого метода Фолина-Чоукальтеу и вольтамперометрического метода, давших хорошую сходимость. Общее содержание полифенолов в жмыхе алой рябины составляет 800–1000 мг/100 г, а в черной оно в 2-3 раза больше. Исследована возможность использования жмыха рябины для приготовления чая в сравнении с коммерческими препаратами и БАДами на основе рябины.

^{1,2}Кропачева Т.Н., к.х.н., krop@uni.udm.ru; ¹Кожин М.Д. (Удмуртский государственный университет, кафедра фундаментальной и прикладной химии, Ижевск).

4. Предложено применение сернофосфорнокислых диметилсульфоксидсодержащих фоновых электролитов для вольтамперометрического определения титана(IV) и молибдена(VI) в металлсодержащих органических соединениях кластерного типа. Установлено, что в данных условиях электровосстановление Ti(IV) и Mo(VI) протекает необратимо с участием 1 и 2 электронов соответственно, при этом в растворах с большим содержанием диметилсульфоксида разность потенциалов восстановления и максимальные токи Ti(IV) и Mo(VI) возрастают. Найдены концентрационные области линейной зависимости максимальных токов деполяризаторов от их содержания в растворе, оценено влияние сопутствующих элементов на вольтамперометрическое поведение титана(IV) и молибдена(VI), разработаны методики вольтамперометрического определения Ti(IV) и Mo(VI) в металлсодержащих органических соединениях кластерного типа, отличающиеся точностью и простотой выполнения.

Трубачева Л.В., Трубачев А.В. Вольтамперометрическое определение титана(IV) и молибдена (VI) в металл-содержащих органических соединениях кластерного типа с применением серно-фосфорнокислых

Трубачев А.В., к.х.н., trub_av@mail.ru; Трубачева Л.В., к.х.н., (Удмуртский государственный университет, кафедра фундаментальной и прикладной химии, Ижевск).

5. Разработаны и апробированы принципиальные алгоритмы количественного определения поверхностных белков вирусов на примере гемагглютинаина вируса гриппа. На основании предложенных алгоритмов методом 3D печати создан лабораторный образец электрохимической диагностической тест-платформы (рис. 1).

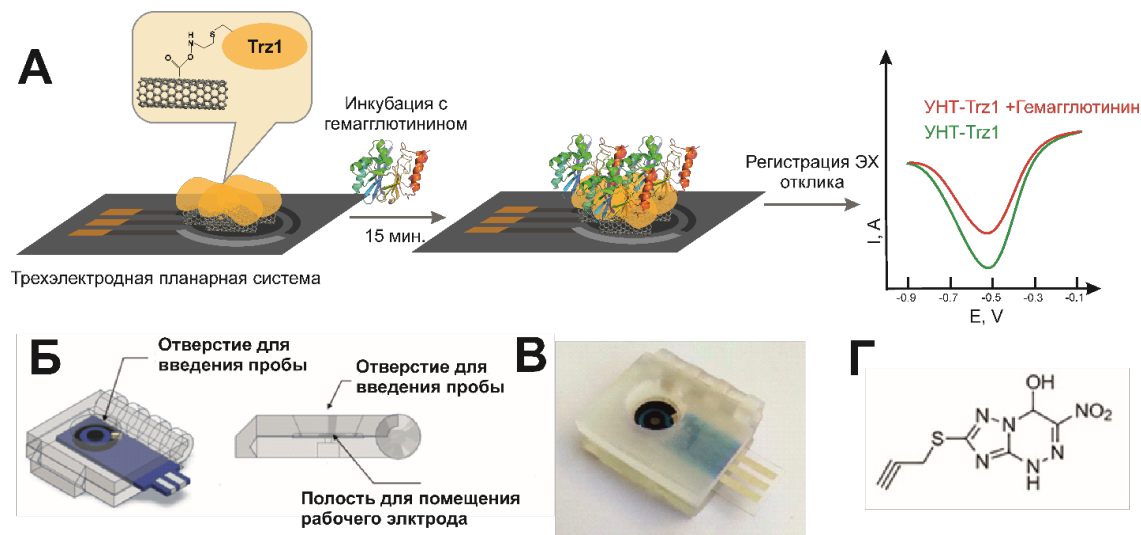


Рисунок 1 – Алгоритм количественного электрохимического определения гемагглютинаина(а), конструкция разработанной электрохимической тест-платформы (б, в), структурная формула 3-нитро-4-гидрокси-1,4-дигидро-7-пропаргилтио-1,2,4-триазоло[5,1-с][1,2,4]триазиона (г).

Полученные аналитические характеристики (линейный диапазон: 0.025-0.500 мкг, предел обнаружения для Н1 - 0.036 мкг, для Н5 0.029 мкг) не уступают возможностям иммуноферментного анализа, указывают на отсутствие значимой систематической погрешности количественного определения гемагглютинаина в модельных суспензиях и образцах противогриппозных вакцин. Полученные результаты могут в дальнейшем найти практическое применение для решения задач интегральной количественной оценки вирусной нагрузки и контроля качества противогриппозных вакцин.

Rapid voltammetric determination of hemagglutinin in saliva using magnetic nanoparticles modified with triazolotriazine in a portable cell design Sabitova, Y., Svalova, T., Medvedeva, M., Malysheva, N., Rusinov, V., Matern, A. & Kozitsina, A., 2025, в: Chimica Techno Acta. 12, 1, 1210.

Разработан оригинальный подход к вольтамметрическому определению антибиотика хлорамфеникола на стеклоуглеродном электроде, модифицированном углеродными нанотрубками и электроосажденным слоем на основе 3,6-диэтинил-9Н-карбазола, используемого в качестве молекулярного распознающего агента. Предложен молекулярный механизм взаимодействия между распознающим агентом и аналитом, основанный на N-алкилировании карбазола хлорамфениколом. Природа межмолекулярного

взаимодействия хлорамфеникола и 3,6-диэтинил-9Н-карбазола изучалась с помощью молекулярной абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии, а также высокоэффективной жидкостной хроматографии. Разработан оригинальный подход к модификации поверхности стеклоуглеродного электрода углеродными нанотрубками и электроосаждению 3,6-диэтинил-9Н-карбазола. Аналитический сигнал детектировался по току электрохимического восстановления аналита с помощью дифференциальной импульсной вольтамперометрии. При выбранных условиях эксплуатации разработанный подход позволяет проводить вольтамперометрическое определение хлорамфеникола с линейным диапазоном определяемых концентраций от 0,1 до 1000 мкМ и пределом обнаружения 0,02 мкМ, что сопоставимо по чувствительности с другими методами, описанными в литературе. Он был успешно протестирован как на модельных растворах, так и на реальных образцах молока.

Voltammetric Determination of Chloramphenicol Based on Glassy Carbon Electrode Modified With 3,6-Diethynyl-9H-Carbazole Electrodeposited Functional Layer. Svalova, T., Antipina, D. I., Saigushkina, A., Malysheva, N., Moseev, T., Kvashnin, Y., Gazizov, D., Kuzin, Y., Verbitskiy, E., Varaksin, M., Chupakhin, O., Evtugyn, G. & Kozitsina, A. N., 1 мая 2025, : Electroanalysis. 37, 5.

Козицина А.Н., д.х.н., Alisa-Kozitsina@yandex.ru (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург).

Электрохимические сенсоры

1. Создан вольтамперометрический сенсор на основе углеволоконного (вуалевого) планарного электрода, модифицированного наноккомпозитом, для определения синтетических пищевых красителей кармуазина (Кар), красного очаровательного (КО) и синего блестящего (СБ) при совместном присутствии. В состав наноккомпозита входят наночастицы оксида никеля, синтезированные с использованием экстракта из листьев земляники, нанопластины графена и катионное поверхностно-активное вещество цетилтриметиламмония бромид. На модифицированном электроде наблюдается возрастание сигналов красителей и улучшение разрешающей способности. Установлено, что электроокисление красителей протекает необратимо и контролируется поверхностными процессами в случае Кар и СБ и диффузионными явлениями в случае КО. Разработан способ вольтамперометрического определения красителей Кар, КО, СБ при совместном присутствии с помощью разработанного сенсора. Пределы обнаружения Кар, КО и СБ составляют 0.05, 0.08 и 0.15 мкМ соответственно. В выбранных условиях регистрации дифференциально-импульсных сигналов красителей успешно проанализированы реальные образцы (безалкогольные напитки, сироп, зефир) с показателем правильности 95–104 %.

Журнал аналитической химии, 2025, том 80, № 7, с. 734–744. DOI: [10.31857/S0044450225070086](https://doi.org/10.31857/S0044450225070086).

Хамзина Е.И., xei260296@mail.ru; Стожко Н.Ю., д.х.н., sny@usue.ru. (Уральский государственный экономический университет, кафедра физики и химии, Екатеринбург).

2. Разработан планарный электрохимический сенсор на основе толстопленочного углеродсодержащего электрода (ТУЭ), модифицированного цеолитоподобным имидазолатным металлоорганическим каркасом ZIF-8 и графеном, для определения синтетического анальгетика трамадола методом вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала. Модификация электрода нанокompозитным модификатором увеличила его поверхность в 1.6 раза и способствовала трехкратному возрастанию пика тока окисления трамадола. Показано, что наибольший ток окисления трамадола регистрируется при 10 % ZIF-8 в составе нанокompозитного модификатора и использовании фосфатного буферного раствора pH 7 в качестве фонового электролита. Наблюдается смещение потенциала пика окисления трамадола на 130 мВ в область меньших значений на модифицированном электроде по сравнению с немодифицированным. Электроокисление трамадола на графен-ZIF-8/ТУЭ является необратимым адсорбционно контролируемым процессом с участием одного электрона. Рассчитаны параметры электроокисления трамадола и предложена схема электродной реакции. Предел обнаружения трамадола и линейный диапазон сенсора составляют 0.01 мкМ и 0.25-1800 мкМ соответственно. Сенсор проявляет высокую селективность в отношении ряда соединений, сопутствующих трамадолу в реальных образцах, что позволяет использовать его в анализе искусственной сыворотки крови и фармацевтических средств в форме таблеток и раствора для инъекций. Показатель правильности, равный 96–105 %, доказывает отсутствие систематической погрешности определения трамадола, а относительное стандартное отклонение, не превышающее 5 %, свидетельствует о хорошей повторяемости результатов анализа. Отсутствие дополнительных стадий разделения и концентрирования делает анализ с использованием графен-ZIF-8/ТУЭ высокоэкспрессным.

Аналитика и контроль. 2025. Т. 29, № 3. С. 189-198. DOI: 10.15826/analitica.2025.29.3.001.

Бухаринова М.А., к.х.н., mbuharinova@mail.ru; Стожко Н.Ю., д.х.н., sny@usue.ru (Уральский государственный экономический университет, кафедра физики и химии, Екатеринбург).

3. ¹Разработан массив потенциометрических мембранных сенсоров, позволяющий выполнять быструю оценку кариесрезистентности зубной эмали детей посредством анализа их ротовой жидкости. Мембраны для сенсоров были получены методом прививочной радикальной сополимеризации стирола на активированной гамма-излучением пленке поливинилиденфторида с последующим сульфированием полистирола. Некоторые из полученных мембран были модифицированы полианилином методом химической окислительной полимеризации. Эффективность этих мембран в составе сенсоров сопоставлена с коммерческими

перфторированными сульфированными полимерными мембранами и композиционными мембранами на их основе. Сопоставление результатов анализа с результатами клинических исследований при апробации разработанной мультисенсорной системы на тестовом наборе образцов ротовой жидкости, полученных от пациентов с разным уровнем кариесрезистентности зубной эмали, показало точность, чувствительность и специфичность классификации 89, 78 и 93%, соответственно.

²Изучены электродоактивные свойства гомогенных мембран на основе коммерческого сополимера тетрафторэтилена с сульфированным перфторвиниловым эфиром и новых привитых мембран на основе сополимера поливинилиденфторида и сульфированного полистирола в составе потенциометрических сенсоров для анализа фармацевтических препаратов, растворов, имитирующих слюну человека, и реальных образцов ротовой жидкости. Установлены закономерности изменения равновесных и транспортных характеристик привитых мембран в зависимости от степени прививки и условий синтеза в них полианилина. Показано, что полианилин как модификатор гомогенных и привитых сульфированных мембран позволяет повысить их устойчивость к загрязнению за счет «сшивающего» действия на гидрофильные кластеры и гидрофилизации поверхности. Эффект достигался вследствие подавления абсорбции низкомолекулярных катионов лекарственных веществ и метаболитов с азотсодержащими протоноакцепторными группами, а также адсорбции высокомолекулярных компонентов физиологических жидкостей.

Yelnikova A.S., Yurova P.A., Parshina A.V., Stenina I.A., Ippolitov Y.A., Popov V.I., Bobreshova O.V., Yaroslavtsev A.B. Polyaniline as an antifouling modifier for homogeneous and pseudo homogeneous grafted fluoropolymeric sulfonated membranes in potentiometric sensors for the analysis of pharmaceuticals and physiological fluids // Membranes and Membrane Technologies. 2025. V.7. №5.

Результаты получены совместно с Лабораторией ионки функциональных материалов ИОНХ РАН (зав. лабораторией – д.х.н., академик РАН Ярославцев А.Б.)

Бобрешова О.В., д.х.н., bobreshova@chem.vsu.ru ; Паршина А.В., д.х.н., parshina_ann@mail.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

4. Получены планарные амперометрические сенсоры модифицированные полимером с молекулярным отпечатком (ПМО) 3-(4-гидроксиенил)молочной кислоты. Диапазон определяемых концентраций амперометрического сенсора на основе ПМО-ГФМК оставляет $(0.1-0.2) \cdot 10^{-5}$ г/дм³. Предел обнаружения 3-(4-гидроксиенил)молочной кислоты составляет $4.5 \cdot 10^{-4}$ г/дм³. Методом прямой вольтамперометрии было определено содержание частности 3-(4-гидроксиенил)молочной кислоты, в модельных водных растворах. Значение относительного стандартного отклонения приведенного сравнения концентраций кислоты приготовленных модельных растворов и установленных на основе ПМО гидроксиенилмолочной кислоты не превышает 10%.

Зяблов А.Н., д.х.н., alex-n-z@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедрa аналитической химии).

5. Разработаны амперометрические сенсоры на основе молекулярно-импринтированного полимера (МИП) с отпечатками додецилсульфата натрия (SDS) и лаурилсульфата натрия (SLES) и показано, что полученные сенсоры чувствительны к определяемому веществу. Синтез МИП осуществляли из сополимера диангирида 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты с 4,4'-диаминодифенилоксидом в N,N-диметилформамиде и темплата – додецилсульфат натрия в объемном соотношении 1:1 по двухстадийной методике. Данные сенсоры апробировали при анализе паст (Lacalut aktiv, Aquafresh, Новый Жемчуг, Лесной Бальзам) и шампуней (Old Spice Whitewater, Batel Chinese Phyto Formula). Диапазон определяемых концентраций составил от 0,01 – 0,5 г/дм³.

М.Е. Дядищев, Н.В. Моргачева, А.Н. Зяблов. Определение додецилсульфата натрия в водных растворах амперометрическим сенсором // Сорбционные и хроматографические процессы. – DOI 10.17308/sorpchrom.2025.25/12956.2025. – Т. 25, № 2. – С. 171-176. –

Дядищев М.Е.; аспирант, dyadisheff.mischa@yandex.ru (Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина); Зяблов А.Н., д.х.н., alex-n-z@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

6. Разработаны амперометрические сенсоры на основе полимера с молекулярными отпечатками (ПМО) инсулина как препарата допинга. Показано, что полученные сенсоры чувствительны к определяемому веществу. Сенсоры апробировали при анализе следующих медицинских марок инсулина: Инсулин глулизин В 0.004, РОСИНСУЛИН М микс 30/70 В 0.006, Фиасп® В 0.032. Диапазон определяемых концентраций составил 0,06-0,08 г/л.

Фролова М.С., магистр кафедры химико-биологических дисциплин и фармакологии ЕГУ им. И.А. Бунина; maria0.01@mail.ru; Зяблов А.Н., д.х.н., alex-n-z@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

7. Разработаны амперометрические сенсоры на основе молекулярно-импринтированного полимера (МИП) с отпечатком пищевой добавки глутамата натрия (Е621). В ходе экспериментов был установлен диапазон определяемых концентраций от 0,625 г/л до 40 г/л. Для проверки точности определения глутамата натрия в модельных растворах использовали метод «введено-найдено» при этом относительное стандартное отклонение не превышало 10%.

Зяблов А.Н., д.х.н., alex-n-z@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

8. Разработаны амперометрические сенсоры на основе полимера с молекулярным отпечатком (ПМО) сорбиновой кислоты и показано, что полученные сенсоры чувствительны к определяемому веществу. Данные сенсоры апробировали при анализе модельных растворов. Диапазон определяемых концентраций составил от $0.1-1.0 \cdot 10^{-4}$ г/л.

Разработана амперометрическая установка для проведения анализа в полевых условиях. Получена грантовая поддержка от Фонда содействия инновациям для создания и доработки прототипа установки.

Выборный А.Ю., аспирант, antonvybornyi@mail.ru; Зяблов А.Н., д.х.н., alex-n-z@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

9. Разработаны амперометрические сенсоры с молекулярно-импринтированными полимерными (МИП или ПМО) покрытиями, созданными на основе антибиотиков цефтриаксона натрия (Ceftr), цефазолина натрия (Cef), цефотаксима натрия (Cefot), цефуроксима натрия (Cefur), стрептомицина сульфата (Strep), неомицина сульфата (Neo) и сульфаниламида (Sulf). Установлено, что все сенсоры обладают высокой селективностью к целевым молекулам, использованным в качестве шаблонов при синтезе. Значения импринтинг-фактора (IF) для ПМО-сенсоров составили 4,3 – 6,3, что подтверждает их эффективность. Определены метрологические характеристики амперометрических сенсоров на основе ПМО. Диапазон определяемых концентраций антибиотиков составляет $0,1 - 1,0 \times 10^{-5}$ г/дм³, предел обнаружения $1,5 \times 10^{-6} - 8,5 \times 10^{-6}$ г/дм³. МИП-сенсоры апробированы при определении антибиотиков в сточных водах и молочных продуктах. Антибиотики в исследованных пробах обнаружены не были, что подтверждено методом ВЭЖХ.

Фам Тхи Гам, О. А. Тертышников, А. Н. Зяблов, А. Ю. Выборный, Н. А. Литвинова. Определение антибиотиков в сточных водах амперометрическими сенсорами // Журнал аналитической химии. - 2025. - Т. 80, № 9. - С. 996-1002.

Фам Тхи Гам, Као Ньят Линь, А. Н. Зяблов, Нгуен Ань Тьен. Определение антибиотиков в жидкостях амперометрическим сенсором, модифицированным молекулярно-импринтированным полимером // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2025. - Т. 91, № 9. - С. 28-35.

Проведен анализ пленок полимеров с молекулярными отпечатками (ПМО) антибиотиков. Установлена более высокая пористость у ПМО по сравнению с неимпринтированным полимером, что обусловлено структурной перестройкой при синтезе, приводящей к уменьшению количества микропор и увеличению доли мезо- и макропор. Кроме того, установлена корреляция между количеством микропор и чувствительностью сенсора, что доказывает, что молекулярные распознающие центры в основном расположены в этих полостях.

Фам Тхи Гам, аспирант кафедры аналитической химии Воронежского ГУ (Ханойский университет бизнеса и технологий); Зяблов А.Н., д.х.н., alex-n-z@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

10. Для интерпретации аналитических характеристик электродов, модифицированных наночастицами Cu-NPs и Ni-NPs, в реакции электроокисления уриновой кислоты (UA) рассчитаны поляризуемости ее одно- и двухзарядных анионов (U_1 и U_2) и их соответствующих комплексов U_1M и U_2M (где $M = Cu, Cu^+, Cu^{2+}, Ni, Ni^{2+}, Ni^{3+}$). Величина поляризуемости характеризует подвижность электронного облака, более высокая поляризуемость повышает способность системы переносить заряд, то есть ее склонность к окислению. Расчет, выполненный методами квантовой химии, показал, что поляризуемость возрастает при образовании комплексов с металлами в следующем порядке: $U_1 < U_1Cu^+ < U_1Cu^{2+} < U_1Ni^{3+} < U_1Ni^{2+} < U_1Cu < U_1Ni$, $U_2 < U_2Cu^+ < U_2Cu^{2+} < U_2Ni^{3+} < U_2Ni^{2+} < U_2Cu < U_2Ni$. Специфичность электродов по отношению к UA коррелирует с поляризуемостью моно- и дианионов UA на каталитических центрах электроосажденных наночастиц и характером взаимодействия между поверхностями наночастиц и молекулярным кислородом.

Работа выполнена совместно с Institute of Biochemistry, Saarland University, Germany и ФИЦ ПХФ и МХ, Черноголовка, Россия.

Butyrskaya, E. V., Korkmaz, N., Zolotukhina, E. V., Kleinikova, S. A., Koch, M., & Silina, Y. E.. Revealing the impact of surface composition of electrodeposited Cu and Ni nanoparticles on the specific electrooxidation of uric acid. // Electrochimica Acta. 2025. C.147012. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2025.147012>.

Butyrskaya, E. V., Zolotukhina, E. V., Herbeck-Engel, P., Koch, M., & Silina, Y. E. Toward the development of a specific non-enzymatic amperometric sensor for determining uric acid in fermentation samples // Microchimica Acta. 2025. T. 192. №. 3. C. 149. <https://doi.org/10.1007/s00604-025-06979-4>.

Бутырская Е.В., д.х.н., bev5105@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

11. Изучено влияние гидрофильности/олеофильности хиральных модификаторов комплексной природы на характеристики вольтамперометрических сенсоров. Показано, что гидрофобные комплексы переходных металлов оптимальны для пастовых электродов на основе графитированной сажи (Carboblack C), обеспечивая хорошее распределение в связующем. Например, сенсор СВРЕ@(S)-Ni эффективно дискриминирует энантиомеры напроксена по двум пикам окисления. Гидрофильные комплексы, такие как транс-[Zn(L-Arg)₂(H₂O)], лучше проявляют себя в сенсорах на основе СУЭ с полиэлектролитным комплексом, демонстрируя селективность к энантиомерам тирозина. Разработаны пастовые электроды, модифицированные комплексами никеля с хиральными лигандами для распознавания и определения энантиомеров напроксена ($i_{pS1}/i_{pR1} = 1.43$ для первого и $i_{pS2}/i_{pR2} = 1.27$ для второго пика) и атенолола ($i_S/i_R = 1.60$, $\Delta E = 20$ мВ). Линейный диапазон определяемых концентраций Nap на сенсоре СВРЕ@@(S)-Ni от $5.0 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ М и от $2.0 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ М для (S)-Nap и (R)-Nap соответственно. Пределы обнаружения для первого и второго пиков

$5.31 \cdot 10^{-7}$ М и $4.96 \cdot 10^{-7}$ М для (*S*)-Nap и $7.40 \cdot 10^{-7}$ и $6.79 \cdot 10^{-7}$ для (*R*)-Nap; нижние границы определяемых концентраций для первого и второго пиков $1.77 \cdot 10^{-6}$ и $1.65 \cdot 10^{-6}$ М для (*S*)-Nap и $2.47 \cdot 10^{-6}$ и $2.26 \cdot 10^{-6}$ М для (*R*)-Nap. Сенсор более чувствителен к (*S*)-Nap. Линейный диапазон определяемых концентраций Atn на сенсоре CBPE@@(*S*)-Ni1 от $1.0 \cdot 10^{-4}$ до $1.0 \cdot 10^{-3}$ М. Пределы обнаружения и нижние границы определяемых концентраций составили $2.76 \cdot 10^{-6}$ и $9.23 \cdot 10^{-6}$ М для (*S*)-Atn, $4.51 \cdot 10^{-6}$ и $1.5 \cdot 10^{-5}$ М для (*R*)-Atn. Сенсор более чувствителен к (*S*)-Atn. Сенсоры успешно апробированы для определения энантиомеров Nap и Atn в смесях, в биологических жидкостях, в лекарственных формах препаратов. Значения правильности свидетельствуют об отсутствии матричных эффектов. Для изучения стабильности, сенсоры хранили в буферных растворах в холодильнике и тестировали каждые пять дней в течение 20 дней. Результаты показали, что отклики сенсоров на 20-й день все еще сохранялись на уровне 98% по сравнению с первым днем, что доказывает высокую стабильность сенсоров.

Разработаны сенсорные системы для надежного распознавания энантиомеров Atn и содержащих Atn фармацевтических препаратов (*R/S*). Методами главных компонент (МГК) и независимого моделирования аналогии классов (SIMCA) представлена возможность идентификации энантиомеров Atn без ошибок первого и второго рода. Следует заметить, что при хемометрической обработке вольтамперометрических данных зарегистрированных на единичных сенсорах CBPE@(*S*)-Ni1 или CBPE@(*S,S*)-Ni5 наблюдаются ошибки второго рода (ошибочное принятие другого энантиомера за распознаваемый) из-за близости электрохимических характеристик энантиомеров.

Зильберг Р.А., к.х.н., ZilbergRA@yandex.ru; Терес Ю.Б., (Уфимский университет науки и технологий, кафедра аналитической химии).

12. Вольтамперометрические сенсоры на основе стеклоуглеродных электродов (СУЭ), модифицированных диспергированными в N-гексадецилпиридиний бромиде наночастицами диоксида олова (НЧ SnO₂) или наночастицами диоксида церия (НЧ CeO₂), для определения таксифолина или пропилгаллата соответственно. Модификация электродной поверхности обеспечивает увеличение степени обратимости электродной реакции, а также значимое увеличение редокс-токов аналитов по сравнению с СУЭ. Морфология электродной поверхности по данным сканирующей электронной микроскопии представлена равномерно распределенными по электродной поверхности НЧ SnO₂ или CeO₂ сферической формы, что приводит к росту эффективной площади электрода и увеличению гетерогенной константы скорости переноса. Установлены закономерности электроокисления таксифолина и пропилгаллата, протекающее с участием протонов. В дифференциально-импульсном режиме на фоне буферного раствора Бриттона–Робинсона диапазон определяемых содержаний таксифолина составляет 0.075–25 мкМ с пределом обнаружения 70.7 нМ, а для пропилгаллата – 0.10–2.5 и 2.5–50 мкМ с пределом обнаружения 0.022 мкМ. Полученные характеристики сопоставимы с другими электрохимическими

подходами, но предложенные способы более просты и экспрессны, а также не требуют сложной модификации электрода. Показана селективность отклика электродов на аналиты в присутствии неорганических ионов, углеводов, аскорбиновой кислоты и других природных и синтетических антиоксидантов, которые обычно содержатся в объектах анализа. Разработанные подходы успешно применены в анализе биодобавок на основе дигидрокверцетина (таксифолина) и экстрактах подсолнечного и кунжутного масел в случае пропиленгликоля.

G.K. Ziyatdinova, A.D. Tarabukina . A voltammetric sensor based on tin dioxide nanoparticles for the determination of taxifolin / J. Anal. Chem. – 2025. – V. 80. – № 7. – P. 1264-1273. <https://doi.org/10.1134/S1061934825700558>.

Ziyatdinova, G.K. / G.K. Ziyatdinova, I.O. Grigoreva Cerium-dioxide-nanoparticle-modified electrode for voltammetric determination of propyl gallate // Russ. J. Electrochem. – 2025. – V. 61. – № 10. – P. 720-731. <https://doi.org/10.1134/S1023193525600828>.

Разработаны новые чувствительные и селективные электрохимические сенсоры на основе послойного сочетания углеродных наноматериалов (нановолокон и функционализированных одностенных нанотрубок) и электрополимеризованных трифенилметановых красителей (тимолфталеина, алюминона, бромкрезолового пурпурного и фенолового красного) для одновременного определения структурно родственных природных фенольных антиоксидантов. Найдены рабочие условия электрополимеризации мономеров, обеспечивающие наилучшие вольтамперные характеристики природных фенольных антиоксидантов при совместном присутствии. Данные сканирующей электронной микроскопии, вольтамперо- и хроноамперометрии, а также спектроскопии электрохимического импеданса подтверждают эффективность использования предложенных покрытий в качестве чувствительного слоя вольтамперометрических сенсоров. Рассчитаны параметры окисления рассматриваемых природных фенольных антиоксидантов на полимер-модифицированных электродах. Впервые предложены чувствительные и селективные вольтамперометрические сенсоры для одновременного определения нарингина и гесперидина, феруловой кислоты и ванилина, а также кофейной, феруловой и *n*-кумаровой кислот, функционирующие в условиях дифференциально-импульсной вольтамперометрии. Сенсоры успешно использованы в анализе пищевых продуктов и экстрактов из растительного сырья.

Зиятдинова Г.К., д.х.н., Ziyatdinovag@mail.ru (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

13. Разработаны электрохимические сенсоры на основе поли(Нильского синего) и нанокompозита электрохимически восстановленного оксида графена с полипрофлавином, электроосажденных из сред глубоких эвтектических растворителей (ГЭР). Поли(Нильский синий) получали электрополимеризацией из релина и оксалина, нанокompозит синтезировали из природного глубокого эвтектического растворителя, состоящего из

лимонной кислоты и глюкозы. В случае сборки ДНК-сенсора на основе поли(Нильского синего), покрытия получали в потенциодинамическом режиме на поверхности печатного углеродсодержащего электрода, после чего на них иммобилизовали ДНК. Сенсоры позволяли определять противораковый препарат пирарубицин методами вольтамперометрии и спектроскопии электрохимического импеданса. Вольтамперометрический подход позволил определять пирарубицин с помощью ДНК-сенсоров на основе поли(Нильского синего) из релина и оксалина с пределом обнаружения на уровне 1 фМ. В случае импеданса, предел обнаружения составил 0.1 фМ для поли(Нильского синего), полученного из релина и 0.05 фМ для поли(Нильского синего) из оксалина. Сенсор на основе покрытия, электроосажденного из релина, демонстрировал лучшую чувствительность и воспроизводимость и апробирован для определения пирарубицина в искусственной моче, растворах Рингера-Локка и бычьего сывороточного альбумина, а также в моче и слюне, полученных от условно здоровых доноров. Установлены условия нивелирования матричных эффектов компонентов биологических жидкостей. В случае нанокompозита последовательно накладывали потенциал в катодной и анодной областях для получения покрытия из одной капли суспензии красителя и оксида графена в ГЭР. Иммобилизация ДНК поверх нанокompозита позволила получить ДНК-сенсор для определения антрациклиновых препаратов. Разработанный ДНК-сенсор определял от 10 нМ до 0.1 мМ доксорубицина, от 1 пМ до 10 нМ эпирубицина и от 10 пМ до 10 нМ – идарубицина, с пределами обнаружения 3 нМ, 1 пМ и 5 пМ соответственно. Доксорубицин в концентрации ниже 10 нМ не оказывал влияния на определение эпирубицина и идарубицина, несмотря на структурное подобие препарата. Разработанный сенсор на основе нанокompозита был апробирован для определения противораковых препаратов в стандартных растворах, модельных системах, фармацевтических препаратах, модельных системах и образцах урины от условно здоровых доноров. Показано, что присутствие стабилизаторов лекарственных форм – маннита и лактозы - может оказывать влияние на степень открытия препарата в лиофилизатах для приготовления растворов для инъекций.

A. Goida, T. Krasnova, R. Shamagsumova, V. Evtugyn, A. Saveliev, A. Porfireva. Impedimetric DNA sensor based on a composite of electrochemically reduced graphene oxide and polyproflavine electropolymerized from natural deep eutectic solvent for anthracycline medications determ// Biosensors. – 2025. – V. 15. – Art. 385. <https://doi.org/10.3390/bios15060385>.

K. Vakhidova, A. Goida, T. Krasnova, R. Shamagsumova, V. Evtugyn, A. Porfireva / Pirarubicin determination with impedimetric and voltammetric DNA sensors based on poly(Nile Blue) electropolymerized from deep eutectic solvents / Analyst. – 2025. – V.150. – P. 5286-5302.<https://doi.org/10.1039/D5AN01006C>.

Порфирьева А.В., к.х.н.. porfireva-a@inbox.ru; Гойда А.И. a.goida@mail.ru; Вахидова К.Р. avis_felicitatis_20@mail.ru (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

Биохимические методы

1. Предложен подход к анализу биологических жидкостей, растительных экстрактов на содержание ряда полифенольных соединений, основанный на сочетании тонкослойной хроматографии и спектроскопии комбинационного рассеяния света. Подход позволил объединить преимущества обоих методов – эффективность хроматографического разделения с высокой чувствительностью и селективностью метода поверхностно усиленного комбинационного рассеяния. Подготовлен аналитический обзор, в котором обобщены последние достижения сочетания этих методов для различных применений в области химического анализа.

Dmitrieva E.V., Kapitanova O.O., Lv S., Sinyashin O.G., Veselova I.A. Coupling of chromatography with surface-enhanced raman spectroscopy: trends and prospects. // Frontiers in Chemistry. 2025. V. 13. Article 1548364. DOI: 10.3389/fchem.2025.1548364.

Веселова И.А., д.х.н., проф., irina.veselova@mail.ru; Капитанова О.О., к.х.н., olesya.kapitanova@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория биоаналитических методов и оптических сенсорных систем).

2. Определение общего белка в растительных образцах представляет собой сложную задачу, поскольку классические азотометрические методы неселективны по отношению к природе азота, а на результаты биохимических методов влияют как сопутствующие соединения, так и сложный состав белковой матрицы. С помощью электрофоретического разделения коммерческих образцов изолятов белка из подсолнечного шрота установлено, что исследуемые белки представляют собой смесь глобулинов и водорастворимых альбуминов различной молекулярной массы. Для определения общего количества белка оптимально использование азотометрического метода Дюма в тандеме со спектрофотометрическим методом Лоури, в основе которого лежит реакция на пептидные связи. При этом достаточно высокая чувствительность метода Лоури позволяет исключить мешающее влияние компонентов матрицы – полисахаридов и фенольных соединений.

Vershina Yu.S., Mitin I.V., Garmay A.V., Sugakov G.K., Veselova I.A. Simple and robust approach for determination of total protein content in plant samples. // Foods. 2025. V. 14. N 3. Article 358. DOI: 10.3390/foods14030358.

Веселова И.А., д.х.н., проф., irina.veselova@mail.ru; Вершинина Ю.С., yu.vrshn@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория биоаналитических методов и оптических сенсорных систем).

3. Исследована проводимость пота и конденсата выдыхаемого аэрозоля здоровых добровольцев и пациентов с нарушениями электролитного баланса. Персональный конденсор применен для отбора образцов выдыхаемого аэрозоля у двух групп испытуемых (не менее 30 человек не моложе 18 лет в каждой) – здоровых добровольцев (без диагноза «муковисцидоз» и

хронических болезней легких) и пациентов с диагнозом муковисцидоз (не получающих генную терапию; предоставлены ФГБУ «НИИ пульмонологии» ФМБА России). Хотя основным осложнением при таком заболевании подвергаются дыхательные пути, одним из «золотых стандартов» диагностики является потовый тест (проводимость пота). При помощи спектроскопии электрохимического импеданса изучена проводимость конденсата и пота обеих групп добровольцев. Средние значения для пациентов и контрольной группы составили (127 ± 9) мМ и (43 ± 4) мМ хлорида натрия, соответственно. Полученные результаты согласуются с пограничными значениями: отрицательный потовый тест соответствует проводимости менее 60 мМ, положительный – выше 80 мМ. Средние значения проводимости для конденсата выдыхаемого аэрозоля для пациентов и контрольной группы – (1.2 ± 0.3) мМ и (3.3 ± 0.4) мМ, соответственно. Существенные различия в проводимости конденсата позволяют использовать этот параметр в качестве диагностического критерия. Различные тенденции в изменении проводимости пота и конденсата при наличии заболевания муковисцидоз требуют дополнительных исследований, в частности, оценки информативности измерений отдельных ионов, например, калия и натрия.

Андреев Е.А., к.х.н., andreevea@my.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория электрохимических методов).

4. Для определения L-глутамата в пищевых продуктах получены и охарактеризованы неочищенные экстракты кабачка (*Cucurbita pepo*) (ЭК) и зеленого перца (*Capsicum annuum*) (ЭП), обладающие глутаматдекарбоксилазной активностью. Разработаны методики титриметрического определения L-глутамата и с использованием микрофлюидных систем разных типов (массивы микрозон, 2D и 3D устройства). Диапазоны определяемых содержаний L-глутамата титриметрически составляют 3,4–30,0 мМ (ЭК, ЭП), пределы обнаружения – 1,7 мМ (ЭП) и 2,0 мМ (ЭК). При цветометрическом определении L-глутамата в ЭП ДОС – 5,0–50,0 мМ (массивы микрозон), при линейно-колористических определениях – 2,4–150,0 мМ (2D) и 2,2–60,0 мМ (3D), пределы обнаружения – 1,2 мМ (2D) и 1,1 мМ (3D). Все разработанные методики применены для анализа шести пищевых продуктов: приправ и концентратов, время анализа 7–13 мин.

Изучено влияние кобальта(II), марганца(II), меди(II), железа(III), никеля, ртути(II), цинка, свинца, кадмия и хрома(VI) на каталитическую активность тирозиназы и неочищенного экстракта шампиньона (ЭШ). Все изученные ионы металлов, кроме хрома(VI) и ртути(II), ингибируют каталитическую активность тирозиназы и ЭШ, причем всех ионы металлов ингибируют тирозиназу примерно в 2 раза сильнее, чем ЭШ. Обнаруженный эффект положен в основу микрофлюидных систем типа "микрозоны" для цветометрического определения 30–100 мг/л меди(II) и 40–100 мг/л свинца(II) в экстрактах из почвы; пределы обнаружения меди(II) и свинца составляют 9 мг/л и 14 мг/л, соответственно. Время анализа – 1 мин. Изготовленные

микрофлюидные системы хранятся при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение как минимум 2 недель.

Моросанова Е.И., д.х.н., проф., emorosanova@gmail.com (МТК ООО "МедЭкоТест").

5. Для обнаружения широко используемого гербицида 2,4-дихлорфеноксипропионовой кислоты (2,4-Д) предложен метод поляризационного флуороиммуноанализа (ПФИА). Получены и охарактеризованы новые меченые соединения: 2,4-Д-бутилдиамин флуоресцеинтиокарбамил и 2,4-Д-глицинаминофлуоресцеин, изучена кинетика их взаимодействия с моноклональными антителами против 2,4-Д. Разработан подход к снижению предела обнаружения 2,4-Д методом ПФИА, основанный на изменении соотношения объемов взаимодействующих реагентов. Оптимизированный метод ПФИА 2,4-Д характеризуется пределами обнаружения 8 и 0,4 нг/мл и рабочими диапазонами 30–3000 нг/мл и 3–300 нг/мл для сока и воды, соответственно. Продолжительность тестирования – 20 мин. Степень выявления 2,4-Д в соке и воде составляет от 95 до 120%, что демонстрирует надежность определения гербицида в реальных образцах.

Mukhametova L.I., Kolokolova M.K., Shevchenko I.A., Tupertsev B.S., Zherdev A.V., Xu C., Eremin S.A. Fluorescence polarization immunoassay for rapid, sensitive detection of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in juice and water samples. // Biosensors. 2025. V. 15. N 1. Article 32. DOI: [10.3390/bios15010032](https://doi.org/10.3390/bios15010032).

Разработана методика поляризационного флуоресцентного иммуноанализа с применением поликлональных антител для выявления остаточных количеств нестероидного противовоспалительного препарата флуниксина, применяемого для профилактики и лечения в ветеринарии и животноводстве. Время анализа с учетом пробоподготовки составило 15 мин, линейный диапазон – 20–5000 нг/мл, предел обнаружения флуниксина – 2 нг/мл. Показана высокая селективность иммунореагентов, коэффициенты перекрестного реагирования с препаратами, имеющими структурное сходство с флуниксином, не превысили 0.01%. Методика определения флуниксина в молоке апробирована методом введено-найдено; показано, что применение разработанного способа пробоподготовки позволяет эффективно детектировать флуниксин в пределах линейного диапазона. Данные результаты свидетельствуют о возможности использования разработанной методики для экспрессного и чувствительного определения флуниксина в молоке.

Арутюнян Д.А., Мухаметова Л.И., Шанин И.А., Кондаков С.Э., Еремин С.А. Применение поляризационного флуоресцентного иммуноанализа для определения флуниксина в молоке. // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 6. Сс. 592-603. DOI: [10.7868/S3034512X25060061](https://doi.org/10.7868/S3034512X25060061).

Разработана методика определения лизозима в таблетированных лекарственных формах с использованием флуоресцентно меченного синтетического хитоолигосахаридного производного и регистрацией поляризации флуоресценции. Методика характеризуется линейным

диапазоном 5,0–70 мкг/мл. Проанализированы коммерческие таблетки от пяти производителей. Степень выявления добавленного к пробам лизоцима – 98,0–100,1%, относительное стандартное отклонение ($n = 6$) не превышает 13,7%. Разработанная методика позволяет определять лизозим в таблетках, обеспечивая скорость, простоту и надежность, и демонстрирует пригодность для рутинного контроля качества лекарственных форм.

Filimonova S.M., Balyklova K.S., Zherdev D.O., Eremin S.A., Mukhametova L.I., Krylov V.B., Nifantiev N.E. A first case of fluorescence polarization biosensor-based assay for rapid monitoring of protein API content in tablet dosage forms: Detection of lysozyme in tablets. // Biosensors. 2025. V. 15. N 11. Article 724. DOI: 10.3390/bios15110724.

Соотношение свободного и насыщенного железом апо- и холо-трансферрина (апо-ТФ и холо-ТФ) в крови позволяет диагностировать заболевания, связанные с дефицитом или избытком железа. Разработана методика дифференциального определения апо-ТФ и холо-ТФ, основанная на применении рекомбинантных верблюжьих нанотел и регистрации поляризации флуоресценции. Синтезированы конъюгаты флуоресцеин-изотиоцианата с нанотелами против двух форм ТФ. Показано отсутствие перекрестных реакций меченых нанотел с апо-ТФ и холо-ТФ, а также неизменность регистрируемых сигналов при инкубации с другими белками человека – лактоферрином, сывороточным альбумином и лизоцимом. Продемонстрирована возможность определения двух форм трансферрина в физиологических жидкостях, которое может иметь диагностическое значение.

Мухаметова Л.И., Еремин С.А., Михура И.В., Горяйнова О.С., Сачко А.М., Иванова Т.И., Тиллиб С.В. Применение однодоменных нанотел для определения конформационных изменений трансферрина методом поляризации флуоресценции. // Биоорганическая химия. 2025. Т. 51. № 2. Сс. 280-290. DOI: 10.31857/S0132342325020063.

Еремин С.А., д.х.н., проф., saeremin@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра химической энзимологии).

6. Исследованы побочные продукты, образующиеся в процессе проведения амплификационной реакции с полимеризацией и замещением (АМПЗ) в присутствии Большого фрагмента Кленова (БФК). Показано, что замена в АМПЗ БФК на ФКехо- предотвращает формирование неканонических высокомолекулярных продуктов, образующихся при полимеризации захватывающего шпилечного зонда. Это позволило повысить индекс амплификации АМПЗ с 100 до 22000. С использованием АМПЗ, катализируемой ФКехо-, разработана методика хемиллюминесцентного определения РНК-141 с пределом обнаружения 1.7 фМ. В экспериментах с клетками HeLa продемонстрирована возможность использования этой методики для количественной оценки внутриклеточного содержания микроРНК.

Также развиты гомогенно-гетерогенный и гетерогенный способы определения активности нуклеазы с применением хемиллюминесцентной

детекции и начаты исследования по разработке способов определения некодирующих циклических РНК.

Solovjev A.M., Pletjushkina O.Yu., Sakharov I.Yu. What DNA polymerase is preferable in miRNA assay coupled with isothermal circular strand displacement polymerization reaction (ICSDPR)? // Analytical Chemistry. 2025. V. 97. Pp. 3371-3377. DOI: 10.1021/acs.analchem.4c05337.

Bai P.A., Solovjev A.M., Kubareva E.A., Kurzeev S.A., Sakharov I.Yu., Chemiluminescent heterogeneous and homogeneous-heterogeneous assays for determination of nicking endonuclease activity. // Analytical Biochemistry. 2025. V. 697. Article 115719. DOI: 10.1016/j.ab.2024.115719.

Филиппенков И.Б., Бодулев О.Л., Сударкина О.Ю., Мозговой И.В., Алес Д.А., Сахаров И.Ю. Циклические РНК как потенциальные биомаркеры заболеваний. // Биотехнология. 2025. Т. 41. № 4. Сс. 36-38. DOI: 10.56304/S0234275825040106.

Сахаров И.Ю., д.х.н., проф., sakharovivan@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра химической энзимологии, лаборатория биосенсорики и моделирования ферментов).

7. Разработана иммунохроматографическая тест-система для одновременного контроля содержания двух энантиомерных форм широко используемого антибиотика офлоксацина. Тестирование реализовано в конкурентном формате с непрямым включением метки (наночастиц золота) в детектируемые специфические иммунные комплексы. Пределы обнаружения биологически активного S-изомера и менее активного R-изомера при визуальной оценке результатов составили 10 и 30 нг/мл, а при инструментальной – 0,001 и 0,007 нг/мл, продолжительность тестирования – 15 мин. Степень выявления энантиомеров офлоксацина в пробах молока – 85–95%. Предложенная дифференциальная характеристика расширяет информативность контроля контаминации по сравнению с традиционными методами.

Hendrickson O.D., Byzova N.A., Zherdev A.V., Dzantiev B.B. Double lateral flow test system for simultaneous immunodetection of enantiomeric forms of antibiotics: An ofloxacin case study. // Biosensors. 2025. V. 15. N 12. Article 765. DOI: 10.3390/bios15120765.

Разработана тест-система для экспрессного высокочувствительного контроля антибиотика тетрациклина в мясном сырье. Для снижения предела обнаружения использован подход, основанный на каталитической активности наночастиц-меток, причем в качестве нанозима применен традиционный иммунохроматографический маркер – наночастицы золота. Его использование (в отличие от доминирующих в разработках более сложных поликомпонентных нанозимных препаратов) обеспечивает интеграцию с отлаженными технологиями синтеза и стабилизации иммуноконъюгатов для применения в мембранных тест-системах. Установлены требования к составу оптимального хромогенного субстрата на основе 3,3',5,5'-тетраметилбензидина. Достигнутый предел обнаружения тетрациклина – 0,03 нг/мл. Продолжительность тестирования составила 18 мин, включая каталитическую реакцию. Степень выявления тетрациклина в пробах говядины варьировала в диапазоне от 92 до 113%.

Zvereva E.A., Hendrickson O.D., Dzantiev B.B., Zherdev A.V. Enhanced immunochromatographic assay of tetracycline using intrinsic peroxidase-like activity of gold nanoparticles. // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2025. V. 417. Pp. 5105–5114. DOI: 10.1007/s00216-025-06032-6.

Дзантиев Б.Б., д.х.н., проф., dzantiev@inbi.ras.ru (ФИЦ Биотехнологии РАН, Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН, лаборатория иммунобиохимии).

8. Бисфенол А (БФА) широко используется в качестве отвердителя в производстве пластмасс, а его выброс и циркуляция в экосистемах оказывают негативное воздействие на эндокринную систему человека. Расширение знаний о токсических эффектах БФА привело к существенному снижению предельно допустимых уровней его содержания в объектах окружающей среды, определяющему востребованность в средствах его простого высокочувствительного выявления. Разработана тест-система, в которой для этой цели реализовано объединение магнитных частиц в качестве носителей антител и иммунохроматографических тест-полосок с использованием флуоресцентного маркера – квантовых точек – для регистрации иммунных комплексов. Визуальный предел обнаружения БФА при проведении иммунохроматографии составил 2,7 мкг/мл, инструментальный предел обнаружения — 0,03 мкг/мл, а рабочий диапазон определения содержания БФА – 0,3–100 мкг/мл. Концентрирование с использованием магнитных частиц снизило предел обнаружения в 100 раз – до 0,3 нг/мл. Тест-система успешно апробирована для качественного контроля наличия и определения содержания БФА в пробах питьевой и природной воды; степень выявления аналита – 94–110%.

Taranova N.A., Bulanaya A.A., Zherdev A.V., Dzantiev B.B. Immunofluorescence rapid analysis of bisphenol A in water based on magnetic particles and quantum dots. // Sensors. 2025. V. 25. N 23. Article 7328. DOI: 10.3390/s25237328.

Дзантиев Б.Б., д.х.н., проф., dzantiev@inbi.ras.ru (ФИЦ Биотехнологии РАН, Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН, лаборатория иммунобиохимии).

9. Разработана аналитическая система для определения афлатоксина В1 (АФВ1), широко распространенного токсичного загрязнителя сельскохозяйственной продукции грибного происхождения, с использованием специфически взаимодействующего с АФВ1 олигонуклеотидного рецептора – аптамера. В системе регистрируется изменение степени безизлучательного переноса энергии (ФРЕТ-эффекта) в комплексах меченных донором и акцептором аптамера и комплементарного ему короткого олигонуклеотида. Связывание АФВ1 с аптамером приводит к изменению конформации последнего, препятствующему комплементарному взаимодействию олигонуклеотидов, а вследствие этого – и ФРЕТ-эффекту. Для обеспечения выявления АФВ1 в минимальных концентрациях изучены взаимодействия в различных реакционных средах, а также с использованием комплементарных олигонуклеотидов, отличающихся по локализации и

протяженности сайтов связывания. Охарактеризованы концентрационные зависимости влияния различных одно- и двухвалентных катионов на аффинность взаимодействия аптамер – АФВ1. В оптимальных условиях предел обнаружения АФВ1 составляет 1 нг/мл.

Samokhvalov A.V., Maksimenko O.G., Eremin S.A., Zherdev A.V., Dzantiev B.B. Interactions of ligand, aptamer, and complementary oligonucleotide: Studying impacts of Na⁺ and Mg²⁺ cations on sensitive FRET-based detection of aflatoxin B1. // Molecules. 2025. V. 30. N 10. Article 2125. DOI: [10.3390/molecules30102125](https://doi.org/10.3390/molecules30102125).

Для обнаружения афлатоксина В1 (АФВ1) разработана иммуноаналитическая методика, основанная на усиленном излучении флуоресцеиновой метки в иммунных комплексах. Одноэтапная процедура тестирования состоит в смешивании пробы с растворами антител и флуоресцентно меченного АФВ1 и последующем измерении флуоресценции. Предел обнаружения АФВ1 (в том числе в экстрактах кукурузы) составил 200 пг/мл, продолжительность тестирования – 10 мин. Степень выявления АФВ1 в растительном сырье находится в диапазоне 76–136%. Реализованный подход характеризуется рядом преимуществ по сравнению с альтернативными иммунофлуоресцентными аналитическими методами (ПФИА, ФРЕТ) и представляется перспективным для обнаружения различных низкомолекулярных соединений.

Sotnikov D.V., Agapov A.S., Eremin S.A., Zherdev A.V., Dzantiev B.B. Enhanced emission of fluorescein label in immune complexes provides for rapid homogeneous assay of aflatoxin B1. // Sensors. 2025. V. 25. N 24. Article 7660. DOI: [10.3390/s25247660](https://doi.org/10.3390/s25247660).

Дзантиев Б.Б., д.х.н., проф., dzantiev@inbi.ras.ru (ФИЦ Биотехнологии РАН, Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН, лаборатория иммунобиохимии).

10. Разработан электрохимический биосенсорный метод анализа взаимодействия белков с двухцепочечной ДНК (дцДНК). Сенсорными элементами выступают модифицированные углеродными нанотрубками графитовые электроды, получаемые методом трафаретной печати. В зависимости от концентрации белка наблюдаются два механизма связывания. Первый механизм заключается в компактизации структуры ДНК при высоких концентрациях белка (выше 0,1 мкМ); второй – в раскручивании двойной цепи ДНК при низких концентрациях (ниже 0,1 мкМ).

Pronina V.V., Shumyantseva V.V., Designing an electrochemical biosensor for the investigation of albumin-DNA interactions. // Next Materials. 2025. V. 9. Article 101070. DOI: [10.1016/j.nxmte.2025.101070](https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2025.101070).

Для изучения электрохимических свойств белков и ДНК разработан метод с использованием углеродных квантовых точек. Исследованное электрохимическое поведение комплексов нуклеиновых кислот или белков с углеродными квантовыми точками позволяет использовать эти структуры для визуализации биологических объектов и их одновременного электрохимического анализа.

Agafonova L.E., Bulko T.V., Pronina V.V., Kuzikov A.V., Allamberganova F.R., Qutlimurotova N.H., Shumyantseva V.V. Carbon quantum dots in the electroanalysis of DNA and albumin. // *BioNanoScience*. 2025. V. 15, Article 358. DOI: [10.1007/s12668-025-01948-w](https://doi.org/10.1007/s12668-025-01948-w).

Шумянцева В.В., д.б.н., проф., Viktoria.shumyantseva@ibmc.msk.ru (НИИ биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича, лаборатория биоэлектрохимии).

11. С использованием клеток *Rhodococcus opacus*, содержащих фермент бензоат-1,2-диоксигеназу, показано, что мембранное микробное сенсорное устройство можно успешно использовать для оценки ингибирования фермента. Константа ингибирования фермента 2-хлорбензоатом, полученная биосенсорным методом (273.0 $\mu\text{моль/л}$), сопоставима с полученной традиционным способом (337.5 $\mu\text{моль/л}$).

Исследованы особенности метаболизма актинобактерии *Rhodococcus gordoniae* с применением лабораторных моделей реакторного и мембранного сенсорных устройств на основе клеток этой культуры. Показано, что клетки содержали индуцируемый фермент, запускающий метаболизм метанола, но были неспособны метаболизировать фенол. Биосенсорный метод позволил выявить индукцию нецелевого фермента нецелевым субстратом (фенолом) в клетках актинобактерии. Кроме того, биосенсорный метод применен для оценки метаболизма метанола у базидиомицетов: исследования проведены с воздушным мицелием грибов *Pleurotus* и *Agaricus*.

Cheliukanov M., Gurkin G., Perchikov R., Medvedeva A., Lavrova T., Belousova T., Titova A., Plekhanova Y., Tarasov S., Kharkova A., Arlyapov V., Mandin P., Nakamura H., Reshetilov A. Whole cells of microorganisms – a powerful bioanalytical tool for measuring integral parameters of pollution: A review. // *Biosensors*. 2025. V. 15. N 5. Article 290. DOI: [10.3390/bios15050290](https://doi.org/10.3390/bios15050290).

Plekhanova Y, Tarasov S, Reshetilov A. Nano-biosensors for early cancer detection // In “IoT-WSN-DT Based Medical Systems and Nanotechnology for Smart Cancer Care” Ed. Tuan Anh Nguyen. Academic Press. P. 527. 2025. Chapter 2. Pз. 19-36. ISBN: 9780443339844. DOI: [10.1016/B978-0-443-33984-4.00003-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33984-4.00003-1).

Решетиллов А.Н., д.х.н., профессор, anatol@ibpm.pushchino.ru (Пушинский научный центр биологических исследований РАН, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина, лаборатория биосенсоров).

12. Проведены исследования по созданию биоанодов микробных топливных элементов (МТЭ) путем «one-pot» восстановления оксида графена в процессе роста биопленки уксуснокислых бактерий *Gluconobacter oxydans* на войлочных графитовых электродах. Этот простой, эффективный и экологически чистый метод синтеза оксида графена позволяет добиться увеличения мощности МТЭ в 1,5 раза по сравнению с контрольным биоанодом и исключить предварительные стадии получения наноматериалов.

Исследования взаимодействия бактериальной целлюлозы (БЦ) и мембранных фракций (МФ) показали наличие меж/внутримолекулярных водородных и гликозидных связей в биокомпозите, содержащем МФ, БЦ и

терморасширенный графит, что может быть применено при разработке ферментных биосенсоров.

Решетиллов А.Н., д.х.н., профессор, anatol@ibpm.pushchino.ru (Пушинский научный центр биологических исследований РАН, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина, лаборатория биосенсоров).

13. Разработаны электрохимические ДНК-сенсоры на основе печатных графитовых электродов, модифицированных поли(Метиленовым синим) и нанокompозитом поли(Нейтрального красного) с углеродными наноматериалами, электрополимеризованными из сред глубоких эвтектических растворителей (ГЭР). Для получения электрополимеризованного покрытия Метиленового синего использована смесь глюкозы и малеиновой кислоты, а для получения нанокompозита – релин. Для ДНК-сенсора на основе поли(Метиленового синего) показано, что природа органической кислоты, выступающей в ГЭР в роли донора водородных связей, оказывала воздействие на эффективность электрополимеризации и электрохимические характеристики полимерных покрытий. Природа и молекулярная масса ДНК, используемой в качестве биорецептора, влияла на способность ДНК-сенсора различать термическую денатурацию и химическое окисление ДНК. Использование ДНК из эритроцитов цыпленка позволило вольтамперометрически дискриминировать отклик ДНК-сенсора для нативного, термически денатурированного и химически окисленного биополимера. Разработан ДНК-сенсор для оценки защитного влияния антиоксидантов на основе ДНК из молок сельди. Нанокompозитные покрытия получены одностадийной электрополимеризацией красителя Нейтрального красного в присутствии карбоксилированных многостенных углеродных нанотрубок или различных марок углеродной черни из суспензий в ГЭР. Нанокompозит красителя и углеродной черни 350 G был использован с целью разработки ДНК-сенсора для регистрации повреждения ДНК. При повреждении ДНК физическими или химическими агентами регистрировали изменение вольтамперометрического отклика и смещение потенциалов редокс-пиков полимера. Источник ДНК оказывал влияние на величину отклика сенсора. ДНК-сенсор на основе нанокompозита и ДНК из эритроцитов цыпленка апробирован для определения антиоксидантных свойств чая, кофе, белого вина и фруктовых соков. Разработанные сенсоры характеризуются простой методикой сборки, низкой стоимостью, экспрессностью и могут найти применение в медицине, контроле пищевой и экологической безопасности.

Malanina A., Derbisheva R., Krasnova T., Shamagsumova R., Evtugyn V., Ivanov A., Porfireva A. Novel nanocomposites of carbon nanomaterials and poly(Neutral red) electropolymerized from relin for DNA damage detection and beverage antioxidant influence assessment. // Biosensors. 2025. V. 15. N 11. Article 735. DOI: 10.3390/bios15110735.

Kapralova F., Erlanova A., Krasnova T., Shamagsumova R., Porfireva A. Voltammetric DNA sensor for the DNA damage detection based on poly(Methylene

blue) electrodeposited from deep eutectic solvent // Chimica Techno Acta. 2025. V. 12. N. 4. Article 9204. DOI: 10.15826/chimtech.9204.

Порфирьева А.В., к.х.н., доц., porfireva-a@inbox.ru; Маланина А.Н., malanast@mail.ru; Шамагсумова Р.В., rezeda84190@mail.ru; Краснова Т.Н., wefy2009@yandex.ru (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

14. Разработана проточная ферментная биосенсорная система на основе 3D-печатной проточной электрохимической ячейки, изготовленной из коммерчески доступной полимолочной кислоты. Модификация печатной ячейки олигомолочной кислотой, функционализированной тиакаликсаренами, обеспечила эффективную иммобилизацию фермента уриказы на внутренней поверхности сменного реактора. Изучена гидролитическая устойчивость функционализированной олигомолочной кислоты в конфигурации конус, частичный конус и 1,3-альтернат. Показано, что наилучшую стабильность и эффективность иммобилизации фермента обеспечивает 1,3-альтернат. Применение функционализированной олигомолочной кислоты повышает эффективность иммобилизации уриказы более чем на 30% и защищает реактор от набухания, гидролитической деградации и потерь фермента. Биосенсор апробирован для амперометрического определения мочевой кислоты с печатным углеродсодержащим электродом, модифицированным углеродной чернью и Берлинской лазурью. Модификация позволяет снизить потенциал восстановления аналита до -50 мВ. Биосенсор демонстрировал линейный диапазон определения мочевой кислоты от 10 нМ до 30 мкМ с пределом обнаружения, равным 7 нМ. Сенсор апробирован для определения мочевой кислоты в растворах искусственной мочи и синтетической плазмы крови. Предложенный вариант 3D-печатной ячейки, характеризующийся простотой сборки и недорогими сменными блоками, является перспективным техническим решением для рутинного клинического анализа.

Stoikov D., Kappo D., Ivanov A., Gorbachuk V., Mostovaya O. Padnya, P., Stoikov I., Evtugyn G. Enzyme biosensor based on 3D-printed flow-through reactor modified with thiocalixarene-functionalized oligo (lactic acids). // Biosensors. 2025. V. 15. N 2. Article 77. DOI: 10.3390/bios15020077.

Стойков Д.И., к.х.н. der.knight@yandex.ru; Евтюгин Г.А., д.х.н., проф. gevtugyn@gmail.com (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

15. Для высокочувствительного и селективного определения лекарственных веществ (антидепрессантов) разработана конструкция электрода на основе нового графитового материала – бумаги из углеродных трубок, представляющего собой корпус с металлической пластиной, на которой формируют непосредственно рабочую поверхность электрода. На пластину послойно наносили пять слоев, обеспечивающих функционирование электрода как иммуносенсора: первый слой – хитозан, второй – бумага из углеродных нанотрубок, третий –

аминотиакаликс[4]арен, четвертый – наночастицы золота, пятый – антитела против трициклических антидепрессантов в растворе хитозана в присутствии глутарового альдегида. С помощью такого устройства можно определять трициклические антидепрессанты в диапазоне концентраций от 0,1нМ до 0,1мМ по волне окисления наночастиц золота при 0.85-0.95 В с нижней границей определяемых концентраций (0,4-0,6) нМ. Электрод апробирован при определении следовых количеств трициклических антидепрессантов в моче.

Медянцева Э.П., д.х.н., профессор, emedyant@gmail.com, Брусницын Д.В., к.х.н., brussman@mail.ru (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

16. Для количественного определения плесневого гриба *Aspergillus niger* разработаны амперометрические биосенсоры на основе печатного графитового электрода, модифицированного многостенными углеродными нанотрубками (МУНТ), восстановленным оксидом графена (ВОГ), наночастицами золота (НЧ Au) и композитами на их основе. В качестве биочувствительного компонента использовали фермент-субстратную систему тирозиназа-фенол. Аналитический сигнал – ток в области потенциалов 0.60-0.65 В (электрохимическая реакция окисления фенола до о-хинона). Модификация поверхности электрода позволила расширить диапазон определяемых концентраций: 0,1 нг/мл – 1 пг/мг в случае МУНТ и МУНТ/НЧ Au, 0,5нг/мл – 1пг/мг в случае ВОГ, снизить нижнюю границу определяемых концентраций до $c_n=0,1$ нг/мл (модификатор МУНТ), $c_n=0,07$ нг/мг (ВОГ), 0,06 нг/мг (МУНТ/НЧ Au), улучшить коэффициент корреляции с 0,9183 до 0.9856. Максимальный процент активации при действии *Aspergillus niger* на фермент–субстратную систему наблюдался на уровне 313–450 % для МУНТ, ВОГ и МУНТ/ НЧ Au, соответственно. Разработанные биосенсоры апробированы при количественной оценке содержания *Aspergillus niger* в образцах сельскохозяйственных культур (на примере репчатого лука) и в образце бронхоальвеолярного лаважа на уровне 1 нг/мл.

Другой вариант использования фермент-субстратной системы тирозиназа – фенол реализован на примере амперометрического иммуносенсора для определения хлорамфеникола. Тирозиназу в этом случае использовали в качестве метки для фиксирования содержания хлорамфеникола (реакция окисления фенола до о-хинона). Действие иммуносенсора основано на сочетании иммунологической, ферментативной и электрохимической реакций, приводящих к эффектам «квазиингибирования». Значения константы связывания для антител к хлорамфениколу в изученных условиях $K_a = (5.3 \pm 0.2) \times 10^9$ моль⁻¹. Разработанный иммуносенсор позволил определять хлорамфеникол в области концентраций от 1нМ до 1пМ, c_n 0,8 нМ. Время проведения анализа – 10 мин. Разработанные методики апробированы в анализе пищевых продуктов (молоко). Погрешность определения не превышает 0.075.

Медянцева Э.П., д.х.н., профессор, emedyant@gmail.com, Бейлинсон Р.М., к.т.н., rvarlamo@mail.ru (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

17. На примере чувствительного и селективного определения антибиотика хлорамфеникола впервые показана возможность использования в качестве метки наночастиц зеленого флуоресцентного полиэлектролитного комплекса тербия(III) $[\text{Tb}_2(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})]^{2+}$, где L – классический тиакаликс-[4]арен (25,26,27,28-тетрагидрокси-2,8,14,20-тетратиакаликс [4] арен). Комплекс в составе трейсера изменял излучение в зеленой области спектра с максимумом при 545 нм в варианте конкурентного поляризационного флуоресцентного иммуноанализа. Использование данной метки позволило определять хлорамфеникол в диапазоне концентраций аналита 0,01 нМ–0,1 пМ, c_n 9 фМ при времени инкубации 5 мин.

Медянцева Э.П., д.х.н., профессор, emedyant@gmail.com, Бейлинсон Р.М., к.т.н., rvarlamo@mail.ru (Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра аналитической химии).

18. Проведено сравнительное исследование тушения флуоресценции полупроводниковых квантовых точек CdZnSeS/ZnS доксорубициром в модельных водных растворах и плазме крови. Разработанная методика определения доксорубицина является простой и экономически эффективной, не требует сложной подготовки образца крови пациента. Изучены ключевые факторы анализа, включая влияние концентрации наносенсора и разведения плазмы, подобраны условия, обеспечивающие максимальное тушение люминесценции квантовых точек в плазме. Оценены потенциальные механизмы тушения люминесценции. Для определения доксорубицина в крови пациента требуется всего 150 мкл плазмы крови. Предел обнаружения доксорубицина составил 0,02 мкг/мл.

Mescheryakova S.A., Koganova D.G., Tsyupka D.V., Kornilov D.A., Pidenko P.S., Drozd D.D., Goryacheva O.A., Goryacheva I.Yu. Doxorubicin detection in plasma and blood using a luminescence turn-off nanosensor based on alloyed CdZnSeS/ZnS quantum dots. // Microchimica Acta. 2025. V. 192. Article 416. DOI: 10.1007/s00604-025-07283-x.

Горячева И.Ю., д.х.н., проф., goryachevaiy@mail.ru (Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Институт химии, кафедра общей и неорганической химии).

Другие методы определения

1. Сделан обзор работ, посвященных оценке термического воздействия электронного зонда на образец в растровой электронной микроскопии и электронно-зондовом микроанализе. Основное внимание уделено теоретическим подходам к расчету температуры перегрева анализируемого вещества. Рассмотрены два ключевых направления исследований: решение краевой задачи для уравнения теплопроводности, точно описывающей

процесс торможения электронов в веществе, включая методы Монте-Карло, а также упрощенные модели генерации тепла, позволяющих получать аналитические выражения для температуры перегрева. Проведено сопоставление результатов, полученных различными подходами, и обозначены их области их применимости при измерениях. Исследования взаимодействия бактериальной целлюлозы (БЦ) и мембранных фракций (МФ) показали наличие меж/внутримолекулярных водородных и гликозидных связей в биоконпозите, содержащем МФ, БЦ и терморасширенный графит, что может быть применено при разработке ферментных биосенсоров.

М.Н. Филиппов, М.А. Степович Термическое воздействие электронного зонда на исследуемый объект в растровой электронной микроскопии и рентгеноспектральном микроанализе. Аналитика. 2025. Т. 15. № 6. С. 432-442. DOI: 10.22184/2227-572X.2025.15.6.432.441.

Филиппов М.Н, д.ф.-м.н., mn@filippov.org.ru (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова)РАН, Центр коллективного пользования физическими методами исследования веществ и материалов, Москва; Ивановский государственный университет, кафедра фундаментальной математики).

Методы разделения и концентрирования

Обращает на себя внимание неуклонный рост сообщений, посвященных магнитной сорбции (твердофазной экстракции) с использованием традиционного магнетита. Это отражает как общемировую тенденцию, так и свидетельствует о высокой практической значимости указанного метода разделения и концентрирования. По-прежнему велика доля сообщений, посвященных разработке микроэкстракционных методик пробоподготовки и выделения ксенобиотиков из объектов окружающей среды, продуктов питания и биологических жидкостей.

О.В. Родинков

Общие вопросы пробоподготовки

1. Обобщены обзорные статьи, описывающие две группы микросорбционных методов: группу методов, объединенных термином “микротвердофазная экстракция (μ-ТФЭ, micro-solid phase extraction, μ-SPE)”, и группу методов, объединенных термином “твердофазная микроэкстракция (ТФМЭ, solid-phase microextraction, SPME)”. Эти методы характеризуются уменьшенным количеством используемых сорбентов, анализируемых образцов и органических растворителей, высокими коэффициентами концентрирования, объединением в одном устройстве концентрирования и введения пробы в прибор. Дана общая характеристика методов, рассмотрены способы осуществления, перечислены экспериментальные параметры, влияющие на эффективность концентрирования органических соединений, обсуждены основные типы сорбентов, приведены примеры практического применения методов в процессе пробоподготовки различных объектов.

Дмитриенко С.Г., Апяри В.В., Толмачева В.В., Матяш М.В., Фурлетов А.А., Золотов Ю.А. Миниатюризированные методы выделения и концентрирования: Микротвердофазная экстракция и твердофазная микроэкстракция органических соединений. Обзор обзоров // Журн. аналит. химии. 2025. Т. 80. № 11. С. 1119–1140. DOI: 10.7868/S3034512X25110013.

Дмитриенко С.Г., д.х.н., s.g.dmitrienko@yandex.ru; Апяри В.В., д.х.н., apyari@mail.ru; Золотов Ю.А., академик РАН, zolotov.32@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

2. Проведено систематическое исследование и сравнение методов подготовки реальных проб для определения нестероидных противовоспалительных препаратов и их метаболитов. Объектами анализа были мясо и субпродукты, полученные от кур, которых лечили препаратами, содержащими метамизол, диклофенак, кетопрофен, ибупрофен, мелоксикам, фенилбутазон и мефенаминовую кислоту. Показано, что длительный этап гидролиза при подготовке проб может быть заменен экстракцией ацетонитрилом, разработанный подход удовлетворяет принципам «белой аналитической химии».

Bulkatov D.P., Melekhin A.O., Parfenov M.Yu., Tischenko V.V., Apyari V.V., Tolmacheva V.V. White analytical chemistry-driven approach to the sample preparation and LC–MS/MS determination of nonsteroidal anti-inflammatory drugs and their metabolites in real contaminated matrices // Sep. Sci. Plus. 2025. V. 8. № 2. Article e70002. DOI: 10.1002/sscp.70002.

Толмачева В.В., к.х.н., nikatolm@mail.ru; Апяри В.В., д.х.н., apyari@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

3. Предложено методическое обеспечение комплексного анализа водных дисперсий оксида графена и их очистки при помощи различных подходов.

Разработан методический комплекс для анализа водных дисперсий оксида графена с многоуровневой классификацией по степени очистки. Предложены условия ультрафильтрации оксида графена с использованием широкого набора мембран с отсечкой по молекулярной массе от 0,5 до 14 кДа (на примере 20 образцов оксидов графена по Хаммерсу). Очистка дисперсий позволила получить истинный сигнал в моделях оценки антиоксидантных свойств методом активированной хемилюминесценции при генерации супероксид-анион радикала.

Предложены условия полуавтоматической очистки оксида графена с применением многоканальных перистальтических насосов и контролем процесса методами атомной спектроскопии (ИСП-АЭС) и кондуктометрии. Комбинация сигналов из методов ИСП-АЭС и кондуктометрии позволила оптимизировать процесс очистки. Показано, что эффективное время процесса может быть сокращено до 4 дней (2 дня реагентная очистка, 2 дня отмыв). Ступенчатая реагентная очистка позволяет достичь содержания остаточных

примесей менее 5 мг/л, что обеспечивает более 95% эффективность процесса очистки от примесей титана и марганца.

Михеев И.В., к.х.н., mikheev.ivan@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ спектроскопических методов анализа).

Сорбционные методы

1. Правильная интерпретация изотерм адсорбции имеет важное значение при выполнении хроматографического анализа для выбора сорбента и элюента, а также понимания механизма удерживания. Разработанная ранее аналитическая модель кластерной адсорбции, учитывающая сорбат-сорбатные взаимодействия, применена для изучения механизма адсорбции диоксида углерода на металлоорганических каркасах $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$, MOF-2 и MOF-74, а также аминокислоты гистидин на углеродных нанотрубках MKN-SWCNT S1 при различных температурах. Определена структура сорбата на сорбенте. Показано, что на MOF-2 и MOF-74 адсорбция является двухслойной. На MOF-2 формируются кластеры \sim из 2-3 молекул углекислого газа, из которых \sim 2 молекулы лежат в 1 слое и \sim 1 молекула во втором. На поверхности MOF-74 в основном находятся кластеры из 2 молекул с 1-2 молекулами в первом слое. При адсорбции на $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ формируется 1 слой сорбата, кластеры сорбата состоят из 3-4 молекул. L-гистидин сорбируется на поверхности УНТ в виде мономеров и ассоциатов из 12-13 молекул (25°C), 8-9 молекул (35°C), 6-7 молекул (45,55°C), 7-8 молекул (65, 80°C), находящихся в первом слое. Найдены равновесные параметры и термодинамические характеристики адсорбции.

Butyrskaya E. V., Eliseeva T. V., Le D. T. Cluster adsorption of L-histidine on carbon nanotubes at different temperatures //Microporous and Mesoporous Materials. 2025. T. 383. C. 113405.

<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2024.113405>.

Бутырская Е. В., Пащенко А. А. Интерпретация изотерм адсорбции CO_2 на металлоорганических каркасах $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$, MOF-2 и MOF-74 //Сорбционные и хроматографические процессы. 2025. Т. 25. №. 3. С. 305-315. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/13042>.

Бутырская Е.В. д.х.н., bev5105@yandex.ru; Елисеева Т.В., к.х.н., tatyanaeliseeva@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

2. В области развития миниатюризации аналитических процедур и инструментов предложена и апробирована концепция иммобилизованных сорбционных микрозондов для определения билирубина и пищевого красителя «Желтый солнечный закат». Каждый микрозонд представляет собой отдельную частицу сорбента, прикрепленную к держателю с помощью адгезивного слоя. Для уменьшения ошибки при регистрации аналитического сигнала сорбенты предварительно фракционировали и наносили на микрозонд с помощью сита, размер ячеек которого составлял 75–150 мкм.

Аналитические сигналы веществ, сорбированных из раствора на микрозондах на основе $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ или кремнезема, химически модифицированного группами четвертичного аммониевого основания, могут быть непосредственно измерены с помощью сканирования с высоким разрешением и последующей обработки цифрового изображения с помощью доступного программного обеспечения. В качестве аналитического сигнала использовали координату цвета В в цветовой системе RGB. Предел обнаружения с применением микрозондов на основе $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ составляет 1 мкМ для обоих аналитов при объеме анализируемой пробы вплоть до 0.2 мл. Подход успешно применен для микроцветометрического определения красителя в напитке и билирубина в медицинской желчи. Сложность анализа желчи заключалась в наличии трех форм билирубина. Установлено, что по предложенному способу возможно определение только двух гидрофильных форм билирубина.

Микрозонды на основе $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и сверхсшитого полистирола, различающиеся по своей полярности, применены для определения пищевых красителей. Массив дистанцированных друг от друга микрозондов демонстрирует более высокую интенсивность цвета и в 3–5 раз лучшую чувствительность по сравнению с плотным массивом, где частицы расположены вплотную. Микрозонды на основе $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ успешно применены для микроцветометрического определения синтетических пищевых красителей Понсо-4R и Фаст Грин FCF в энергетическом напитке (на уровне 2.5 мкг/мл) и капсулах фармацевтического препарата (на уровне 6 мкг на капсулу) с степенями выделения в пределах 101–115 %.

Tikhomirova T.I., Apyari V.V., Kovalev S.V., Nikolaeva E.V. Immobilized sorption microprobes as a tool for small-size colorimetric sensing. // Microchem. J. 2025. V. 213. Article 113577. DOI: 10.1016/j.microc.2025.113577.

Тихомирова Т.И., д.х.н., Tikhomirova-tatyana@yandex.ru; Апяри В.В., д.х.н., apyari@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

3. Синтезирован магнитный наноразмерный сорбент, поверхность которого модифицирована диэтилентриамином ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DETA}$). Данные, полученные методом электронной микроскопии (морфологию образцов $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DETA}$ изучали с помощью просвечивающего электронного микроскопа Leo 912 AB OMEGA (Zeiss, Германия); изображения получали в режиме просвечивающего электронного микроскопа при ускоряющем напряжении 120 кВ), показывают, что в водной суспензии присутствуют как отдельные наночастицы, так и их агломераты размером 100–200 нм. Модификация диэтилентриамином улучшает дисперсию наночастиц, приводя к более однородному распределению размеров внутри агрегатов.

Результаты исследования образцов сорбента с использованием вибрационного магнетометра Фонера подтвердили суперпарамагнитные свойства частиц (отсутствие петли гистерезиса при намагничивании и размагничивании частиц). Рассчитанный размер магнитных доменов составил 4.6–7.4 нм, намагниченность насыщения 50–60 emu/g.

Цизин Г.И., д.х.н., tsisin@analyt.chem.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

4. Предложены микроэкстракционные подходы (ТФМЭ) к анализу растительного сырья с применением ионных жидкостей и глубоких эвтектических растворителей с применением магнитных наночастиц с полидофаминовым покрытием. Разработан вариант определения фторхинолоновых и тетрациклиновых антибиотиков, сочетающие в себе *оффлайн*- (мТФМЭ) и *онлайн*-концентрирование (*micelle collapse*) с последующим разделением методом КЗЭ-УФ. Предложенные подходы валидированы (повторяемость, ПО, НПКО, ЛД), проведена оценка кинетики сорбции аналитов на поверхности частиц. Для пробоподготовки молока и сыворотки крови подобран осадитель (Рис.).

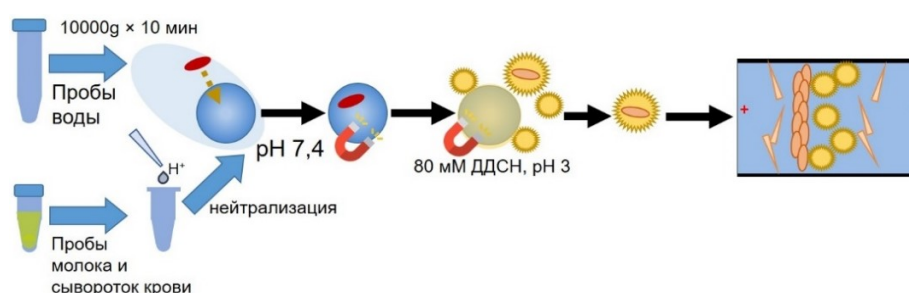


Рис. Схема мТФМЭ антибиотиков из реальных объектов с последующим определением методом КЗЭ-УФ.

Karpitskiy D.A., Kartsova L.A. Applications of Smart Materials in Sample Preparation for Biological and Environmental Analysis J.Anal.Chem. 2025, 80, №8.

Karpitskiy D.A., Bessonova E.A., Shishov A.Yu., Kartsova L.A. Handshake of deep eutectic solvent and ionic liquid: two liquid-liquid microextraction procedures for plant analysis. Talanta. 2025, 282, 126947.

Karpitskiy D.A., Bessonova E.A., Shihov A.Yu., Determination of Fluoroquinolones and Tetracyclines in Natural Waters by the Ce-UV Method Combined with Preliminary Microextraction with Fe₃O₄ Nanoparticles With a Polydopamine Coating Kartsova L.A. J.Anal.Chem. 2026 – in press.

Карпицкий Д.А., karpickiy_dim@mail.ru; Карцова Л.А., д.х.н., kartsova@gmail.com (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии; кафедра органической химии).

5. Предложена схема модификации поверхности наночастиц на основе магнетита ионными жидкостями (ИЖ), с применением математических методов оптимизации условий. Изучены имидазолиевые ИЖ как динамические модификаторы поверхности магнитных НЧ. В качестве аналитов - *эстрогены и андрогены*. Найдены сорбционные характеристики НЧ для магнитной ТФМЭ эстрогенов в условиях экстракции для динамической модификации. С применением гидрофобной ИЖ C₈MImBF₄ достигнуты высокие степени извлечения стероидов (83-96 %). Выявлены

возможности ковалентной модификации поверхности НЧ магнетита ионными жидкостями.

A.T. Araslanova, M. Vasilenko, E.A. Bessonova, L.A. Kartsova. Ionic Liquids as Promising Functional Materials for the Microextraction of Steroid Hormons. Journal of Analytical Chemistry. 2025. V.80. No 8. Pp 1331-1344. DOI:10.1134/S1061934825700601.

Карцова Л.А., д.х.н., kartsova@gmail.com; Арасланова А.Т., st095086@student.spbu.ru; Бессонова Е.А., к.х.н., lena_pol@inbox.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии; кафедра органической химии).

6. Разработана методика получения специфичного бионеорганического сорбента на основе частиц оксида кремния(IV), модифицированных импринтированным белком (ИБ). Бычий сывороточный альбумин использован в качестве матричной белковой молекулы. Получение ИБ проведено в присутствии ряда молекул-шаблонов (кумарина, 4-гидроксикумарина, кверцетина, 5,7-диметоксикумарина), являющихся фиктивными аналогами микотоксина зеараленона. Для предварительной оценки возможности замены зеараленона на фиктивные аналоги, а также выбора оптимальной концентрации молекул-шаблонов при получении ИБ использованы методы компьютерной химии (молекулярный докинг, молекулярная динамика). Показана необходимость предварительной модификации поверхности частиц оксида кремния(IV) для получения сорбентов на основе ИБ. Доказана возможность применения бионеорганических сорбентов для твердофазной экстракции молекул-шаблонов из модельных растворов кумарина ($Q = 2.0$ мг/г), 4-гидроксикумарина ($Q = 1.2$ мг/г), кверцетина ($Q = 0.8$ мг/г), 5,7-диметоксикумарина ($Q = 2.2$ мг/г) и зеараленона (ЗЕА) из экстракта пшеницы ($Q = 4.79$ мг/г, ИФ = 2.45). Построены изотермы сорбции зеараленона на модифицированные ИБ сорбенты, полученные в присутствии различных фиктивных аналогов. Изучена цитотоксичность ИБ и проведена оценка биобезопасности с помощью инструмента AGREEMIP.

Presnyakov, K. Y., Ilicheva, P. M., Tsyupka, D. V., Menyailo, I. E., Burmistrova, N. A., & Pidenko, P. S. (2025). Dummy Imprinted Proteins as Receptors for Bioinorganic Sorbent. Journal of Analytical Chemistry, 80(10), 1687-1696. <https://doi.org/10.1134/S106193482570087X>.

Пиденко П.С.; к.х.н., pidenkops@sgu.ru (Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, кафедра аналитической химии и химической экологии, кафедра общей и неорганической химии).

7. Изучены сорбционные характеристики обогащенной фракции глауконита Белоозерского месторождения Саратовской области по отношению к рибофлавинолу. С помощью сканирующей электронной микроскопии изучена морфология поверхности зерен глауконита. Выявлено чешуйчатое строение исследуемого сорбента, что значительно увеличивает его сорбционную емкость. Фазовый состав исследуемого глауконита

представлен глауконитом, монтмориллонитом, кварцем и полевыми шпатами. Методом магнитной сепарации из исходной глауконитовой руды с содержанием 40% получен 85%-ный концентрат глауконита. Выбран оптимальный рН сорбции рибофлавина на глауконите, рассчитана степень извлечения ($R=91.2\pm 1.9\%$), подобраны время сорбции и масса сорбента. Построена изотерма сорбции, которая аппроксимируется уравнением Ленгмюра. Выявлен мономолекулярный характер адсорбции на поверхности глауконита с участием активных центров как кислотного, так и основного характера. Рассчитаны константа Ленгмюра ($K_L = 1.04 \text{ дм}^3/\text{мг}$) и предельная сорбционная ёмкость ($CE = 1.03 \text{ мг/г}$).

Новицкая А. М., Юрова Е. В., Селифонова Е. И., Сержантов В. Г., Вениг С. Б., Русанова Т. Ю. Получение композита с рибофлавином на основе природного сорбента // Сорбционные и хроматографические процессы. 2025. Т. 25, № 4. С. 548-555.

Русанова Т.Ю., д.х.н., tatyanarys@ya.ru; Селифонова Е.И. (Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, кафедра аналитической химии и химической экологии).

8. Получена изотерма сорбции β -адреноблокатора - гидрохлорида пропранолола на клиноптилолите. Определен вклад обменной и необменной составляющих в сорбционный параметр. Мономолекулярная сорбция препарата на алюмосиликате идет по механизму эквивалентного обмена внекаркасных катионов на катионы препарата за счет электростатического взаимодействия между электроотрицательными центрами каркаса сорбента и NH_2 -группами пропранолола. Формирование полимолекулярных слоев возможно в результате ассоциации препарата за счет участия в образовании водородных связей группы С-О-С и гидроксильных групп препарата. Изотерма сорбции обработана с применением различных моделей сорбции. Установлено, что сорбция препарата из разбавленных растворов наилучшим образом описывается моделью Ленгмюра. Рассчитаны равновесные характеристики сорбции.

Крысанова Т.А., к.х.н., takrys@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

9. Изучена кинетика сорбции стероидных сапонинов, экстрагированных из лекарственного растения *Tribulus Terrestris*, на хитозане. В ходе сорбции не наблюдается существенного изменения рН раствора, что говорит об отсутствии значимого ионного взаимодействия с протонированными аминогруппами, входящими в структуру хитозана. Для анализа кинетических параметров процесса сорбции применены различные математические модели, включая диффузионную модель Бойда - Адамсона, модели кинетических уравнений псевдопервого и псевдвторого порядков, а также уравнение Вебера-Мориса, учитывающее влияние стадии внутренней диффузии на скорость поглощения вещества. Выявлено, что кинетика сорбции сапонины на хитозане наиболее адекватно описывается уравнением псевдвторого порядка. Проведено исследование влияния температуры на характер изотерм

сорбции. Рассчитаны некоторые равновесные характеристики исследуемого процесса (энергия сорбционного процесса, его энтальпия и энтропия). Установлено, что поглощение сапонина из раствора сопровождается эндотермическим эффектом.

Мироненко Н.В. Кинетические и термодинамические параметры сорбции стероидного сапонина Tribulus Terrestris на природном биополимере – хитозане / Н.В.Мироненко, В.Ф. Селеменев, У.С. Ищенко, И.В. Шкутина, Т.А. Крысанова, А.М. Сычев // Сорбционные и хроматографические процессы. 2025. Т. 25, № 3. С. 425-435.

Крысанова Т.А., к.х.н., takrys@yandex.ru; Селеменев В.Ф., д.х.н., профессор–консультант (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

10. Проведена оценка сорбционной способности полимеров с молекулярными отпечатками (ПМО) антибиотиков. Полимеры ПМО сорбируют большее количество целевых антибиотиков (от 2,11 мг/г до 11,05 мг/г) чем неимпринтированный полимер (от 1,14 мг/г до 5,18 мг/г), что связано с наличием специфических распознающих участков, сформированных в процессе импринтинга. Повторное связывание молекул целевых антибиотиков с активными центрами импринтированных полимеров осуществляется в основном за счет водородных взаимодействий, что соответствует модели мономолекулярной сорбции. Также установлено, что в ряду Cef (цефазолин натрия) > Cefur (цефуроксим натрия) > Cefot (цефотаксим натрия) > Ceftr (цефтриаксон натрия) > Strep (стрептомицин сульфат) > Neo (неомицин сульфат) происходит снижение сорбционной способности ПМО (наибольшее значение характерно для Cef – 13,05 мг/г, а наименьшее для Neo – 2,29 мг/г).

Фам Тхи Гам. Сорбция антибиотиков цефалоспоринового ряда молекулярно-импринтированными полимерами / Фам Тхи Гам, А. Н. Зяблов, Као Ньят Линь, Нгуен Ань Тьен // Сорбционные и хроматографические процессы. - 2025. - Т. 25, № 3. - С. 436-443.

Фам Тхи Гам. Оценка сорбции цефуроксима натрия и цефотаксима натрия молекулярно-импринтированными полимерами / Фам Тхи Гам, Као Ньят Линь, А. Н. Зяблов // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 2025. - Т. 68. Вып. 10. - С. 64-70.

Фам Тхи Гам, аспирант (Ханойский университет бизнеса и технологий); Зяблов А.Н., д.х.н., alex-n-z@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

11. Исследована сорбция фенола на активированных углях ВСК-400 и Norit GAC 1240W, полученных из различного сырья, при разных температурах в статических условиях. Определена сорбционная способность к ряду неорганических веществ, указывающая на количество функциональных кислотных и основных групп, а также дающая предварительную характеристику площади поверхности сорбентов по количеству поглощенного молекулярного иода. При сравнении равновесных характеристик в изученном диапазоне концентраций отмечена большая

способность к извлечению фенола для угля ВСК-400. При этом на его сорбционные характеристики не оказывают влияние температура и присутствие минеральной соли.

Равновесная сорбция фенола из водных растворов активированными углями на основе различного сырья / Ю. А. Колесова, И. В. Воронюк, Т. В. Елисеева // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2025. – Т. 61, № 4. – С. 358-364. – DOI 10.31857/S0044185625040039.

Исследована сорбция различных аналитов (фенольные соединения и соединения бора) ионообменными материалами в форме волокон и гранул с функциональными аминогруппами различной основности. Определены некоторые равновесные характеристики сорбции ряда гидроксibenзолов, а также ванилина и борной кислоты. Проведен формальный анализ полученных кривых с применением известных уравнений адсорбции. Выявлен сложный механизм поглощения слабоионизированных сорбтивов на ионообменных материалах.

Воронюк И.В., к.х.н., i.voronyuk@yandex.ru; Елисеева Т.В., к.х.н., tatyanaeliseeva@yandex.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

12. Представлены результаты исследования динамики сорбции β -каротина кремнийсодержащими материалами различной степени упорядоченности. Эффективность хроматографического процесса оценена с использованием модели теории эквивалентных теоретических тарелок. Выходные кривые поглощения β -каротина силикагелем имеют сильное размывание как на начальном, так и конечном участках. Установлено, что при использовании силикагеля в качестве сорбента число т.т./м (N) составило 65 и 35 (на начальном и конечном участке выходной кривой соответственно), а для мезопристого аналога МСМ-41 (ММК) N=135 и 610 соответственно. Аналогичные результаты получены при определении каротиноида в биологически активной добавке к пище марки «GLS». Эффективность хроматографического процесса с применением в качестве сорбента ММК составила 25 и 157 т.т/м, а при использовании силикагеля оценить эффективность хроматографического процесса невозможно вследствие быстрого проскока вещества.

Беланова Н.А., к.х.н., belanovana@mail.ru; Селеменев В.Ф., д.х.н., профессор-консультант (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

13. Методом выходных кривых изучены сорбционные свойства сорбентов Me^{2+} -SBA-15. Для модифицированных образцов при сорбции кверцетина в динамических условиях значительный рост емкости кремнеземов сопровождается повышением эффективности слоя сорбента. С учетом особенностей изменения сорбционных свойств упорядоченные аналоги SBA-15, модифицированные ионами кальция, магния и цинка, можно рассматривать на стадии пробоподготовки при извлечении, очистке и

концентрировании флавоноидов для их последующего спектрофотометрического или хроматографического определения.

Карпов С.И., д.х.н., karsiv@mail.ru (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

14. Разработан способ извлечения и концентрирования шести наиболее распространенных эндокринных дизрапторов (диметил-, диэтил-, дибутилфталаты, бисфенол А, октил- и нонилфенолы) из речных донных отложений. Аналиты извлекали двухстадийным концентрированием. На первой стадии аналиты экстрагировали из водного раствора ионной жидкостью – гексафторфосфатом 1-гексил-3-метилимидазолия в присутствии додецилсульфоната натрия. Объемы экстрагента и раствора ПАВ (12 об.%) составили 200 мкл и 0.5 мл соответственно. Продолжительность экстракции – 2 мин. На второй стадии использовали магнитную твердофазную дисперсионную экстракцию магнитными углями растительного происхождения, модифицированными обращенными фазами – н-октилтриметоксисиланом и н-октадецилтриметоксисиланом. Степени извлечения аналитов при жидкостно-жидкостной экстракции составили (91–99) %, при магнитной твердофазной дисперсионной экстракции – (89–99)%. Применение двухстадийного концентрирования в сочетании с газовой хромато-масс-спектрометрией позволило определить эндокринные дизрапторы в донных отложениях на уровне (0.4-0.7) мкг/кг.

Губин А.С., Сыпко К.С., Кушнир А.А., Суханов П.Т. Определение эндокринных дизрапторов в донных отложениях методом газовой хромато-массспектрометрии с концентрированием аналитов жидкостно-жидкостной и магнитной дисперсионной твердофазной экстракцией. Журнал аналитической химии. 2025. Т.80. № 9. С. 971-986.

Предложен способ определения 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-D) и ее метаболита, 2,4-дихлорфенола (2,4-DCP), в почвах. 2,4-D и 2,4-DCP выделяют из почвы путем экстракции раствором щелочи. Анализируемые вещества извлекаются из экстракта с помощью сорбента на основе наночастиц магнетита и углерода, полученного путем сжигания рисовой шелухи, и десорбируются метанолом. В полученном концентрате 2,4-D и 2,4-DCP преобразуются в метиловые эфиры и определяются методом ГХ–МС. Пределы обнаружения для 2,4-D и 2,4-DCP составляют 3,0 и 0,08 мкг/кг соответственно.

Sypko K.S., Gubin A.S., Sukhanov P.T., Kushnir A.A., Pugacheva I.N. Determination of 1,4-dichlorophenoxyacetic acid and its metabolite in soils by gas chromatography-mass-spectrometry after preconcentration using magnetic charcoal based on rice husk/ Journal of Analytical Chemistry. 2025. T. 80. № 2. С. 351-357.

Суханов П.Т., д.х.н., pavel.suhanov@mail.ru; Губин А.С., Кушнир А.А., Сыпко К.С. (Воронежский государственный университет инженерных технологий).

15. Изучена сорбция ионных ассоциатов кислотных азокрасителей – сульфоназо и конго красного с димедролом на пенополиуретане в

зависимости от pH, времени контакта фаз, соотношения компонентов. Разработан способ определения димедрола в лекарственных препаратах, основанный на его сорбции в виде ионных ассоциатов с красителями и последующем детектировании на поверхности сорбента с использованием спектроскопии диффузного отражения.

Османова М.М., Тихомирова Т.И., Мирзаева Х.А. Сорбционно-спектроскопическое определение димедрола в виде ионных ассоциатов с анионными азокрасителями // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 1. С. 44-51. DOI: [10.31857/S0044450225010043](https://doi.org/10.31857/S0044450225010043).

Изучена твердофазная экстракция ионных ассоциатов кислотных азокрасителей - сульфоназо и конго красного с папаверином (1-(3,4-диметоксибензил)-6,7-диметоксиизохинолин) на пенополиуретане в зависимости от pH, времени контакта фаз, соотношения компонентов. Разработан способ определения папаверина в лекарственных препаратах, основанный на его сорбции в виде ионных ассоциатов с красителями и последующем детектировании на поверхности сорбента с использованием методов спектроскопии диффузного отражения и цветометрии.

Османова М.М., Тихомирова Т.И., Мирзаева Х.А. Определение папаверина в виде ионных ассоциатов с анионными азокрасителями с применением твердофазной экстракции пенополиуретаном // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 9. С. 949-959. DOI: [10.31857/S0044450225090042](https://doi.org/10.31857/S0044450225090042).

Османова М.М., mrs.osmanova@yandex.ru; (Дагестанский государственный университет, кафедра аналитической и фармацевтической химии; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кафедра аналитической химии).

16. Для эффективного и быстрого извлечения полярных и среднеполярных летучих органических соединений с одновременной очисткой образца от нелетучих компонентов масел может быть применена дисперсионная жидкость-жидкостная микроэкстракция (или полумикроэкстракция) в системе гексан – ацетонитрил. Поскольку задачей являлось профилирование и количественное определение минорных компонентов масла, необходимо достичь стабильных (равновесных) коэффициентов распределения и степеней извлечения. Оцененная в ходе экспериментов воспроизводимость (s_r , %) степеней извлечения для 10 компонентов модельной смеси при разных концентрациях была на уровне 5–8% и не превышала 15% при добавлении в экстракционную систему образцов моторных и пищевых масел разных видов. Также были оценены основные метрологические характеристики определения этих соединений методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Дополнительно исследованы возможности прогнозирования параметров удерживания с помощью дескрипторов молекулярной структуры. По величине коэффициента корреляции отобраны наиболее прогностически значимые дескрипторы разных классов.

Загорская К.С., Колегова А.А., Ставрианиди А.Н. Обращенно-фазовая дисперсионная полумикроэкстракция в сочетании с газовой хромато-масс-

спектрометрией для определения полярных компонентов в маслах. // Масс-спектрометрия. 2025. Т. 22, № 3. В печати.

Ставрианиди А.Н., д.х.н., stavrianidi.andrey@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии; ИФХЭ РАН).

17. Проведена сравнительная оценка сорбционных характеристик исходного и модифицированного лантаном бентонита в отношении адсорбции витамина В₁₂ и установлено, что модификация бентонита ионами лантана приводит к значительному улучшению сорбционных свойств природного глинистого минерала. Модифицированный лантаном бентонит показал более высокую сорбционную способность и емкость, что подтверждено высоким коэффициентом детерминации данных, обработанных с применением модели псевдоторого порядка. Показано, что между молекулами витамина В₁₂ и активными центрами, содержащими ионы лантана, преобладает химическое взаимодействие. На основании проведенных исследований можно заключить, что лантан-модифицированный бентонит является перспективным сорбентом для адсорбции витамина В₁₂ и других биомолекул благодаря улучшенным сорбционным характеристикам и высокой селективности. Применение редкоземельных элементов позволяет улучшить свойства природных сорбентов и открывает новые возможности для их применения в биомедицинских и экологических процессах очистки и выделения ценных соединений.

Сорбционные и хроматографические процессы. 2025. № 1. С. 122-130.

Мокшина Н.Я., д.х.н., moksnad@mail.ru; Нифталиев С.И., Игумнов М.С. (ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кафедра физики и химии; Воронежский государственный университет инженерных технологий, кафедра неорганической химии и химической технологии).

18. МС-ИСП, АЭС-ИСП, АЭС-ИСП-ЭТИ методики анализа водных и технологических растворов с сорбционным концентрированием аналитов на модифицированном многослойном графене. С использованием различных методов синтеза получен ряд сорбционных материалов на основе многослойного графена с азотсодержащими и кислородсодержащими функциональными группами. Установлено, что из изученных материалов наибольшей сорбционной емкостью относительно редкоземельных элементов (РЗЭ) ~0,4 мМ/г обладает фторид диуглерода, модифицированный н-метилпирролидоном (МСГ-НМП) и расширенный под действием микроволнового излучения. Изучено влияние рН на сорбцию и десорбцию РЗЭ и других аналитов на МСГ-НМП. Оценено влияние присутствия мешающих ионов на сорбцию аналитов на МСГ-НМП из растворов. Получены сведения о селективности сорбции, степенях извлечения и коэффициентах концентрирования аналитов. Оптимизированы условия группового концентрирования аналитов на МСГ-НМП. Предложен

ряд методик анализа водных и технологических растворов с сорбционным групповым концентрированием РЗЭ (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm, Y и Yb) и других аналитов на МСГ-НМП. Методики анализа растворов методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП), в том числе с использованием электротермического испарения (ЭТИ) для введения концентратов примесей в ИСП обеспечивают пределы обнаружения (ПО) аналитов на уровнях $n \cdot 10^{-12}$ – $n \cdot 10^{-8}$ % мас. Показано, что использование МСГ-НМП для концентрирования аналитов позволяет снизить их ПО в среднем в 15 раз по сравнению с методиками без концентрирования аналитов, а применение ЭТИ обеспечивает дополнительное снижение ПО большинства аналитов в 2,5-20 раз, упрощение пробоподготовки за счет возможности анализа суспензий сорбентов и возможность включения в список аналитов элементов, для которых наблюдаются сложности десорбции.

Медведев Н.С., к.х.н., medvedev@niic.nsc.ru; Сапрыкин А.И., д.т.н., saprykin@niic.nsc.ru ((Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, аналитическая лаборатория).

Экстракционные методы

1. Изучено межфазное распределение треонина в экстракционных системах на основе N-винилформамида с целью его последующего определения в водных средах. Рассчитаны коэффициенты распределения и степень извлечения треонина поли-N-винилформамидом, сополимерами N-винилформамида с N-винилимидазолом, 1-винил-3,5-диметилпиразолом, 1-метакрилоил-3,5-диметилпиразолом. Изучено влияние концентрации экстрагентов, природы высаливателя, соотношения объемов водной и органической фаз, времени и температуры экстракции на количественные характеристики межфазного распределения треонина. Установлены оптимальные условия экстракции, при которых степень извлечения треонина сополимерами N-винилформамида достигает 97%. Показаны преимущества экстракции сополимерами N-винилформамида по сравнению с другими полимерами. Определение треонина в водной фазе после экстракции осуществлено методом капиллярного электрофореза при длине волны 254 нм.

Известия вузов. Химия и хим. технология. 2025. Т. 68. Вып. 10. С. 58-63.

Мокшина Н.Я., д.х.н., moksnad@mail.ru; Пахомова О.А., Иванчура П.В. (ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кафедра физики и химии; Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, кафедра химико-биологических дисциплин и фармакологии).

2. Предложен метод экстракционно-спектрофотометрического определения ионов платины в водных растворах с использованием синтезированных ионных жидкостей на основе тетрагексил-, тетрагептил- и

тетраоктиламмониевых катионов и дицианамидного аниона. Ионные жидкости получены в результате химического взаимодействия бромидов аммония с солями дицианамидов и прошли тщательный анализ, включающий элементный состав и спектроскопические характеристики. Определены оптимальные условия, при которых происходит наиболее эффективное извлечение ионов платины: pH 7, $t = 50$ °C; длительность экстракции 8 мин и соотношение объемов фаз водной и органической фаз 10:1. Концентрация Pt(IV) в исходном растворе 0.004 моль/дм³. Экстракция Pt(IV) наиболее эффективна при использовании дицианамид-ионных жидкостей: степень извлечения близка к 100 %. Спектроскопический анализ экстрагированных систем позволил установить, что механизм извлечения платины связан с образованием устойчивых ионных пар между галогенокомплексами металла и тетраалкиламмониевыми катионами. Применение предложенного метода может быть полезно для переработки вторичных источников платины, очистки промышленных сточных вод и минимизации загрязнения окружающей среды.

Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2025. Т.91. № 3. С. 5-10.

Мокшина Н.Я., д.х.н., moksnad@mail.ru; Нифталиев С.И.; Губанова В.Р. (ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кафедра физики и химии; Воронежский государственный университет инженерных технологий, кафедра неорганической химии и химической технологии).

3. Ионная жидкость салицилат триоктилметиламмония исследована для экстракции и концентрирования анионных синтетических пищевых красителей (СПК) Азурин (АЗР), Зеленый прочный (ЗП), Желтый «солнечный закат» (ЖСЗ), Красный очаровательный (КО), Красный 2Ж (К2Ж) и Тартразин (ТАР) из водных растворов. Все СПК экстрагируются в ионную жидкость количественно в диапазоне pH 1.8–8.0 при содержании хлорида натрия 2–10 мас.%, в отсутствие хлорида натрия – при pH 7.0–11.0 за 1 мин. Значения коэффициентов распределения ($\log D$) составили 2.9 ± 0.2 , 2.9 ± 0.2 , 3.4 ± 0.2 , 3.2 ± 0.1 , 3.3 ± 0.1 и 3.5 ± 0.2 для АЗР, ЖСЗ, ЗП, КО, К2Ж и ТАР соответственно. Предложена процедура экстракционно-спектрофотометрического определения СПК (0.05–2.75 мг/л); пределы обнаружения составили 0.02, 0.004, 0.01, 0.01, 0.01 и 0.02 мг/л для АЗР, ЗП, ЖСЗ, КО, К2Ж и ТАР соответственно. Методика применена для определения красителей в напитках и других объектах.

Лысковцева К.А., Смирнова С.В. Экстракция синтетических пищевых красителей салицилатом триоктилметиламмония // Журн. аналит. химии. 2026 (в печати).

Смирнова С.В., к.х.н., sv_v_smirnova@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

4. В качестве тест-средств предложены мицеллярно-насыщенные фазы неионного (Тритон Х-114) и анионного (додецилсульфат натрия, ДДСН)

типа, позволяющие эффективно концентрировать аналитические формы оснований Шиффа, в частности ариламинов (*para*-аминобензойная кислота и ее некоторые лекарственные производные) и определять их на уровне нанограммовых количеств в водных средах, модельных растворах плазмы крови, лекарственных формах при концентрациях порядка $n \cdot 10^{-8}$ М методами колориметрии с применением цифровых технологий. Снижены пределы обнаружения исследованных аналитов в реакциях конденсации с *para*-диметиламинобензальдегидом, сочетанием катализа анионными (эффект «мицеллярного катализа») и концентрирования неионными (эффект «мицеллярной микроэкстракции») ПАВ. Оптимизированы условия получения мицеллярно-насыщенных фаз Тритона X-114 в отсутствие и в присутствии ионов и мицелл ДДСН, реагентов, высаливателей (NaCl, Na₂SO₄, Na₃C₆H₅O₇).

Соколова Т.А., Доронин С.Ю. Мицеллярно-экстракционное экспресс-определение некоторых лекарственных ариламинов // Журн. аналит. химии. 2025. Т.80, №10. С.1056-1065. DOI: [10.7868/S3034512X25100044](https://doi.org/10.7868/S3034512X25100044).

Доронин С.Ю., д.х.н., doroninsu@mail.ru; Соколова Т.А., tatyanarys@yandex.ru (Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, кафедра аналитической химии и химической экологии).

5. Описан синтез нового функционализированного силикагеля с иммобилизованными фрагментами тиосемикарбазона взаимодействием альдегидных силикагелей с тиосемикарбазидом в среде этанола в присутствии каталитического количества соляной кислоты. Продемонстрирована эффективная твердофазная экстракция Sn(II) и Hg(II) с использованием диоксида кремния с иммобилизованным фрагментом тиосемикарбазона. Описаны условия ЭТААС определения и концентрирования Sn(II) и Hg(II) в сорбенте, используемом для отбора проб суспензии. Показано преимущество ЭТААС определения ртути и олова по сравнению с ИСП-АЭС, ИСП-МС.

Burylin, M. et al. Organomineral material for preconcentration and electrothermal atomic absorption spectrometry determination of Hg(II), Sn(II) in high-salinity natural and drinking waters with slurry sampling // Journal of the Iranian Chemical Society. 2025. Vol. 22. № 1. P. 129-139.

Бурьлин М.Ю., д.х.н., burylin@chem.kubsu.ru (Кубанский государственный университет, кафедра аналитической химии, Краснодар).

Другие методы разделения и концентрирования

1. Получены экспериментальные данные по извлечению и разделению редкоземельных элементов (РЗЭ) из технологических хлоридных растворов, полученных выщелачиванием карбонатов этих металлов 10 М HCl, с использованием растворов смесей экстрагентов P507 и Cyanex 272 (1:1). Показано, что смесь экстрагентов P507 и Cyanex 272 в виде исходной кислотной и натриевой форм является перспективной экстракционной системой для отделения иттрия от суммы РЗЭ с последующим отделением

фракций тербия и диспрозия от остальных РЗЭ при переработке растворов выщелачивания карбонатов редкоземельных элементов.

Афонин М.А., Нечаев А.В., Белова В.В. Экстракция редкоземельных элементов из хлоридных растворов смесями фосфорорганических кислот // Хим. технология. 2025. Т. 26. № 7. С. 274-280.

Приведены результаты экспериментального исследования экстракции редкоземельных элементов (РЗЭ) из технологических хлоридных растворов в системе с Суанех 272. Показано, что экстракция РЗЭ улучшается с ростом рН в соответствии с катионообменным механизмом экстракции. Коэффициенты распределения РЗЭ уменьшаются с увеличением их равновесной концентрации в водной фазе вследствие снижения свободной концентрации экстрагента в органической фазе. Экспериментальные результаты показали, что в данной экстракционной системе из концентрата среднетяжелой группы РЗЭ можно извлечь при помощи одного каскада экстракции иттрий и суммарный концентрат диспрозия и тербия.

Афонин М.А., Нечаев А.В., Белова В.В. Исследование извлечения и разделения РЗЭ из хлоридных технологических растворов в системе с СУАНЕХ 272 // Хим. технология. 2025. Т. 26. № 10. С. 383-390.

Белова В.В., д.х.н., belova@igic.ras.ru (ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН, лаборатория аналитической химии и методов разделения).

2. Установлены современные тенденции развития парофазного анализа (ПФА) и родственных методов: расширение круга анализируемых объектов и аналитов; миниатюризация используемых устройств, появление новых и развитие комбинированных способов концентрирования, основанных на сочетании газоэкстракционного извлечения аналитов с их сорбционным концентрированием из газовой фазы. Активно развиваются технические средства автоматизации ПФА на основе жидкостной и твердофазной микроэкстракции в парофазном исполнении.

Родинков О.В. Пленарный доклад на VII симпозиуме «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии».

Родинков О.В., д.х.н., o.rodinkov@spbu.ru; (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, кафедра аналитической химии).

3. Изучено применение наноструктурированных кремнеземов как в классических ТФЭ, так и современных вариантах твердофазной микроэкстракции (ТФМЭ), микроэкстракции матричным твердофазным диспергированием и дисперсионной ТФЭ (д-ТФЭ). Использование кремнеземов с упорядоченной системой мезопор позволяет значительно повысить полноту извлечения аналитов, улучшить метрологические характеристики определения биологически активных веществ в сложных многокомпонентных матрицах реальных объектов анализа. Простота модификации упорядоченных кремнеземов позволяет регулировать селективность твердофазных материалов к аналитам. Отработан способ пробоподготовки QuEChERS при определении флавоноидов,

предполагающий извлечение примесных компонентов с использованием д-ТФЭ. Преимущества упорядоченных кремнеземов при их использовании на стадии извлечения и концентрирования аналитов в вариантах твердофазной экстракции, а также хроматографического разделения близких по природе веществ дают возможность расширить диапазон линейности отклика аналитического сигнала, в особенности, спектроскопических методов анализа, и снижать пределы обнаружения ионов и молекул при определении полифенольных веществ в реальных объектах.

Завалюева А.С., Карпов С.И., Затонская Н.А., Селеменев В.Ф. Упорядоченные мезопористые кремнеземы в современных вариантах твердофазной экстракции // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 1. С. 3-21.

Карпов С.И.. д.х.н., karsiv@mail.ru; Селеменев В.Ф.. д.х.н., профессор-консультант (Воронежский государственный университет, кафедра аналитической химии).

4. Магнитные шипучие таблетки, состоящие из магнитного сверхсшитого полистирола, гидрокарбоната натрия, лимонной кислоты и ЭДТА, предложены для многокомпонентного выделения остатков 55 ветеринарных лекарственных веществ различных классов (сульфаниламидов и триметоприма, амфениколов, нитроимидазолов, β -лактамов, хинолонов, макролидов, плевомутилинов и линкозамидов) из речных вод методом магнитной твердофазной экстракции перед их ВЭЖХ МС/МС-определением. За счет интенсивного выделения углекислого газа при растворении таблетки удастся обойтись без использования перемешивающих устройств, а магнитные свойства сорбента позволяют отделить его без применения центрифугирования и фильтрации; в результате процедура пробоподготовки (твердофазной экстракции) занимает менее 3 мин.

Гончаров Н.О., Толмачева В.В., Мелехин А.О., Бирюкова М.А., Аняри В.В., Дмитриенко С.Г. Магнитная твердофазная экстракция с диспергированием магнитного сверхсшитого полистирола углекислым газом для многокомпонентного выделения остатков 55 ветеринарных лекарственных веществ из речных вод перед их ВЭЖХ-МС/МС-определением // Журн. аналит. химии. 2025. Т. 80. № 4. С. 391–406. DOI: [10.31857/S0044450225040041](https://doi.org/10.31857/S0044450225040041).

Магнитный сверхсшитый полистирол предложен для группового сорбционного выделения и концентрирования хинолонов. Показано, что сорбент обеспечивает количественное выделение всех 23 изученных соединений не только из водных растворов, но и из молока, минуя стадию депротеинизации. Определение проводили методом ВЭЖХ-танDEMной масс-спектрометрии с использованием матричной градуировки. Пределы обнаружения и определения хинолонов составили 0.012–0.12 и 0.04–0.4 мкг/л соответственно, что ниже их максимально допустимых уровней в молоке.

Кулинич Я.А., Пурыскин И.Д., Толмачева В.В., Мелехин А.О., Аняри В.В., Дмитриенко С.Г. Концентрирование хинолонов на магнитном сверхсшитом полистироле перед их последующим определением методом

Толмачева В.В., к.х.н., nikatolm@mail.ru; Дмитриенко С.Г., д.х.н., s.g.dmitrienko@yandex.ru; Апяри В.В., д.х.н., apyari@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

5. Получены новые двухфазные водные системы (ДФВС) на основе хлорида бензетония и неорганических солей, определены условия фазового расслоения, состав и вязкость органических фаз при разных соотношениях фазообразующих компонентов. Исследовано межфазное распределение различных РЗЭ и переходных металлов в ДФВС на основе хлорида бензетония. Варьирование кислотности и природы экстрагента позволяет проводить отделение Fe, Co, Cu, Zn, Cd (экстракция при pH 1–7) от РЗЭ (La, Ce, Pr, Nd и др., количественная экстракция при $\text{pH} \geq 5$). Реализовано количественное разделение в парах Nd(III)/Pr(III)–Fe(III) и Nd(III)/Pr(III)–Co(II).

Смирнова С.В., к.х.н., sv_v_smirnova@mail.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

6. Предложены новые биоразлагаемые супрамолекулярные растворители, образующиеся в результате коацервации амфифильного соединения алкилполиглюкозида при введении в систему терпеноидов как агентов коацервации. Новые растворители совместимы с системой обращено-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии. Разработан способ микроэкстракции фунгицидов в новый функциональный растворитель для их высокочувствительного хроматографического определения в пищевых продуктах растительного происхождения. Принципиальная схема микроэкстракции представлена на рис. 1.

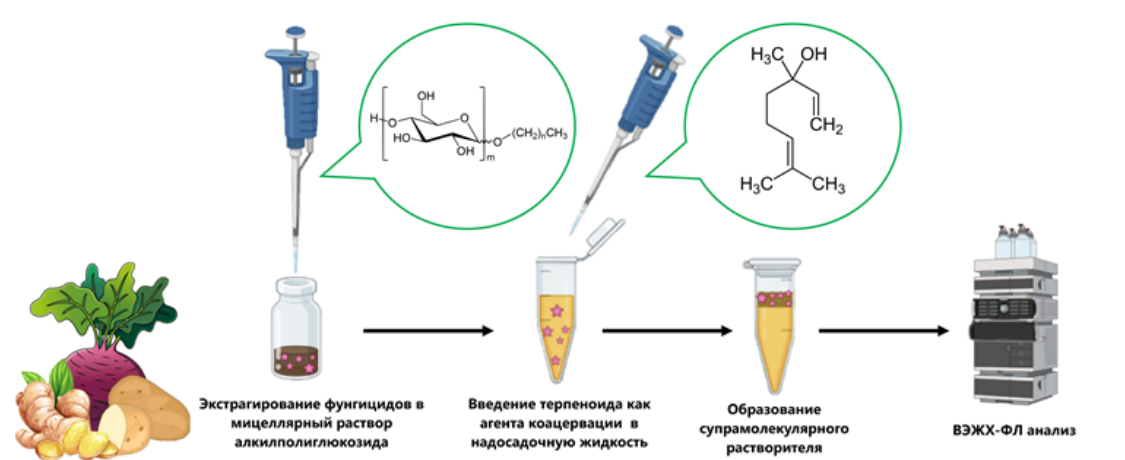


Рис. 1. Схема микроэкстракции фунгицидов в новый функциональный растворитель для их хроматографического определения в пищевых продуктах растительного происхождения

Булатов А.В., д.х.н., bulatov_andrey@mail.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, кафедра аналитической

химии; Казанский национальный исследовательский технологический университет).

7. ¹Для микроэкстракции антибиотиков тетрациклинового ряда из пищевых продуктов предложены новые экстракционные системы на основе первичных аминов и гидрофильных эвтектических растворителей. Установлено, что доноры водородной связи (карбоновые кислоты) в составе эвтектических растворителей способствуют осаждению белков, переходу тетрациклинов в ионизированные формы и разрушению комплексов аналитов с ионами щелочноземельных металлов в процессе пробоподготовки. В результате разработан экологически безопасный и экспрессный способ хроматографического определения тетрациклинов в мышечных тканях птицы, включающий микроэкстракцию аналитов в супрамолекулярный растворитель. Принципиальная схема микроэкстракции представлена на рис.

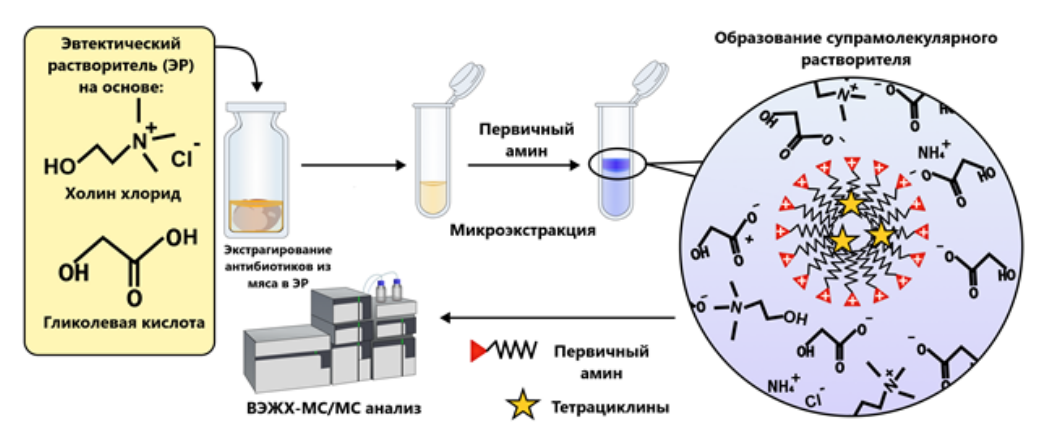


Рис. Схема микроэкстракции антибиотиков тетрациклинового ряда из пищевого продукта с применением новых экстракционных систем на основе первичных аминов и гидрофильных эвтектических растворителей

²Реализован способ жидкостной микроэкстракции в фазу супрамолекулярного растворителя, выделяющуюся из изотропного раствора анионного амфифила – аммонийной соли ди-(2-этилгексил)-фосфорной кислоты для выделения и концентрирования антибактериальных лекарственных веществ (фторхинолонов) из биологической жидкости (мочи) с целью последующего их хроматографического определения. Решена задача достижения высоких коэффициентов концентрирования аналитов (до 40). Принципиальная схема микроэкстракции представлена на рис. 5.

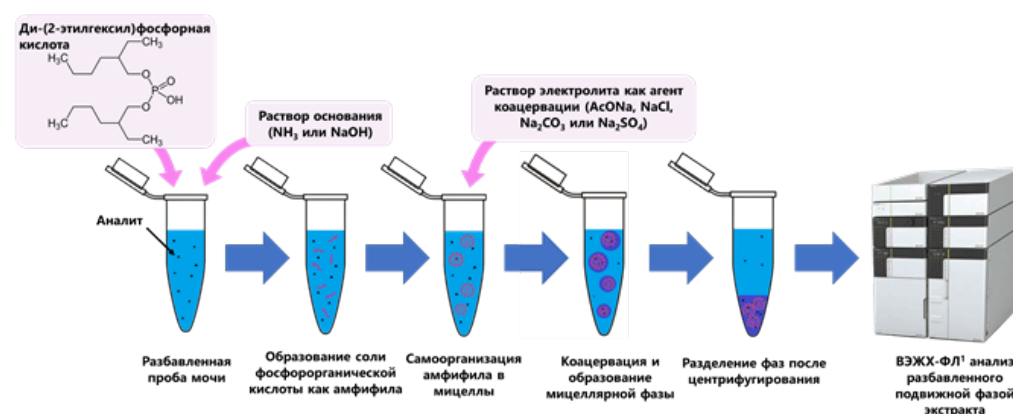


Рис. Схема микроэкстракции антибактериальных лекарственных веществ (фторхинолонов) из биологической жидкости (мочи) в фазу супрамолекулярного растворителя на основе аммонийной соли ди-(2-этилгексил)-фосфорной кислоты

³Предложен подход к on-line микроэкстракционному выделению антибактериальных лекарственных веществ (тетрациклинов) из биологической жидкости (слюна) на принципах циклического инъекционного анализа, предполагающий массоперенос аналитов в супрамолекулярный растворитель на основе алкилполиглюкозидов. Разработанный подход позволил заменить токсичные растворители на более безопасные, уменьшить количество используемых реагентов, автоматизировать процесс и достичь более низких пределов обнаружения по сравнению со известными процедурами. Принципиальная схема микроэкстракции представлена на рис. 6.



Рис. Гидравлическая схема для автоматизированного определения тетрациклинов в слюне после микроэкстракции в супрамолекулярный растворитель на основе алкилполиглюкозида.

^{1,2,3}Почивалов А.С., к.х.н., alexrochival@bk.ru (^{1,2,3}Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, кафедра аналитической химии; ¹Казанский национальный исследовательский технологический университет).

8. В качестве экстрагентов для микроэкстракции металлов из гидрофобных матриц предложены новый гидрофильный эвтектический растворитель на основе четвертичного аммониевого основания и органических лигандов. Предложен новый способ жидкостной микроэкстракции с термостатизацией экстракта, основанный на плавлении гидрофильного эвтектического растворителя при нагревании и последующем его затвердевании после охлаждения, что позволило упростить процесс разделения фаз и повысить воспроизводимость анализа. Разработан экспрессный способ экстракционно-спектрального определения следов металлов в растительных маслах.

Реализована экстракционная хроматография с применением эвтектических растворителей в качестве неподвижной фазы. Новый способ нашёл применение для концентрирования в проточном химическом анализе. Предложены новые составы эвтектических растворителей на основе тимола, о-толилтиомочевина, холина хлорида. Эвтектические растворители удерживались на сорбентах в составе хроматографических колонок. Созданы автоматизированные системы для определения тяжелых металлов в пищевых продуктах методом ИСП-ОЭС. Принципиальная схема микроэкстракции представлена на рис.

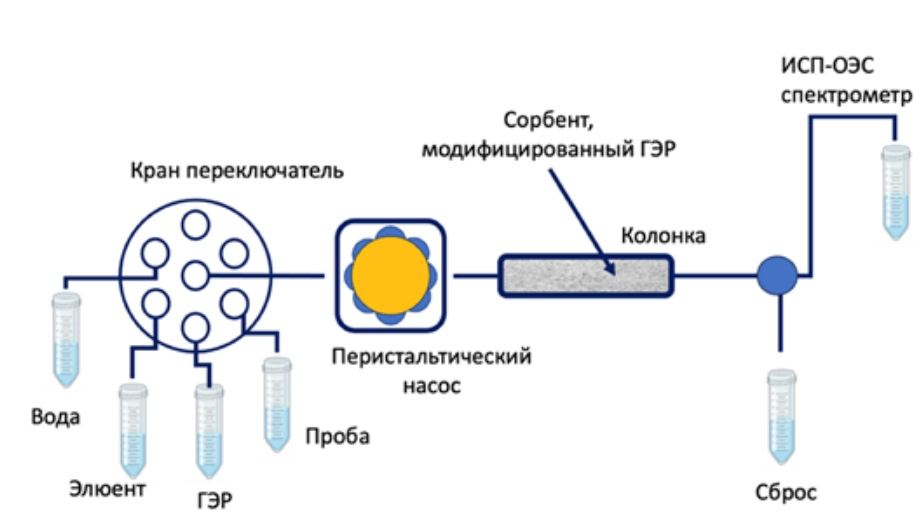


Рис. Гидравлическая схема для автоматизированного определения тяжелых металлов в пищевых продуктах методом ОЭС-ИСП

Шишов А.Ю., к.х.н., andrey.shishov.rus@gmail.com (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии. Кафедра аналитической химии).

9. Разработан способ экстракции фторхинолонов (ципрофлоксацина, флероксацина, гатифлоксацина, ломефлоксацина и офлоксацина) из почв и донных отложений с использованием гидрофильных эвтектических растворителей. В качестве эффективного экстрагента предложен эвтектический растворитель, состоящий из холин хлорида, малоновой кислоты и воды. Полярная природа данного растворителя обеспечивала высокую степень извлечения целевых аналитов при минимальном соэкстрагировании гидрофобных органических компонентов и гуминовых веществ матрицы, что значительно снизило их мешающее влияние на последующий хроматографический анализ. Для дальнейшего концентрирования аналитов и снижения пределов обнаружения в схему включена стадия ре-экстракции. Предложенный подход позволил исключить дополнительные трудоёмкие стадии очистки экстракта. Принципиальная схема анализа представлена на рис.

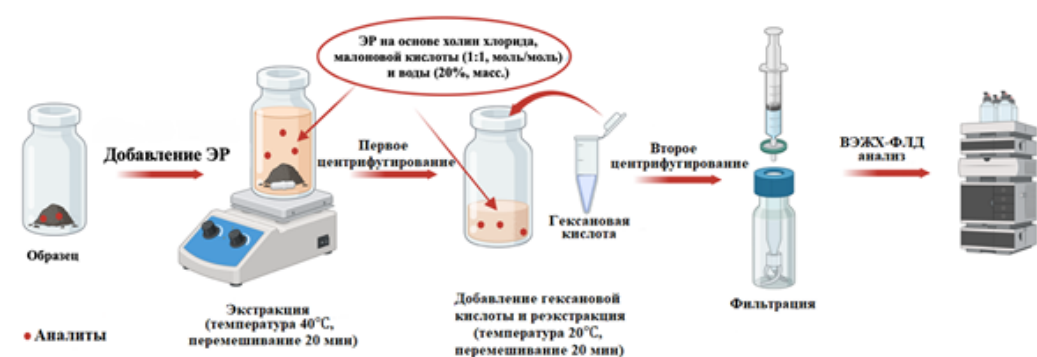


Рис. Схема определения фторхинолонов в почвах и донных отложениях.

Для определения адреналина в биологических жидкостях разработан способ, сочетающий одновременную дериватизацию и микроэкстракцию в среде эвтектического растворителя. В качестве экстрагента и дериватизирующего агента предложен эвтектический растворитель на основе тимола и *o*-фенилендиамина. Ключевую роль играл *o*-фенилендиамин,

который одновременно служил как компонент для формирования эвтектического растворителя и как дериватирующий агент. В ходе пробоподготовки на первом этапе происходило окисление адреналина с образованием *орто*-хиноидного производного. При введении эвтектического растворителя происходила кислотнo-катализируемая конденсация *о*-фенилендиамина с хиноидным производным аналита с образованием интенсивно флуоресцирующего производного, которое одновременно экстрагировалось в органическую фазу. Принципиальная схема анализа представлена на рис.

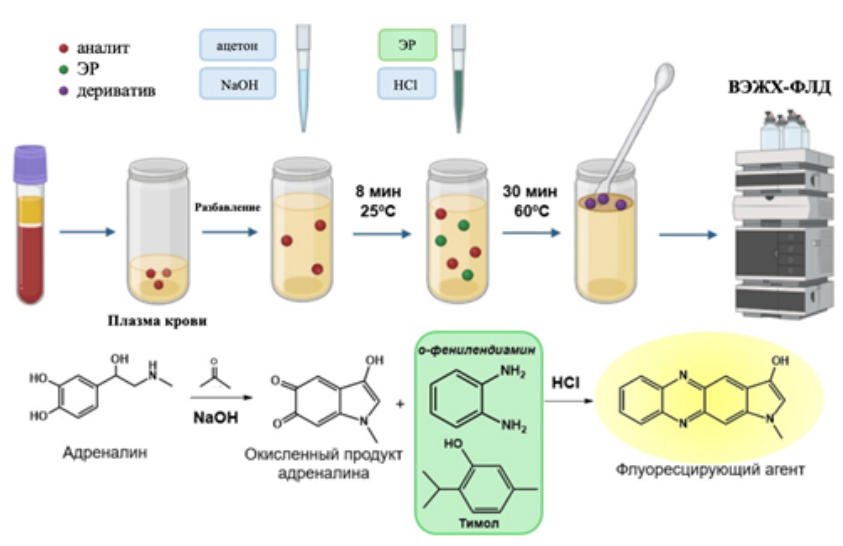


Рис. Схема определения адреналина в биологических жидкостях

Крехова Ф.М., к.х.н., f.krekhova@spbu.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, кафедра аналитической химии).

10. Комплексно изучены экстракционные способности новых гидрофобных эвтектических растворителей на основе терпенов, терпеноидов, карбоновых кислот, спиртов и четвертичных аммониевых солей по отношению к гидрофобным неполярным анализам – полициклическим ароматическим углеводородам (ПАУ). Установлено, что наибольшей эффективностью экстракции по отношению к выбранным анализам обладает эвтектический растворитель на основе камфоры и цитраля, где камфора выполняет роль акцептора водородной связи, а цитраль – донора, что обеспечивает формирование устойчивой сети водородных связей и гидрофобное поведение растворителя. Разработан способ жидкостно-жидкостной микроэкстракции для предварительного концентрирования ПАУ из пищевых продуктов растительного происхождения. Способ нашёл применение для ВЭЖХ-ФЛД определения ПАУ в пищевых продуктах. Принципиальная схема анализа представлена на рис.

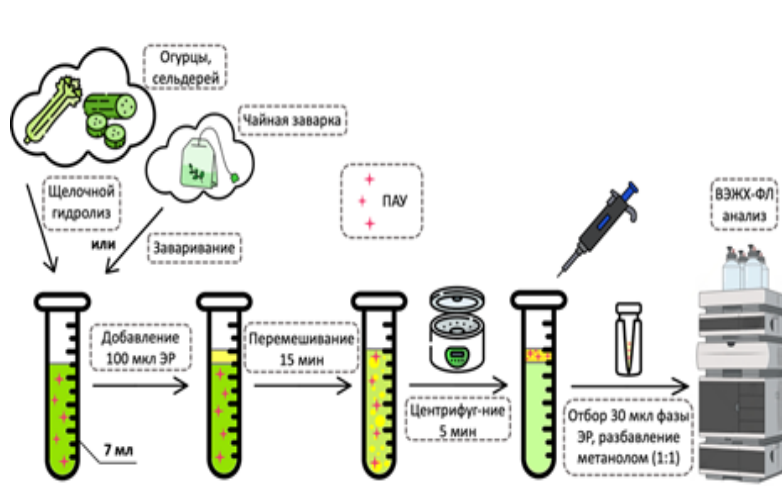


Рис. Схема определения ПАУ в продуктах питания растительного происхождения

Разработан способ жидкостно-жидкостной микроэкстракции с использованием квазигидрофобного эвтектического растворителя для предварительного концентрирования высокополярного аналита. Показано, что при контакте эвтектического растворителя на основе холина хлорида и жирной карбоновой кислоты с водной фазой пробы происходит разложение растворителя и диспергирование гидрофобной карбоновой кислоты в водной фазе. Установлено высаливающее действие холина хлорида (акцептора водородной связи эвтектического растворителя). Добавление тетрагидрофурана в систему вызывало образование супрамолекулярного растворителя и способствовало эффективному извлечению аналита из водной фазы. Возможности разработанного способа продемонстрированы на примере ВЭЖХ-УФ определения биотина (витамин В7) в образцах сухого корма для кошек и пивных дрожжей. Предложенная процедура микроэкстракции позволяет добиться высокой степени извлечения (более 90 %). Главным преимуществом разработанного способа по сравнению с ранее существовавшими является снижение пределов обнаружения до 0,5 мг/кг за счет концентрирования высокополярного аналита в супрамолекулярный растворитель. Принципиальная схема анализа представлена на рис.



Рис. Схема определения биотина.

Тимофеева И.И., д.х.н., timofeeva.irina.7@gmail.com (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, кафедра аналитической химии).

11. Концентрирование и разделение форм ртути с применением металл-органического координационного полимера. Разработана методика концентрирования и разделения форм ртути с применением металл-органического координационного полимера $[Zr_6O_4(OH)_4([3,2-b]ttdc)_6]$ (Zr-ttdc). Выполнено исследование сорбционных свойств Zr-ttdc. Показано, что Zr-ttdc содержит активные сорбционные центры в тиофеновом кольце, характеризуется высокой устойчивостью к гидролизу, а также возможностью регенерации/десорбции. Получены данные о сорбции форм ртути (Hg^{2+} , CH_3Hg^+ , $PhHg^+$) на Zr-ttdc. Разработана методика определения химических форм ртути методом твердофазной экстракции с онлайн детектированием методом АЭС-ИСП. Методика позволяет определять формы ртути, обычно встречающиеся в природных средах, в частности, ртуть (II) и метилртуть на уровне концентраций до 0,008-0,01 мкг/л.

Шуваева О.В., д.х.н., olga@niic.nsc.ru (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, аналитическая лаборатория, Новосибирск).

12. Анализ оксида теллура с отгонкой основы проб. Ранее разработанный способ концентрирования примесей отгонкой основы проб теллура высокой чистоты в проточном реакторе в атмосфере хлора применен для оксида теллура (IV). Выбраны условия: хлорирующий агент Cl_2 , температура 240° С, поток хлора через реактор 35-40 мл/мин. Показано, что в результате реакции образуется летучий тетрахлорид теллура, а основа пробы удаляется более чем на 99,9 % мас. при длительности процесса 2,5-3,5 ч. Изучено поведение 59 элементов при отгонке основы проб, установлены элементы, потери которых не превышают 25 % отн.: Ag, Al, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Dy, Er, Eu, Gd, Ir, Hf, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Na, Nd, Ni, P, Pd, Pr, Pt, Rb, Rh, Sc, Sm, Sr, Tb, Tm, Y, Yb и Zr. При АЭС-ИСП анализе оксида теллура с предварительным концентрированием примесей достигнуты ПО аналитов от $2 \cdot 10^{-8}$ до $2 \cdot 10^{-6}$ % мас. и внутрилабораторная прецизионность не более 31 % отн. Установлено, что изменение хлорирующего агента на хлороводород приводит к снижению продолжительности процесса отгонки основы проб до 2,0 ч. Также изменяется список определяемых примесей: в концентрате сохраняются технологически важные Fe и Zn, а Pd и Pt переходят в группу с частичными потерями и не могут быть определены количественно.

Цыганкова А.Р., к.х.н., alphiya@yandex.ru (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, аналитическая лаборатория, Новосибирск).

Методы обнаружения и идентификации

1. Разработан алгоритм газохроматографической идентификации органических соединений по их индексам удерживания (RI), предполагающий использование не фиксированных, а переменных допустимых отклонений экспериментальных и справочных значений RI (doi: 10.3390/molecules30244706). Алгоритм применим к данным, полученным в нестандартных условиях, и позволяет использовать разнородные справочные данные. Например, становится возможной идентификация аналитов по индексам удерживания, определенным на стандартных неполярных полидиметилсилоксановых неподвижных фазах, с использованием справочных значений для фаз, содержащих 5% фенильных групп, и наоборот.

Зенкевич И.Г., izenkevich@yandex.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, кафедра органической химии).

2. В целях распознавания образцов близкого состава развивали кинетический метод «отпечатков пальцев». Расширили набор облученных продуктов питания, для которых возможна оценка дозы (добавлены сырое мясо курицы и трески). Найдена индикаторная реакция (окисление карбоцианинового красителя иодатом), позволяющая распознавать дозу в 1 кГр и выше независимо от производителя куриного мяса (на примере 4 разных производителей). Это открывает перспективу использования образцов сравнения от произвольного производителя при оценке дозы неизвестного образца. Показана возможность оценки дозы (0 – 100 Гр – 1 кГр) в процессе хранения клубней картофеля в холодильнике (до 6 мес.).

С использованием индикаторной реакции окисления гептаметинового карбоцианинового красителя показана возможность простого и экспрессного обнаружения сброса бытовых сточных вод в реку (0.1% по объему и более) путем сравнения сигналов, получаемых для чистой природной воды, отбираемой в течение 4 суток, и природной воды на 5-е сутки с добавкой сточной. Результат получен при анализе реальных образцов.

Выяснены условия, в которых солубилизация наночастиц гидрофобного карбоцианина водным раствором ПАВ протекает медленно и может быть использована в качестве индикаторной реакции в кинетическом варианте метода «отпечатков пальцев». Предложен способ дискриминации пищевых спиртов, позволяющий различить горькие и не горькие образцы. Результаты хемометрической обработки данных коррелируют с оценками вкусовых параметров спиртов дегустаторами. Предложен способ обнаружения метанола в водке ($\geq 4\%$) с использованием индикаторной реакции *карбоцианин – ПАВ*.

Ipatova V., Bliznyuk U., Borshchegovskaya P., Chernyaev A., Toropygina M., Kim V., Nikitchenko A., Kozlov A., Yurov D., Beklemishev M., Rodin I., Kozlova E. Assessment of Catalase Inhibition Under e-Beam Irradiation. // International Journal of Molecular Sciences. 2025. V. 26. Article 4358. DOI: [10.3390/ijms26094358](https://doi.org/10.3390/ijms26094358).

Uspenskaia A.A., Doroshenko I.A., Popovicheva K.A., Shmychkov N.V., Levina I.I., Beklemishev M.K., Tashlitsky V.N., Podrugina T.A., Machulkin A.E., Beloglazkina E.K. *Fluorescent conjugates of PSMA-targeting ligand with cyanine dyes: synthetic approaches and photochemical properties.* // *Mendeleev Communications*. 2025. V. 35. P. 172–175. DOI: [10.71267/mencom.7583](https://doi.org/10.71267/mencom.7583).

Uspenskaia A.A., Doroshenko I.A., Popovicheva K.A., Shmychkova N.V., Pryakhina E.V., Shafikov R.R., Skvortsov D.A., Beklemishev M.K., Zaborova O.V., Podrugina T.A., Machulkin A.E., Beloglazkina E.K. *Pentamethine cyanine dyes with alkynyl group as perspective structure for conjugation with targeting moiety.* // *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*. 2025. V. 115. Article 130025. DOI: [10.1016/j.bmcl.2024.130025](https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2024.130025).

Shik A.V., Stepanova I.A., Koksharova M.V., Doroshenko I.A., Podrugina T.A., Bliznyuk U.A., Borshchegovskaya P.Yu., Chernyaev A.P., Ananieva I.A., Rodin I.A., Beklemishev M.K. *Estimation of irradiation doses in chicken samples using a reaction-based fingerprinting method.* // *Food Chemistry*. 2025. Article 144073. DOI: [10.1016/j.foodchem.2025.144073](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144073).

Shik A.V., Akhmetov R.M., Sugakov G.K., Filatova D.G., Doroshenko I.A., Podrugina T.A., Beklemishev M.K. *Facile detection of illicit wastewater discharge into a water source using a kinetic-based optical fingerprinting strategy.* // *Anal. Methods*. 2025. V. 17. Article 8061. DOI: [10.1039/d5ay01066g](https://doi.org/10.1039/d5ay01066g).

Zubritskaya Y.V., Shik A.V., Stepanova I.A., Zolotov S.A., Borshchegovskaya P.Y., Bliznyuk U.A., Ananieva I.A., Chernyaev A.P., Rodin I.A., Beklemishev M.K. *Determining Irradiation Dose in Potato Tubers During Storage Using Reaction-Based Pattern Recognition Method.* // *Foods*. 2025. V. 14. Article 4285. DOI: [10.3390/foods14244285](https://doi.org/10.3390/foods14244285).

Беклемишев М.К., beklem@inbox.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра АХ, НИЛ биоаналитических методов и оптических сенсорных систем).

СПОСОБЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ

Анализ в потоке

1. Установлена каталитическая активность частиц серебра и палладия, осажденных на поверхности планарного электрода (ПЭ), при электроокислении пировиноградной кислоты (ПК). На анодных кривых окисления ПК на ХМЭ наблюдали один максимум тока, высота которого линейно зависит от концентрации субстрата. При последовательном осаждении частиц Ag и Pd на поверхности ПЭ (Ag-Pd-ПЭ) регистрировали увеличение тока окисления ПК, превышающее токи на ХМЭ с индивидуальными металлами. Электрод Ag-Pd-ПЭ использовали для количественного определения пировиноградной кислоты в условиях порционнно-инжекционной амперометрии. Проточный метод по сравнению со статическими условиями снижает нижнюю границу определяемых содержаний на два порядка. В порционнно-инжекционной системе линейный диапазон концентраций, представленный в билогарифмических единицах, наблюдали в интервале от 5×10^{-6} до 5×10^{-2} М. Предложенный способ порционнно-инжекционного анализа повышает чувствительность,

селективность, экспрессность и производительность анализа (450 определений/ч). Разработанный способ определения ПК апробировали при анализе урины. Матричные компоненты, такие как мочевина, креатинин, мочева и молочная кислоты, не оказывали мешающего влияния на результаты определения.

*Шайдарова Л.Г. Порционнo-инжектoннoе амперoметричeскoе определeниe пирoвинoгpaднoй кислoты нa электрoдe, мoдифицирoвaннoм бинaрнoй систeмe сeрeбрo-пaллaдий / Л.Г. Шaйдaрoвa, И.А. Чeлнoкoвa, Ю.П. Дoбрынинa, И.А. Гaфиaтoвa, Г.К. Бyдникoв // Aнaлитикa и кoнтрoль. – 2025. – Т. 29, № 2. – С. 141-148.
<https://doi.org/10.15826/analitica.2025.29.2.003>.*

Частицы иридия и висмута, электроосажденные на планарные электроды, проявляют каталитическую активность при электроокислении ксантина. Для последовательного инъекционного амперометрического определения этого соединения использовали гидравлические схемы с проточной электрохимической ячейкой типа отражающей стенки или микрофлюидной ячейкой с планарными электродами, модифицированными композитом на основе иридия и висмута. Линейную логарифмическую зависимость аналитического сигнала от концентрации ксантина наблюдали в интервалах от 5×10^{-7} до 5×10^{-3} М при использовании ячейки типа отражающей стенки, от 5×10^{-9} М до 5×10^{-3} М – при использовании микрофлюидной ячейки. При использовании последовательной инъекционной системы удалось достичь теоретической производительности, равной 360 определений/ч (с микрофлюидной ячейкой) и 180 определений/ч (с проточной ячейкой типа отражающей стенки). Разработанный способ определения ксантина использовали в анализе урины. Матричные компоненты урины не оказывали мешающего влияния на результаты определения.

Шайдарова, Л.Г. Последовательное инъекционное амперометрическое определение ксантина на электроде, модифицированном композитом на основе иридия и висмута / Л.Г. Шайдарова, И.А. Челнокова, Д.А. Коряковцева, Г.К. Будников, М.А. Зиганин // Аналитика. – 2025. – Т.15. – № 6. – С. 420-427. <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2025.15.6.420.427>.

Шайдарова Л.Г., larisashaidarova@mail.ru (Казанский (Приволжский) федеральный университет).

Химические сенсоры, бионические и тест-системы (электронный нос, язык, глаз и миниатюризация анализа)

В отчетном году продолжали развиваться работы в области фундаментальных исследований, стали разнообразнее тематики, которые направлены на решение приоритетных практических задач (диагностика различных процессов, состояния человека и других живых систем, биопроб, пищевых продуктов, фармацевтических препаратов, газовых сред).

Результаты работ реализованы в виде развивающихся НИР по тематикам РНФ (Томск, НИТПУ), других фундаментальных и прикладных исследований (Воронеж, ВГУИТ, ВГМУ им Н.Н. Бурденко, ВГАУ им. Петра

Первого; Саратов, Саратовский национальный исследовательский государственный университет; Москва, ГЕОХИ РАН им. А.И. Вернадского; МГУ им. М.В. Ломоносова; Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности; ВНИИ холодильной промышленности – филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН; Санкт-Петербургский государственный университет).

Материал рефератов структурирован по доминирующему аналитическому признаку: анализ жидких сред, анализ газовой фазы, разработка энергоэффективных сенсоров и портативных приборов, а также бумажные и микрофлюидные тест-системы. Сохранены ключевые характеристики методов, метрологические параметры и ссылки на публикации.

Т.А. Кучменко

1. Сенсоры для анализа жидких сред

1.1 Композиты ПВС–магнетит для определения углеводов.

Щемелев И.С. и др. (МГУ им. М.В. Ломоносова) разработали сенсорные элементы на основе сшитого поливинилового спирта (ПВС), модифицированного частицами Fe₃O₄. Методы регистрации: оптическая микрометрия и цифровая цветометрия. Предел обнаружения глюкозы и фруктозы — 7,9–11 мМ. Оптимальное содержание магнетита — 1,54%. Показано влияние pH на чувствительность системы. Подход апробирован для анализа сиропов и мёда.

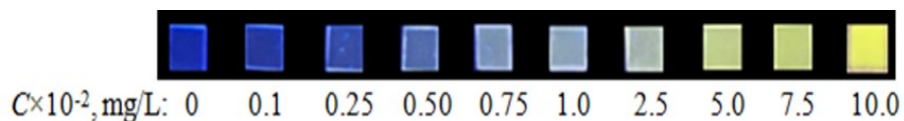
Shchemelev I.S., Zinoviev N.A., Ivanov A.V., Ferapontov N.B., Mikheev I.V., Gagarin A.N. Sensing Granular Material Based on an Impregnated Cross-Linked Polyvinyl Alcohol–Magnetite Composite to Determine Carbohydrates Using Optical Micrometry // Inorganic Materials: Applied Research. 2025. V. 15. № 6. P. 1591-1599.

Щемелев И.С., Иванов А.В., Ферапонтов Н.Б. Применение сенсорных композитных пленок "поливиниловый спирт–магнетит" для цифрового цветометрического определения глюкозы и фруктозы в мёде // Журн. неорг. химии. 2025. Т. 70. № 10. С. 1428-1436.

1.2 Полиметакрилатные сенсоры с наночастицами Au/Ag

Гавриленко Н.А., Саранчина Н.В.; Гавриленко М.А. (проекты РНФ 23-23-20058, 24-24-00160) «Разработка колориметрических сенсоров широкого спектра действия на основе наночастиц золота, стабилизированных в твердой прозрачной полиметилметакрилатной матрице (ПММА)» (Национальный исследовательский Томский государственный университет, кафедра аналитической химии). Созданы мультисигнальные сенсоры на основе ПММА с наночастицами золота, серебра и карбоновых наноточек. Регистрация сигнала: колориметрия, спектрофотометрия, люминесценция, цифровая обработка изображений. Введены элементы машинного обучения для анализа мультисенсорных откликов. Объекты анализа: тетрациклины, тиоцианаты, компоненты пищевой продукции. Изучены условия

стабилизации наночастиц золота в полиметакрилатной матрице с сохранением ее прозрачности.



Фотографии сенсоров ПММ-Аu после контакта с различными концентрациями тетрациклина

<https://doi.org/10.3390/molecules30224458>

<https://doi.org/10.1080/03067319.2025.2570508>

В рамках выполнения проекта РНФ 24-24-00160 «Колориметрическая мультисенсорная система с цифровой обработкой изображения» (Гавриленко М.А., Национальный исследовательский Томский политехнический университет) разработаны способы определения веществ с использованием цифровой колориметрической обработки изображения полиметакрилатных сенсоров на основе наночастиц серебра, золота и карбоновых наноточек. Переход от селективного определения индивидуальных веществ к мультисенсорным платформам позволяет сократить время и повысить достоверность анализа за счет использования машинного обучения для анализа колориметрической информации.



Фотографии сенсоров ПММ-Аu после контакта с различными концентрациями тиоцианата.

<https://doi.org/10.1039/d5ay00662g>; <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2025.100278>

<https://doi.org/10.1134/S002315842560035X>

1.3 Импринтированные белки в флуоресцентном анализе

Пиденко П.С., Пресняков К.И. (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, кафедра общей и неорганической химии). Впервые использованы импринтированные белки для определения аргинина и микроцистина-LR. Предел количественного определения: Arg –0,5 нг/мл; MC-LR — 2 нг/мл. Применено молекулярное моделирование для оптимизации синтеза. Демонстрируется высокий уровень селективности и чувствительности. Впервые импринтированные белки (ИБ) использованы в качестве элементов молекулярного распознавания для определения аминокислот (аргинина, Arg) и гептапептидов (микроцистина-LR, MC-LR) в конкурентном твердофазном флуоресцентном анализе (КТФА). В качестве белковых матриц для импринтинга использовали бычий сывороточный альбумин и овальбумин. Разработан оригинальный метод повышения сродства связывающих участков ИБ путем импринтирования производного Arg (Arg-анилин) с большей доступностью аминогрупп молекул шаблона. Наночастицы диоксида кремния, модифицированные ИБ,

проявляют высокую сорбционную способность по отношению к Arg ($Q = 7.8$ мг/г). Разработана тест-система для определения Arg и MC-LR с использованием КТФА; Линейный диапазон определения для Arg составляет 0.7–10 нг/мл (ПКО = 0.5 нг/мл), тогда как для MC-LR он составляет 4–60 нг/мл (ПКО = 2 нг/мл). Полученная тест-система протестирована при определении Arg в биологически активной добавке.

Presnyakov, K. Y., Plicheva, P. M., Reshetnik, I. A., Pozharov, M. V., Pidenko, P. S., Burmistrova, N. A. (2025). A novel approach to determination of amino acids and cyclic heptapeptides using imprinted proteins. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00216-025-06103-8>.

2. Сенсорные системы для анализа газовой фазы и биомедицинской диагностики

2.1 Электронный нос для анализа крови

Кучменко Т.А., Менжулина Д.А. (Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН; Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко). Проанализированы 250 образцов крови без пробоподготовки. Разработаны алгоритмы обработки многомерных данных массива пьезосенсоров. Выявлены выраженные патологии (воспаления, онкология, нарушения функции почек) с применением портативного «электронного носа-диагноста» Работы проводились на базе Областной клинической больницы г. Курска.

Кучменко Т.А., Менжулина Д.А. Разработка алгоритма обработки данных “электронного носа” на пьезосенсорах при анализе проб крови без пробоподготовки: пилотное исследование // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 5. С. 501-517.

2.2 Контроль ферментации и качества напитков

Кучменко Т.А. и др. (ВГУИТ). Сопоставление данных газовой хроматографии и системы «МАГ-8» с методологией «электронный нос» при анализе проб пива, полученных в разных условиях сбраживания. Время анализа — 60 с; повторяемость — 5%. Разработан метод цветокодирования результатов. Работа относится к направлению «Оцифровка органолептических свойств пищевых систем».

*Кучменко Т.А., Арустамов Я.Р., Умарханов Р.У., Новикова И.В. Применение сенсорных технологий для функционального контроля дрожжей *kveik* в производстве пива // Аналитика и контроль. 2025. Т. 29. № 1. С. 54-67.*

2.3 Неинвазивная диагностика *Helicobacter pylori*

Кучменко Т.А. (ГЕОХИ РАН им В.И. Вернадского, ВГУИТ, ВГМУ им. Бурденко). Трехлетний мониторинг пациентов; портативные устройства с библиотекой сенсоров. Впервые продемонстрирована возможность анализа проекции желудка на лице. Демонстрируются три подхода для диагностики состояния желудка, пищевода неинвазивными способами контроля состава

выдыхаемого воздуха и выделяющихся летучих соединений кожи в проекции желудка с применением малогабаритных устройств на основе разного числа измерительных элементов (от 1 до 8) российского производства.

Kuchmenko TA, Menzhulina D, Umarkhanov R, Kopaeva A. Novel research in the field of non-invasive diagnostics of Helicobacter pylori utilizing a library of chemical piezoelectric sensors and portable devices // Explor Dig Dis. 2025;4:100591. <https://doi.org/10.37349/edd.2025.100591>.

2.4 Обзор применения электронного носа

Зайцева Л.В. и др. (Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности). Составлен обзор по разработке и внедрению систем анализа запаха (методология «электронный нос» (ЭН)) в пищевую промышленность, что позволит получать объективную информацию и оперативно корректировать производственные процессы. Коммерческие версии ЭН разработаны более, чем в 30 странах мира, в том числе в США, Германии, Великобритании, Швеции, Франции, Италии и России. Обзор показывает, что использование ЭН в пищевой промышленности в качестве инструментального метода анализа запаха пока находится на стадии научных исследований. Особенно отмечена необходимость расширения применения в хлебопекарной отрасли.

Зайцева Л.В., Балуян Х.А., Сотченко Д.Ю., Мартиросян В.В., Белозёров А.Н. Кучменко Т.А. Применение «электронного носа» для оценки качества пищевой продукции (предметный обзор) // Пищевая промышленность, 2025, № 11, С. 157-163. DOI: [10.52653/PPI.2025.11.11.027](https://doi.org/10.52653/PPI.2025.11.11.027).

3. Металлоксидные сенсоры и энергоэффективные газоанализаторы

Шапошник А.В. и др. (Воронежский государственный аграрный университет). Разработаны металлоксидные сенсоры повышенной селективности с температурной модуляцией, способных работать длительное время в труднодоступных местах. Внедрены методы многомерной калибровки, адаптированные для микроконтроллеров. Разработаны технологии трафаретной печати МЭМС-датчиков. Исследованы низкотемпературные сенсоры In₂O₃-Pd.

Шапошник А.В., Москалев П.В., Куль О.В., Звягин А.А., Васильев А.А., Исследование металлоксидного газового сенсора повышенной селективности и энергоэффективности / «Заводская лаборатория. Диагностика материалов». 2025. Т 91. № 3. С. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2025-91-3-35-41>.

Vasiliev, A.; Shaposhnik, A.; Kul, O.; Mokrushin, A. The Role of Convection and Size Effects in Microhotplate Heat Exchange: Semiconductor and Thermomagnetic Gas Sensors. Sensors. 2025, 25, 2830. <https://doi.org/10.3390/s25092830>.

Васильев А.А., Куль О.В., Шапошник А.В., Дмитриева А.В., Большаков А.И., Мокрушин А.С. Трафаретная печать для серийного производства керамических МЭМС датчиков. Лаборатория и производство. №4, 2025 (33), стр. 52-63, ISSN 2619-0923. DOI: [10.32757/2619-0923.2025.4.33.52.61](https://doi.org/10.32757/2619-0923.2025.4.33.52.61)

Shaposhnik, A.; Moskalev, P.; Vasiliev, A.; Oreshkin, K.; Zviagin, A.; Vysotskaya, E.; Turishchev, S.; Kakuliia, I. *Multivariate Calibration for Selective Analysis of Hydrogen Sulfide and Carbon Monoxide with Thermal Modulation of the SnO₂-PdO Sensor*. *Chemosensors*. 2025, 13, 323. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13090323>

4. Бумажные и тест-методы анализа

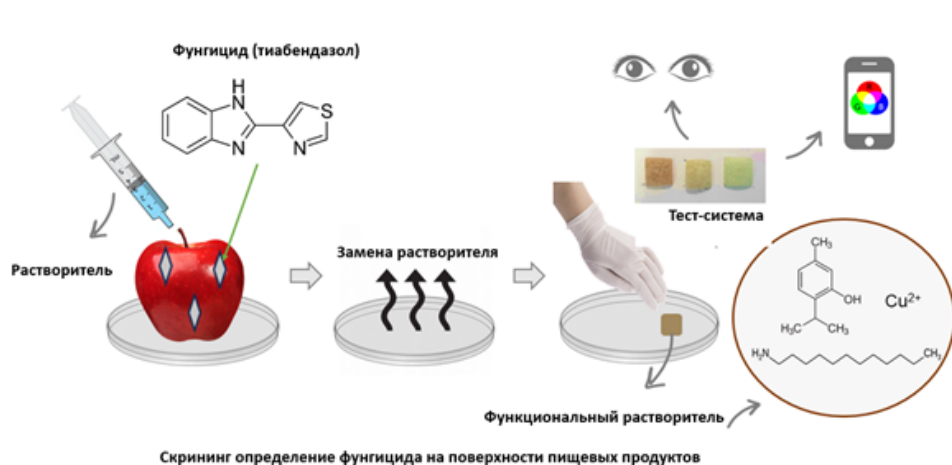
4.1. Тест-система для определения кверцетина

Фурлетов А.А. и др. (МГУ им. М.В. Ломоносова) разработали метод определения кверцетина с использованием микрофлюидных аналитических систем на основе бумаги (БМФС), модифицированной наночастицами золота и серебра различной морфологии; LOD 70–120 нг; объем пробы 25 мкл.

Фурлетов А.А., Якименко А.В., Аняри В.В., Дмитриенко С.Г., Торочешникова И.И. *Определение кверцетина в фармацевтических препаратах методом цифровой цветометрии с использованием сборных микрофлюидных систем на основе бумаги, модифицированной наночастицами золота и серебра*. // *Журн. аналит. химии*. 2025. Т. 80. С. 641–655. DOI: 10.31857/s0044450225070018.

4.2. Система тестирования фунгицида

Тимофеева И.И. (Санкт-Петербургский государственный университет): определение тиабендазола с использованием эвтектического растворителя. Для экспрессного и простого внелабораторного визуально-колориметрического скрининг-определения фунгицида (тиабендазол) на поверхности фруктов и овощей разработана тест-система с применением нового функционального эвтектического растворителя на основе терпеноида и первичного амина. Колориметрическое определение тиабендазола основано на изменении окраски, вызванной образованием окрашенного комплекса между ионами меди (II) и аналитом, который выступает в роли лиганда. Схема определения тиабендазола на поверхности фруктов с применением новой тест-системы представлена на рис.



4.3. Тест-бумага для цефтриаксона

Косырева И.В., Скородумова Е.А. и др. (Саратовский национальный исследовательский государственный университет) предложили индикаторные бумаги на основе иммобилизованного сульфата меди (II) для

определения β - лактамного антибиотика цефтриаксона. LOD 0,05 мг/мл (цветометрия). Достаточный для анализа объем пробы не превышает 25 мкл. Проведена оценка селективности предложенного способа определения кверцетина по отношению к ряду распространенных неорганических ионов и органических веществ. Показана применимость разработанного подхода для определения кверцетина в трех фармацевтических препаратах.

Скородумова Е.А., Каратеева Е.Д., Косырева И.В. Экспресс-определение цефтриаксона с помощью иммобилизованного сульфата меди (II) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 2. С. 143-150. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-2-143-150>.

Критический анализ и стратегическая оценка мирового уровня

Разработки 2025 года демонстрируют отчетливый переход от одиночных селективных сенсоров к мультисенсорным платформам с цифровой обработкой сигналов и элементами машинного обучения. Это соответствует глобальному тренду Sensor Fusion + AI, активно развиваемому в США, Китае, Германии и Японии.

Сильные стороны представленных исследований:

- Высокий фундаментальный уровень (наноматериалы, импринтинг, температурная модуляция).
- Публикации в журналах Q1 (Sensors, Chemosensors, Analytical and Bioanalytical Chemistry), не следует забывать о российских журналах.
- Развитие энергоэффективных металлоксидных сенсоров и МЭМС-технологий.
- Реальные клинические и производственные апробации (250 пациентов, пищевые производства).
- Расширение числа вузов и институтов, участвующих в совместных исследованиях – коллаборация.

Ограничения и точки роста:

- Недостаточная стадия промышленного масштабирования (TRL преимущественно 3–6).
- Ограниченная интеграция встроенных ИИ-алгоритмов непосредственно в микроконтроллеры.
- Недостаточное количество международных клинических валидирующих исследований.
- Требуется развитие стандартов калибровки и межлабораторной воспроизводимости.
- Малое число и неравномерность поддержки грантами.

Сопоставление с мировым уровнем показывает, что по научной новизне работы соответствуют международным исследованиям, а в области температурной модуляции металлоксидных сенсоров и алгоритмов многомерной калибровки находятся на конкурентоспособном уровне. В сегменте мультисенсорных ИИ-платформ пока наблюдается отставание от ведущих китайских и американских разработок в части интеграции edge-AI.

Российские исследования демонстрируют высокий фундаментальный уровень, однако дальнейшее развитие требует усиления промышленной интеграции, клинической валидации и масштабирования производства.

Перспективы: внедрение ИИ на уровне встроенной электроники, создание автономных сенсорных платформ, сертификация медицинских технологий и расширение международной кооперации.

Сравнительная таблица разработок 2025 года

Направление	Объект анализа	LOD / чувствительность	Время анализа	TRL (оценка)	Мировая конкурентоспособность
ПВС–магнетит сенсоры	Глюкоза, фруктоза	7.9–11 мМ	Минуты	4–5	Академический уровень
ПММА–Au/Ag мультисенсоры	Антибиотики, тиоцианаты	мМ–мкМ	Минуты	5–6	Высокая (Q1 публикации)
Импринтированные белки	Arg, MC-LR	0.5–2 нг/мл	Часы (КТФА)	4–5	Высокая (инновационный подход)
Электронный нос (кровь)	ЛОС крови	Паттерн-анализ	60 с	6	Высокий прикладной потенциал
Металлоксидные сенсоры	H ₂ , H ₂ S, CO	ppm-уровень	Секунды	5–7	Конкурентоспособны
Бумажные тест-системы	Кверцетин, антибиотик и	нг–мг/мл	Минуты	4–5	Нишевые рынки

Наноаналитика

В 2025 году число отчетов в разделе «Наноаналитика» по сравнению с прошлым годом не изменилось, но сократилось в 2 раза по сравнению в 2023 годом. Можно предположить, что работы в этом направлении либо не расширяются, либо некоторые, постоянно работающие группы, в СГУ, МГУ, ГЕОХИ РАН, СПбГУ, Казанском (Приволжском) ГУ, Липецком ГТУ свои результаты в данный раздел отчета не представили. Возможно, что эти результаты направлены в разделы, посвященные методам или объектам анализа. Из представленных отчетов можно отметить некоторые новые

аспекты в области наноаналитики, в частности, не имеющий аналогов новый подход к изучению магнитных наночастиц методом термолинзовой спектроскопии, развиваемый группой проф. Проскурнина М.А. в МГУ, и сравнение сорбционных свойств магнитных наночастиц и нановолокон (Саратовский ГУ), а также сорбентов на основе углерода (ИПТМ и особо чистых материалов РАН). Мировому тренду соответствуют и сравнение восстановительных свойств флавоноидов, полученных из разных видов природного растительного сырья.

С.Н. Штыков

1. Методом химического соосаждения синтезированы магнитные наночастицы магнетита (МНЧ), модифицированные поверхностно-активным веществом бромидом цетилтриметиламмония (ЦТАБ). Средний размер МНЧ $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ ЦТАБ по методу динамического рассеяния света составил 286 ± 23 нм. Модификация МНЧ катионами ЦТАБ позволила улучшить их полидисперсность, величина дзета-потенциала составила +33 мВ (рН 3).

Исследованы сорбционные свойства на МНЧ $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ ЦТАБ двух синтетических лекарственных статинов 3-4 поколений розувастатина и флувастатина, применяемых для понижения в организме человека содержания холестерина. Определены оптимальные условия их адсорбции из водных сред. Установлено, что наибольшая степень извлечения розувастатина, близкая к 100%, наблюдается для массы сорбента 1.9 мг, при концентрации розувастатина 3 $\mu\text{моль/л}$ и времени контакта фаз 2 мин. Полная десорбция достигается в течении 5 минут при объеме элюента (ацетонитрила) 2 мл.

Установлено, что степень извлечения флувастатина, близкая к 100%, наблюдается при массе сорбента 0.81 мг, при его концентрации 3 $\mu\text{кг/мл}$ и времени контакта фаз 6 мин. Полная десорбция происходит в течении 2 минут при объеме элюента (ацетонитрила) 1.5 мл.

Определены коэффициент концентрирования (К) и логарифм константы распределения ($\lg D$) при степени извлечения 100%, равные $K 2.0 \cdot 10^3$ и $\lg D 6.12$ для розувастатина и $3.33 \cdot 10^4$, 4.98 для флувастатина, соответственно. Проанализированы 3 модели сорбции обоих статинов и показано, что природа сорбции определяется моделью Ленгмюра. Проанализированы 3 модели кинетики сорбции и показано, что лучше всего эксперименту отвечает кинетическая модель псевдо-второго порядка. При пяти температурах изучена термодинамика сорбции и показано, что процесс протекает самопроизвольно, некоторый вклад в процесс сорбции вносит энтропийный фактор.

Штыков С.Н., д.х.н., shtykovsn@mail.ru; Саврасова В.И., аспирант, (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, кафедра аналитической химии и химической экологии).

2. Методом химического осаждения получены магнитные наночастицы магнетита (МНЧ, Fe_3O_4), модифицированные биосовместимыми полимерами полиэтиленгликолем (PEG) и хитозаном (CS). Методом электроформования

получены полиамидные (РА) нановолокна. Изучены сорбционные свойства МНЧ и нановолокон по отношению к некоторым синтетическим пищевым азокрасителям (тартразин (TRT), желтый солнечнозакатный (SY), азорубин (AR) и Понсо 4R (P-4R)). Удельная поверхность сферических магнитных наночастиц (7.5 ± 0.2 нм, ТЭМ) и электроформованных нановолокон полиамида (диаметр 52 ± 3 нм до 104 ± 11 нм, СЭМ) составила $101 \text{ м}^2/\text{г}$ (МНЧ) и $44 \text{ м}^2/\text{г}$ (РА). Сорбция в оптимизированных условиях (рН, время, масса сорбента) показала 95–99% извлечения красителей. Изучена кинетика сорбции и показан псевдо-второй порядок процесса. Для $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{PEI}$ максимальная сорбционная емкость (мг/г) составила 150 (SY), 151 (AR), 176 (TRT) и 204 (P-4R); для $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CS}$ — 57 (SY), 104 (TRT), 139 (P-4R) и 142 (AR); для РА — 28 (AR), 31 (TRT), 33 (P-4R) и 39 (SY) в рамках модели Ленгмюра.

Arzhanukhina A.I., Andreeva K.O., Kerimova A.M. et al. Comparative adsorption of food azo dyes using magnetite nanoparticles and electrospun nanofibers. Colloid Polym Sci (2025). <https://doi.org/10.1007/s00396-025-05492-7>.

Штыков С.Н., д.х.н., shtykovsn@mail.ru; Русанова Т.Ю., д.х.н.; Андреева К.О. (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, кафедра аналитической химии и химической экологии).

3. Синтезированы серебряные наночастицы с помощью экстрактов из цветков, стеблей и листьев топинамбура, полученных под воздействием ультразвука. Проведен хроматографический анализ и установлен качественный углеводный состав и присутствие флавоноидов в экстрактах топинамбура. Проведена сравнительная оценка антиоксидантной активности экстрактов топинамбура и серебряных наночастиц, синтезированных с их участием. Установлено, что более высокая антиоксидантная активность экстракта из цветков топинамбура по сравнению с экстрактом из листьев и стеблей топинамбура обеспечила бóльшую фракцию мелких частиц серебра со средним гидродинамическим радиусом 54 нм и в 1.5 раза бóльшую антиоксидантную активность серебряных наночастиц, которая была оценена потенциометрическим методом.

Индустрия питания. 2025. Т. 10, №2. С. 75-80. DOI 10.29141/2500-1922-2025-10-2-8.

Бухаринова М.А., к.х.н., mbuharinova@mail.ru; Стожко Н.Ю., д.х.н., sny@usue.ru (Уральский государственный экономический университет, кафедра физики и химии. Екатеринбург).

4. Наночастицы оксида цинка (ZnO NPs) синтезированы с помощью экстрактов из листьев растений (слива, крыжовник, черная смородина, земляника, облепиха). Изучено влияние антиоксидантной активности экстрактов растений, рН среды синтеза и концентрации соли-прекурсора на размерные характеристики и каталитическую активность ZnO NPs. Для характеристики наночастиц применяли методы УФ-видимой спектроскопии, просвечивающей электронной микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Каталитические свойства наночастиц

оценивали по разложению красителя метиленового синего (МС) под действием УФ-излучения. Установлено, что с увеличением антиоксидантной активности растительных экстрактов и рН среды при синтезе уменьшается размер ZnO NPs и возрастает их фотокаталитическая активность. Самые мелкие ($d=13$ nm), однородные по размеру (индекс полидисперсности 0.1) и каталитически активные ZnO NPs с малой шириной запрещенной зоны (2.85 эВ) были получены при использовании экстракта облепихи с наибольшей антиоксидантной активностью, рН 10 среды и концентрация соли-прекурсора – 0.1 М $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$. С использованием синтезированных ZnO NPs и оптимизированных условий была достигнута 96% эффективность фотодegradации красителя метиленового синего в воде под действием УФ излучения за 120 минут. ZnO NPs, полученные по простой, быстрой, экологически чистой зеленой технологии, рекомендованы для эффективной очистки водных ресурсов от опасных органических загрязнителей.

Статья направлена в журнал «Chemical Engineering» изд-ва MDPI.

Колотыгина В.Ю., nalivnusha.app@gmail.com; Стожко Н.Ю., д.х.н., sny@usue.ru (Уральский государственный экономический университет. кафедра физики и химии. Екатеринбург).

5. Сравнены возможности различных углеродных материалов: углеродных нанотрубок (УНТ), магнитных наносорбентов с УНТ (УНТ@МНЧ) и активированного угля (АУ) в качестве сорбентов токсичных и благородных металлов металлов: Ве (II), Вi (III), Cd (II), Cr (III) и Рb (II) Ag(I), Au(III) и Pd(II) из водных сред.

Изучен механизм сорбции МНЧ на УНТ в корреляции с морфологией УНТ, зависящей от условий синтеза. Продемонстрировано значительное преимущество сорбентов с УНТ над АУ, а также УНТ@МНЧ перед индивидуальными УНТ по отношению ко всем изученным сорбатам не только для разделения твёрдой и жидкой фаз в магнитной твёрдофазной экстракции (МТФЭ), но и в проявлении дополнительных возможностей использования УНТ любой морфологии независимо от условий их синтеза.

Гражулене С.С., д.х.н., grazhulene@mail.ru; Золотарёва Н.И., к.х.н., (Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, экспериментально-технологическая лаборатория. Черноголовка).

6. Систематизированы способы получения высокоэффективных пьезосенсоров паров ЛОС на основе квантовых точек сульфида кадмия в хитозане (оптимальный защитный агент) за счет их модификации хроматографическими сорбентами, макромолекулами, экстрактами БАВ, которые позволяют управлять селективностью сенсоров. Полученные композиты на 1-2 порядка повышают чувствительность сенсоров, позволяют существенно сдвигать предельную массу нагрузки на высокочастотный пьезоэлемент. Показана перспективность подхода для сокращения времени измерения и регенерации системы. Подход защищен патентом на изобретение.

Kuchmenko T.A., Umar Khanov R.U., Zvyagina O.V. Development of multiple analytical labels for volatile organic compounds based on the results of sorption on CdS quantum dots in chitosan without and with modification by Rhodamine 6G // Journal of Analytical Chemistry. 2025. T. 80. № 2. С. 327-338.

Способ синтеза модифицированных квантовых точек сульфида кадмия (ВГУИТ) Патент на изобретение RU 2838782 C1, 22.04.2025. Заявка № 2024111731 от 27.04.2024. Кучменко Т.А., Хмелевская Т.Н., Умарханов Р.У., Узбеков Э.З., Вандышев Д.Ю.

Кучменко Т.А., д.х.н., tak1907@mail.ru; Умарханов Р.У., rus_270487@mail.ru; Хмелевская Т.Н.; Узбеков Э.З.; Вандышев Д.Ю. (Воронежский государственный университет инженерных технологий; Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко).

7. Тепловые и оптические свойства водных дисперсий наночастиц магнетита изучены с помощью двухлучевой термолинзовой спектроскопии. Поверхностно модифицированные наночастицы магнетита со средним размером 7,5 нм синтезированы с помощью простого одноступенчатого метода совместного осаждения, за которым следовала поверхностная функционализация. Для этой цели использовали самые известные и перспективные модификаторы на основе поверхностно-активных веществ, полиэлектролитов, биополимеров и органических кислот. Изучалось влияние концентрации наночастиц (от 0.01 до 5 мг/л) и характер модификатора поверхности на температуропроводность дисперсии. Установлено, что при концентрациях 0.4–0.6 мг/л дисперсии обладают теплоаккумулирующими свойствами, что может быть перспективно для создания магнитноуправляемой теплопроводящей жидкости. Термолинзовая спектроскопия в стационарном режиме измерения использована для выявления процессов осаждения и адсорбции наночастиц магнетита на поверхности кварцевой ячейки, что привело к видимому увеличению тепловой диффузии более чем на 30%. Отношение изменения стационарных термолинзовых сигналов к изменению концентрации ($d\theta/dc$) позволяет выявить систематическую погрешность термолинзовых измерений на низком уровне (менее 5%), вызванную высокой концентрацией (или оптическим поглощением) объекта. Рассмотрены различные варианты нормализации сигнала (с точки зрения мощности, поглощения и чисто растворимого сигнала), а также обсуждаются их преимущества и недостатки. Предлагается подход к использованию температуропроводности как функции стационарного сигнала образца. Этот подход позволяет проводить сравнительный термолинзовый анализ объектов с разными оптическими и тепловыми свойствами.

Khabibullin V.R., Ratova D.-M.V., Andreeva K.O., Vershinina Y.S., Mikheev I.V., Shtykov S.N., Proskurnin M.A., Photothermal evaluation of aqueous magnetite nanodispersions: Accuracy, precision, and limitations. // Molecules, 2025 V. 30(20) Article 4084. DOI: 10.3390/molecules30204084.

Проскурнин М.А., д.х.н., proskurnin@gmail.com; Хабибуллин В.Р., vladhab1995@gmail.com; Михеев И.В., mikheev.ivan@gmail.com (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии,

НИЛ спектроскопических методов анализа; Саратовский национальный исследовательский государственный университет, кафедра аналитической химии и химической экологии).

8. Изучено влияние различных катехоламинов на люминесцентные свойства кремниевых наночастиц (SiNPs). В присутствии катехоламинов происходит изменение спектральных свойств наночастиц, зависящее от природы вещества: дофамин вызывает снижение интенсивности люминесценции SiNPs при 445 нм; в присутствии норадреналина и адреналина в спектре люминесценции SiNPs появляется максимум люминесценции при 500 и 510 нм соответственно. Интенсивность при 445 нм или соотношение интенсивностей при 500 (510) нм и 445 нм можно использовать как аналитические сигналы при определении соответствующих катехоламинов. Пределы обнаружения дофамина, норадреналина и адреналина составили 2, 0.06 и 0.14 мкМ, соответственно. Предложенный способ определения катехоламинов применим для анализа лекарственных препаратов. SiNPs представляют собой перспективную «зеленую» альтернативу многим другим аналитическим реагентам для определения катехоламинов.

Vasilyeva A.A., Holmanskikh D.D., Fokina A.S., Matiash M.V., Kolesnik I.V., Maksimov S.V., Apyari V.V., Dmitrienko S.G. Silica nanodots: Luminescent effects and insights for the determination of catecholamines. // J. Photochem. Photobiol. 2025. V. 459. Article 116034. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2024.116034.

Матяш М.В., к.х.н., masha13_1992@mail.ru; Апяри В.В., д.х.н., apyari@mail.ru; Дмитриенко С.Г., д.х.н., s.g.dmitrienko@yandex.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, НИЛ комбинированных и гибридных методов анализа).

Хемометрика. Математизация химического анализа

Внедрение инструментов машинного обучения во все сферы химической науки за последние пять лет приобрело весьма масштабный характер. Российские аналитики не отстают от мировых трендов в этой области и 2025 год отмечен появлением некоторых очень интересных и перспективных прикладных исследований в этой области. Традиционно сильной в работах российских аналитиков является и теоретическая сторона хемометрики – предложены новые алгоритмы классификации и выбора переменных в одномерных данных. Ниже приведено краткое описание наиболее интересных отечественных работ в области хемометрики.

Д.О. Кирсанов

1. Разработки в области новых хемометрических алгоритмов

Научная группа Померанцева А.Л. и Родионовой О.Е. (Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН) в 2025 году опубликовала ряд статей в ведущих международных журналах (Q1) в

области аналитической химии. Работы описывают новые подходы к выбору выборок для валидации моделей и улучшенные алгоритмы как для отбора переменных в одноклассовой классификации (LOVE), так и для многоклассовой классификации на основе дискриминантного анализа (ранжированный PLS-DA).

В работе [10.1016/j.microsc.2025.114955] рассматривается проблема «порочного круга» при разделении данных на обучающие и тестовые выборки с помощью методов, основанных на использовании скрытых подпространств (например, пространств главных компонент). Суть проблемы заключается в том, что для применения такого метода требуется заранее знать размерность скрытого пространства (число скрытых переменных), но её нельзя определить без тестовой выборки. Авторы исследуют эту проблему с помощью индекса важности выборки (SI), предложенного ранее этой группой (Microchemical J., 2023, 190, 108654). Показано, что «порочный круг» удаётся разорвать, используя средний SI, рассчитанный путём усреднения по диапазону релевантных размерностей. На модельных и реальных данных показано, что наиболее важные образцы, определяющие качество отобранной выборки, сохраняют этот статус при варьировании размерности скрытого пространства. Метод на основе среднего SI не уступает подходу с фиксированной размерностью, а зачастую превосходит его. Также в статье упомянуты редкие случаи, когда средний SI невычислимы, и приведены рекомендации относительно подобных ситуаций.

В работе [10.1016/j.microsc.2025.113329] предложен новый метод «мягкой» классификации для образцов, которые можно ранжировать на классы «низкий», «средний» и «высокий» по величине прогнозируемой характеристики. Ранжированный PLS-DA относится к вероятностным подходам и позволяет использовать ROC-кривую в анализе данных, что редко встречается для многоклассовой классификации. В приведенных в статье примерах из пищевой химии и медицины также были подчеркнуты ключевые проблемы машинного обучения: интерпретируемость, ошибки разметки данных и эффективность моделей. Авторами отмечено, что глубокое понимание важнее глубокого обучения, что часто игнорируется в задачах классификации.

В статье [10.1016/j.asa.2025.344302] описан улучшенный алгоритм отбора переменных для одноклассовой классификации («один против всех»). Алгоритм LOVE (Leave One Variable Excluded) относится к оберточным методам (wrapper) и позволяет пользователю самостоятельно принимать решения по исключению тех или иных переменных на одном из этапов, что отличает его от полностью автоматических методов, интерпретация решений которых часто затруднена. Работа алгоритма показана на четырех наборах данных от различных физико-химических методов анализа. Продемонстрировано, что алгоритм LOVE повышает производительность классификатора, предотвращает переобучение и улучшает стабильность модели, корректирует выбросы без их удаления и обеспечивает более понятную интерпретацию модели.

Pomerantsev A. L., Rodionova O. Y. Subset selection: Breaking the vicious circle //Microchemical Journal. – 2025. – С. 114955.

Pomerantsev A. L., Rodionova O. Y. A new method for soft probabilistic discrimination of ranked classes //Microchemical Journal. – 2025. – Т. 212. – С. 113329.

Pomerantsev A. L., Kucheryavskiy S., Rodionova O. Y. Variable selection for one class classifiers. Introduction of LOVE //Analytica Chimica Acta. – 2025. – С. 344302.

Померанцев А.Л., д. ф.-м. н., г.н.с., alexey.pomerantsev@gmail.com (Федеральный исследовательский центр химической физики им.Н.Н.Семенова РАН).

2. Прогноз индексов удерживания структурно близких соединений.

В работе [10.1021/acs.jcim.5c02096] (Q1) с помощью алгоритмов машинного обучения был спрогнозирован порядок элюирования структурно близких замещенных флавонов – метаболитов растений. Применение машинного обучения позволяет эффективно автоматизировать аннотацию пиков благодаря нахождению зависимостей «структура – время удерживания». В данной работе были построены четыре модели машинного обучения для предсказания порядка элюирования пар производных флавоноидов, содержащих агликон флавона с гидроксид- и метокси- заместителями. Были сформированы два набора данных из литературных источников: 51 соединение (1275 пар) и 48 соединений (356 пар). Эти данные использовались для сравнения стратегий обучения моделей, а также их валидации с помощью внутреннего и внешнего тестового набора. Для кодирования структурных особенностей флавонового скелета и его заместителей был разработан молекулярный «отпечаток», что позволило оптимизировать представление молекулярных структур этого распространённого класса фитохимических веществ.

Ранжирующие нейронные сети с двумя вариантами функций потерь – бинарная кросс-энтропия и маргинальное ранжирование – использовали в качестве входных данных упрощённую версию молекулярного «отпечатка», в то время как логистические регрессии были обучены как на сжатом (20-битным), так и на расширенном (92-битным) вариантах представления данных, учитывающих взаимодействие заместителей. Ошибки прогнозирования порядка элюирования в попарном сравнении составили менее 10% в большинстве случаев, демонстрируя высокую точность моделей в условиях обращенно-фазовой жидкостной хроматографии в градиентном режиме (растворитель: ацетонитрил). Статистически значимое, хоть и небольшое превосходство линейной регрессии было подтверждено критериями Фридмана и Вилкоксона. Несмотря на сопоставимые общие метрики, предпочтительнее оказался большой однородный набор данных по сравнению с фрагментарными выборками из опубликованной литературы. Визуализация весов моделей выявила положительное и отрицательное влияние на время удерживания гидроксид- и метоксигрупп в различных положениях, а также их взаимодействия.

Rozanov I., Stavrianiidi A., Buryak A. Machine Learning for Group-Targeted Elution Order Prediction: Substituted Flavones as a Case Study //Journal of Chemical Information and Modeling. – 2025. – Т. 65. – №. 23. – С. 12786-12798.

Ставрианиди А.Н., д. х. н., доцент, stavrianiidi.andrey@gmail.com (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет).

3. Характеристика и сравнение новых хроматографических стационарных фаз. В работе [10.1002/cem.70019] изучались хроматографические стационарные фазы в смешанном режиме и режиме HILIC. С помощью метода анализа главных компонент, иерархического кластерного анализа и алгоритма k средних сравнивались хроматографические свойства 27 мономер- и полимерно-модифицированных стационарных фаз, синтезированных по реакции Уги для режима HILIC. Для этих фаз, включая немодифицированный субстрат, были найдены коэффициенты удерживания для 33 полярных биологически активных соединений различных классов (нуклеобазы/нуклеозиды, сахара, карбоновые кислоты, водорастворимые витамины). Было показано, что полимер-модифицированные фазы со смешанным механизмом существенно отличаются от мономерных – два типа фаз были четко разделены на графике счетов главных компонент. Различия среди мономер-модифицированных фаз позволили выявить оптимальные условия реакции Уги для получения сорбентов с уникальными хроматографическими характеристиками. Также отмечено, что для каждой выборки тестовых соединений потребовался специфический состав подвижной фазы для достижения приемлемых времен удерживания и формы пиков. Для исключения длительной стадии установления равновесия при смене подвижной фазы был предложен упрощённый набор из трёх тестовых соединений, дающий практически идентичные результаты кластеризации по сравнению с полным массивом данных. Эта упрощённая процедура ускоряет характеристику новых стационарных фаз и облегчает их сравнение с ранее изученными.

Shemiakina A. et al. Getting Insights Into Chromatographic Properties of HILIC and Mixed-Mode Homemade Stationary Phases Using Principal Component and Cluster Analyses //Journal of Chemometrics. – 2025. – Т. 39. – №. 3. – С. e70019.

4. Прогнозирование спектральных характеристик полициклических ароматических углеводородов. Работа в высокорейтинговом журнале Journal of Chemical Information and Modeling (Q1) [10.1021/acs.jcim.5c00372] посвящена прогнозированию спектральных характеристик полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) – ключевых аналитов в исследованиях в областях астрономической химии, экологического мониторинга и химии горения. Проблема интерпретации спектров усложняется сходством полос поглощения нейтральных и заряженных молекул в смесях, а расчёты ab initio слишком вычислительно затратны для масштабирования. Предложены две модели машинного обучения: градиентный бустинг XGBoost, обученный на отпечатках Моргана,

и графовая нейронная сеть, использующая графовые представления молекул. Заряды молекул учитывались путём добавления их кодировок к молекулярным дескрипторам. Обе модели показали отличные прогнозирующие способности, впервые обеспечив быстрый и точный расчёт ИК-спектров заряженных ПАУ. Наибольшая точность была достигнута для алгоритма XGBoost, тогда как графовая нейронная сеть продемонстрировала свою перспективность для дальнейшего развития благодаря преимуществам графовых представлений. Также авторами обсуждаются проблемы в данной области, в частности, дефицит данных по гетероатомным ПАУ, и предлагаются пути их преодоления. Высокая производительность моделей подтверждает потенциал машинного обучения как альтернативы дорогим квантово-механическим расчётам для интерпретации сложных ИК-спектров в аналитической химии.

Beglaryan B. G. et al. Toward Accurate PAH IR Spectra Prediction: Handling Charge Effects with Classical and Deep Learning Models //Journal of Chemical Information and Modeling. – 2025. – Т. 65. – №. 10. – С. 4854-4865.

Лабутин Т. А., к.х.н., доцент, timurla@mail.ru, МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра лазерной химии).

5. Криминалистический анализ лаковых покрытий. Научная группа Монаховой Ю.Б. (Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского; Университет прикладных наук Ахена, Германия) в 2025 представила работы, посвященные практическому использованию хемометрических подходов, в частности, в криминалистике [10.1016/j.talo.2025.100563]. При автомобильных авариях следы краски, оставленные на месте преступления, играют ключевую роль в расследовании. Особый интерес вызывает прозрачный лаковый слой, поскольку он чаще всего откалывается при столкновении автомобилей и обнаруживается криминалистами. Метод ИК-Фурье спектроскопии с НПВО в сочетании с хемометрикой показал высокую эффективность для криминалистического анализа прозрачных покрытий, что было продемонстрировано на наборе из 125 образцов. Модель на основе дискриминантного анализа (PLS-DA) позволила классифицировать образцы с чувствительностью 95% и специфичностью 100% для внешней тестовой выборки (точность – 92%). Анализ независимых компонент с 6 скрытыми переменными был применен для интерпретации полученных результатов и позволил выявить химические особенности покрытий, ответственные за разделение классов. Высокая точность и интерпретируемость обученной модели подтверждают потенциал ИК-Фурье спектроскопии и хемометрики для классификации прозрачных автомобильных покрытий различных производителей.

Ilicheva P. M. et al. Rapid forensic characterization of automotive clear coats by ATR-FTIR combined with chemometrics //Talanta Open. – 2025. – С. 100563.

Монахова Ю.Б., д.х.н., yul-monakhova@mail.ru (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, Институт химии, кафедра общей и неорганической химии).

6. Рекуррентные соотношения для прогноза температур плавления гомологов. Установлено, что рекуррентные соотношения второго порядка вида $A(n+2) = aA(n) + b$ обеспечивают линейную аппроксимацию альтернирующих значений температур плавления гомологов разных рядов. Это открывает возможность оценки температур плавления высших гомологов по данным для предшествующих членов рядов. Процедура поиска ошибочных записей в базах данных по индексам удерживания.

Зенкевич И.Г., д.х.н. izenkevich@yandex.ru (Санкт-Петербургский государственный университет. Институт химии, кафедра органической химии).

7. Прогнозирование микробиологического загрязнения молока на основе отклика газовых сенсоров. Проведено исследование по обработке выходных данных сенсоров с поликомпозиционными покрытиями при анализе газовой фазы сырого молока и получения аналитической информации о его общем микробиологическом загрязнении, содержании дрожжей и плесени, а также наличии патогенных микроорганизмов с помощью методов хемометрики. Для прогнозирования микробиологических показателей качества молока использовались метод регрессии методом частичных наименьших квадратов и квадратичный дискриминантный анализ. Предложен алгоритм выделения значимых участков хроночастотограмм для оценки микробиологических показателей. Показано, что информативные участки хроночастотограмм в моделях для прогнозирования микробиологических показателей можно использовать без дополнительной корректировки (только нормирование на аналитический сигнал сенсоров для пробы воды). Для учета влияния изменения матрицы пробы молока в процессе контаминации также были учтены расчетные параметры сенсоров, коррелирующие со значениями рН и общей электропроводности проб молока. Показано, что выбор метода для обработки данных сенсоров зависит от задачи. Получена модель прогнозирования микробиологического загрязнения молока (КМАФАнМ) с погрешностью $0,342 \log(\text{КОЕ/мл})$. Показано, что чувствительность классификации образцов молока по наличию или отсутствию патогенных микроорганизмов с использованием дискриминантного анализа составляет 67%, а специфичность — 100% при использовании рассчитанных параметров матрицы сенсоров.

Грант РФФ №22-76-10048; <https://doi.org/10.1002/cem.70007>

Шуба А.А., к.х.н. an-mishina@yandex.ru; Кучменко Т.А., д.х.н. tak1907@mail.ru; Умарханов Р.У., rus_270487@mail.ru; Богданова Е.В., ek-v-b@yandex.ru; Анохина Е.П. katya_anoh@mail.ru; Инна Буракова, vitalovai@inbox.ru (Воронежский государственный университет инженерных технологий, кафедра физической и АХ).

8. Оптимизация условий синтеза полимеров с молекулярными отпечатками. Предложено использование методологии поверхности отклика для оптимизации условий синтеза молекулярно импринтированного полианилина (ПАНИ). Впервые предложена методология синтеза ПАНИ,

селективного одновременно к двум шаблонам - низко- и высокомолекулярным соединениям. Обсуждена роль пероксидазы хрена в процессе полимеризации анилина. Прогнозирование оптимальных условий синтеза, позволило предсказать высокую селективность полианилина к кверцетину (фактор импринтинга 2,4). Предсказанные оптимальные условия использовали для получения импринтированного полианилина на поверхности предварительно модифицированного полианилином микропланшета. Показана возможность твердофазной экстракции кверцетина и пероксидазы хрена с высокой селективностью (фактор импринтинга 2,3 и 24,6) в модельных растворах. Сорбционная емкость составила 0,7 и 1,2 мг на 1 г полианилина для кверцетина и пероксидазы хрена, соответственно. Таким образом, результаты моделирования поверхности отклика хорошо согласуются с экспериментальными значениями фактора импринтинга

VD Gorlo, PS Pidenko, NA Burmistrova. Dual-Template Imprinted Polyaniline Designed by Response Surface Methodology. Journal of Separation Science 48 (2), e70091 <https://doi.org/10.1002/jssc.70091>.

Бурмистрова Н.А., д.х.н., naburmistrova@mail.ru (Саратовский национальный исследовательский государственный университет, Институт химии, кафедра общей и неорганической химии).

9. In vivo определение химического состава мочевых камней с помощью БИК спектроскопии и хемометрики. Разработан метод in vivo определения химического состава мочевых камней с помощью инфракрасной спектроскопии в ближней области (БИК спектроскопии) и хемометрики. Малоинвазивное хирургическое лечение мочекаменной болезни требует метода, позволяющего определить химический состав мочевых камней в режиме реального времени, интраоперационно. Детальный анализ камней возможен после операции, однако предварительная информация о составе камней полезна специалистам для выбора оптимальной стратегии лечения и назначения пациенту диетических рекомендаций или лекарственных препаратов. БИК спектроскопия с оптоволоконными зондами, которые совместимы с хирургическим оборудованием, позволяет определять химический состав конкрементов в реальном времени. Хемометрические алгоритмы справляются с расшифровкой сложных сигналов БИК-спектров. Показано, что БИК-спектрометрия в режиме диффузного рассеяния позволяет классифицировать интраоперационно три основных типа мочевых камней: оксалаты, ураты и фосфаты. Обученный и оптимизированный мультиномиальный классификатор (метод кодирования вывода с коррекцией ошибок) показал приемлемые показатели точности на независимой проверочной выборке: 94, 87 и 71% для оксалатов, уратов и фосфатов, соответственно.

Boichenko E et al. Classification of urinary stones using near-infrared spectroscopy and chemometrics: A promising method for intraoperative application// *Analytica Chimica Acta*. V 1354.8 June 2025, 344007. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2025.344007>.

Кирсанов Д.О., д.х.н., d.kirsanov@gmail.com (Санкт-Петербургский государственный университет. Институт химии, лаборатория прикладной хемометрики).

10. Неинвазивный скрининг рака почки и рака простаты с помощью мультисенсорной потенциометрии. Химический состав биологических жидкостей у здоровых людей и пациентов с диагностированными заболеваниями может существенно отличаться. Нами разработана простая потенциометрическая мультисенсорная система, способная отличать образцы мочи пациентов с раком предстательной железы, раком почки и людей из контрольной группы. Сенсоры реагируют на общий ионный состав образцов и обеспечивают характерные паттерны отклика для дальнейшей обработки. Было проанализировано 116 образцов мочи: 39 от пациентов с диагностированным раком простаты, 38 от пациентов с диагностированным раком почек и 39 от группы контроля. Сенсорные отклики использовались в качестве исходных данных для различных методов машинного обучения: логистической регрессии (LR), метода ближайших соседей (kNN), классификатора XGBoost (XGBC), случайного леса (RF) и машины опорных векторов (SVM). Классификатор SVM демонстрирует наивысшую точность классификации 77% при различении образцов мочи от пациентов с раком почки / группой контроля и точность 79% при различении образцов от пациентов с раком простаты / группой контроля. Мультисенсорная система способна также дифференцировать образцы от пациентов с различными онкологическими заболеваниями, такими как рак почки и рак предстательной железы, с точностью 87% при использовании метода классификации RF. Учитывая неинвазивность предложенного подхода, метод, будучи должным образом валидирован с использованием внешних данных на большем количестве образцов, может стать многообещающим инструментом для одновременного скрининга рака почки и рака предстательной железы. После идентификации подозрительных образцов с помощью потенциометрической системы они могут быть дополнительно верифицированы стандартными клиническими диагностическими протоколами.

Yuskina E., et al. Microchemical Journal, Approach to non-invasive screening of kidney and prostate cancer via potentiometric multisensor urine analysis and machine learning, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.115589>.

Кирсанов Д.О., д.х.н., d.kirsanov@gmail.com (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, лаборатория прикладной хемометрики).

11. Перенос многомерных градуировочных зависимостей между рентгенофлуоресцентными спектрометрами с волновой и энергетической дисперсией. Несмотря на широкое применение методов переноса калибровочных моделей в спектроскопии, использование этого подхода для спектрометров рентгеновской флуоресценции практически не изучено. В работе нами показана возможность переноса регрессионных моделей между разными спектрометрами: энергодисперсионными (EDX) в

разных условиях и волновыми дисперсионными (WDX). Образцы руд металлов были использованы в качестве примера. Сравнивались три алгоритма переноса модели (прямая стандартизация, кусочно-прямая стандартизация и коррекция наклона и смещения) для количественного определения Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO и Fe_2O_3 . Кусочно-прямая стандартизация в большинстве случаев обеспечивает наилучшие результаты с точки зрения точности прогноза на тестовом наборе данных с перенесенными моделями. Например, прямое использование данных EDX в модели WDX увеличивает ошибку количественного анализа в десять раз (с 5,34% для ВДХФ до 52,75% для сырых данных EDX в диапазоне от 0,03 до 97,52%), что абсолютно неприемлемо даже для полуколичественного анализа. Перенос модели позволяет снизить ошибку до уровня оригинальной модели WDX (ошибка количественного анализа для данных EDX после прямой стандартизации составляет 5,09%). Исследование демонстрирует большой потенциал методов переноса многомерных градуировок в рентгенофлуоресцентной спектрометрии.

Работа опубликована в журнале Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107373>.

Панчук В.В., д.ф.-м.н., vitpan@mail.ru (Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург).

12. Показана возможности программ MZmine, XCMS, MS-DIAL, iMet-Q и Peakonly для анализа результатов нецелевого анализа мочи онкологических больных и здоровых добровольцев с использованием сверхвысокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией высокого разрешения. Интеграция пиков сопоставима с ручной интеграцией в случае MS-DIAL, MZmine и Peakonly, а программы MS-DIAL и XCMS предпочтительны для идентификации.

Gashimova, E. et al. Comparison of various data preprocessing software for untargeted urinary metabolomics using UHPLC-HRMS to diagnose cancer // Iran Journal of Computer Science. 2025. Vol. 8. Is. 4.P. 2909-2923.

Темердашев А.З., д.х.н., TemerdashevAZ@gmail.com (Кубанский государственный университет, кафедра аналитической химии, Краснодар).

13. Проведена теоретическая оценка необходимых объемов обучающих выборок для построения надежных моделей с высокими обобщающими свойствами. На практическом примере показано влияние структурных особенностей данных на прогностические свойства нейронных сетей при решении задачи классификации.

Халафян А.А. и др. Влияние кластерной структуры данных на прогностические свойства нейросетевой модели // Искусственный интеллект и принятие решений. 2025. № 2. С. 19-31.

Дискриминантный анализ элементного состава вин показал наличие кластерных структур относительно сортового и регионального происхождения, что позволило разработать модели идентификации.

Классификационные модели были построены с использованием методов машинного обучения.

Khalafyan, A. et al. Identification of varietal and geographical origin of wines using artificial intelligence methods // Discover Food. 2025. Vol. 5. Is. 1. № 219.

Пять различных методов МО, характеризующихся разными функциональными возможностями, использованы для прогнозирования сенсорной оценки 150 образцов вина по содержанию аминокислот, летучих соединений, общего содержания высших спиртов, уксусной кислоты и фурфурала. Показано, что методы машинного обучения могут успешно применяться к меньшим наборам данных, в частности, для прогнозирования сенсорной оценки вина на основе его компонентного состава.

Khalafyan, A. et al. Assessment of the sensory properties of wines using artificial intelligence technologies // ACS Food Science and Technology. 2025. Vol. 5. Is. 7.P. 2691-2700.

Темердашев З.А., д.х.н., temza@kubsu.ru (Кубанский государственный университет, кафедра аналитической химии, Краснодар).

14. ¹METLIN SMRT представляет собой широко используемый набор данных времен удерживания для высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Ранее разработанный нами подход к поиску ошибочных записей в химических базах данных был адаптирован и применен к METLIN SMRT. Подход основан на использовании пяти предсказательных моделей (GNN, CNN, FCFP, FCD и CatBoost). Времена удерживания были предсказаны для всего набора данных с использованием стратегии 5-кратной кросс-валидации. Записи, для которых времена удерживания существенно отличались от предсказаний, полученных с помощью данной модели (худшие 5%), помечались «жёлтой карточкой». Эта процедуру повторяли для каждой модели, в результате чего была получена группа, содержащая около 1500 записей (или порядка 2% набора данных), имеющих 5 «жёлтых карточек». Согласно нашей оценке (основанной на анализе трендов и распределений для групп с различным числом «жёлтых карточек»), около 1200 записей с высокой вероятностью являются ошибочными, тогда как примерно 300 записей, вероятно, были предсказаны неточно. Данная работа демонстрирует применимость подхода и возможность его использования для повышения качества других химических баз данных.

Khrisanfov M., Matyushin D., Samokhin A. Finding potentially erroneous entries in METLIN SMRT // Journal of Chromatography A. Elsevier BV, 2025. Vol. 1745. P. 465761.

²Высокоуровневые языки программирования, такие как Python и R, широко используются для обработки данных масс-спектрометрии, где поиск по библиотекам является стандартной процедурой. Несмотря на наличие множества алгоритмов библиотечного поиска, наибольшее распространение по-прежнему имеют алгоритмы, разработанные NIST и реализованные в MS Search, отчасти потому, что коммерческие базы данных (например, NIST, Wiley) распространяются в проприетарных форматах, недоступных для

использования совместно с собственными реализациями алгоритмов. Утилита MSPerSearch, разработанная NIST, предоставляет доступ к тем же алгоритмам, что и MS Search, но с большей гибкостью в части автоматизации. Однако его применение требует вызова интерфейса командной строки с множеством флагов и последующего анализа текстовых файлов, содержащих результаты поиска. Нами был разработан пакет mspersearchr для языка R, упрощающий интеграцию библиотечного поиска по масс-спектральным базам данных, распространяемых в закрытом формате от NIST в сложные процедуры обработки данных. MSPerSearch является однопоточной утилитой, поэтому параллелизация была реализована путем запуска нескольких экземпляров утилиты из среды R.

Samokhin A., Khrisanfov M. High-Throughput Mass Spectral Library Searching of Small Molecules in R with NIST MSPerSearch // Journal of the American Society for Mass Spectrometry. 2026 (10.1021/jasms.5c00322)

^{1,2}Самохин А.С., к.х.н., andrey.s.samokhin@gmail.com, ^{1,2}Хрисанфов М.Д., ¹Матюшин Д.Д. (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра аналитической химии, лаборатория масс-спектрометрии ИФХЭ РАН, лаборатория «умных» методов химического анализа).

Метрология и стандартизация анализа

1. Проведены работы по аттестации методик измерений:

- НСАМ № 118-Х «Определение потери при прокаливании (ППП) в горных породах гравиметрическим методом» (ред. 2025 г., взамен ред. 2016 г.);
- НСАМ № 499-АЭС/МС «Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами» (ред. 2025 г., взамен ред. 2015 г.);
- НСАМ № 505-Х «Определение золота и серебра в горных породах, рудах и продуктах их переработки гравиметрическим методом после пробирного концентрирования» (ред. 2025 г., взамен ред. 2015 г.).

Для соблюдения требований п. 7.6 ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 в новых редакциях методик приведены бюджеты неопределенности (оценки значимых вкладов), а также в НСАМ № 505-Х (ред. 2025 г.) расширен диапазон измерений золота до 2000 г/т), в НСАМ № 499-АЭС/МС (ред. 2025 г.) оптимизирован алгоритм объединения результатов АЭС-ИСП и МС-ИСП.

Проведена экспертиза 61 комплекта документов по разработке стандартных образцов состава горных пород, руд благородных металлов и продуктов ее переработки, продуктов переработки руд полиметаллических и руд цветных металлов) с целью внесения в Отраслевой реестр стандартных образцов, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторных исследованиях при ГРП на ТПИ.

Лебедева М.И., главный метролог, lebedevami@vims-geo.ru (ВИМС).

2. Разработаны и выпущены новые комплексы стандартных образцов и мер для обеспечения единства измерений по приоритетным направлениям в целях технологического суверенитета Российской Федерации (шифр ОКР «Суверенитет»).

Актуальность работы связана с текущей геополитической ситуацией и потребностью в поэтапном переходе на отечественные рефератные материалы в области физико-химических измерений, что, в свою очередь, требует разработки и последующего выпуска на регулярной основе широкого перечня стандартных образцов (СО), не уступающих по своим метрологическим характеристикам зарубежным аналогам. СО широкой номенклатуры необходимы для обеспечения единства измерений в различных областях и удовлетворения потребностей народного хозяйства (пищевая и легкая промышленность, нефтехимия, агропромышленный комплекс, охрана окружающей среды и т.д.). Лишь разработка отечественных СО позволит обеспечить полноценный технологический (метрологический) суверенитет Российской Федерации.

Приоритетное направление научно-технологического развития Российской Федерации, относящееся к тематике ОКР «Суверенитет», - переход к передовым технологиям проектирования и создания высокотехнологичной продукции, основанным на применении интеллектуальных производственных решений, роботизированных и высокопроизводительных вычислительных систем, новых материалов и химических соединений, результатов обработки больших объемов данных, технологий машинного обучения и искусственного интеллекта. Полученный эффект от выполнения ОКР «Суверенитет» можно отнести к сквозной технологии - технологии производства малотоннажной химической продукции, включая особо чистые вещества, для фармацевтики, энергетики и микроэлектроники.

Разработанные СО и меры предназначены для применения в нефтехимической промышленности, охране окружающей среды, производстве химической продукции, обеспечении безопасных условий труда и научных исследованиях. Их внедрение позволит предотвратить снижение качества продукции и услуг в приоритетных направлениях: пищевая безопасность, энергетика, охрана здоровья человека и окружающей среды.

В период с 2023 по 2025 гг. разработано и запущено в серийное производство 138 новых типов СО и 43 новых типов мер, их них в 2025 году 61 новых типов СО и 21 новых типов мер. Комплекс СО включает в себя: летучие органические соединения (ЛОС) – 10 типов; алкилкарбонаты – 6 типов; искусственные подсластители – 6 типов; пестициды азотсодержащие – 11 типов; пестициды – пиретроиды – 2 типа; пестициды – имидазолы – 4 типа; органические кислоты – 4 типа; прочие органические компоненты – 4 типа; изотопы углерода, кислорода и водорода – 9 типов; газовые смеси в баллонах под давлением – 6 типов; ДНК - 6 типов; удельная электрическая проводимость – 8 типов; неорганические элементы, ионы и компоненты – 41 тип; водная суспензия черного углерода – 1 тип; фотометрия/спектрофотометрия – 4 типа; нитрозамины – 4 типа; биохимические материалы – 13 типов. Комплекс СИ (мер) включает в

себя: меры размеров частиц в водной среде – 10 типов; меры значений дзета-потенциала частиц в жидкости – 6 типов; меры счетной концентрации частиц в воде – 10 типов; меры счетной концентрации частиц в масле – 11 типов; меры для фотометрии/спектрофотометрии – 4 типа; меры для микроэлектроники – 2 типа.

Результаты работы соответствуют 9 уровню готовности технологии и поддерживают приоритетные направления научно-технологического развития Российской Федерации согласно Указу Президента № 529 (адаптация к изменениям климата, рациональное природопользование, технологии создания новых материалов и производства).

Крылов А.И., д.х.н., a.i.krylov@vniim.ru; Неклюдова А.А a.a.tsurko@vniim.ru (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, Санкт-Петербург).

3. НИР «Разработка метрологического обеспечения для определения жирнокислотного состава пищевой продукции», шифр: «Эфиры».

Актуальность работы обусловлена необходимостью решения проблемы обеспечения единства измерений жирнокислотного состава пищевой продукции, в том числе при подтверждении соответствия обязательным требованиям ТР ТС 021/2011, ТР ТС 024/2011, ТР ТС 027/2012, ТР ТС 033/2013, связанную с отсутствием в Российской Федерации стандартных образцов состава метиловых эфиров жирных кислот, необходимых для построения градуировочной (калибровочной) характеристики при выполнении измерений. Ожидаемый эффект от выполнения НИР «Эфиры» можно отнести к пункту 21 г) приоритетов научно-технологического развития в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145, и пункту 5 критических технологий перечня важнейших наукоемких технологий – технологии персонализированного, лечебного и функционального питания для здоровьесбережения, утвержденного Указом Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529.

В 2025 г. выполнены следующие работы: проведен литературный обзор; выполнена закупка необходимых реактивов – 17 высокочистых метиловых эфиров жирных кислот; подготовлен проект технического задания на разработку стандартных образцов; подготовлен проект технического задания на разработку методики измерений; начаты экспериментальные исследования по оцениванию массовой доли основного вещества в метиловых эфирах жирных кислот методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием; опубликованы тезисы докладов на XXXV Российской молодежной научной конференции с международным участием «Проблемы теоретической и экспериментальной химии».

Собина Е.П., sobina_egor@uniim.ru (УНИИМ - филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Екатеринбург).

4. В 2025 году продолжено создание нового Государственного первичного эталона единицы дельта значения отношения изотопов углерода, кислорода, водорода, азота (условное название – ГЭТ Изотоп).

Государственный первичный эталон единицы дельта значения отношения изотопов углерода, кислорода, водорода, азота.

Области экономики и сферы деятельности, где планируется применение государственного первичного эталона: газовая, химическая, пищевая, нефтеперерабатывающая промышленность, здравоохранение, атмосферный мониторинг, научные исследования. Количество прослеживаемых к ГПЭ средств измерений – более 100 шт.

В 2025 году были получены следующие результаты:

В рамках создания государственного первичного эталона единицы дельта значения отношения изотопов углерода, кислорода, водорода, азота были разработаны эталонные установки, первичные эталонные образцы и методики измерений:

- Методика измерений дельта значения отношения изотопов углерода и кислорода в газах и газовых смесях;
- Методика измерений дельта значения отношения изотопов углерода, водорода в смесях органических компонентов в веществах и материалах;
- Методика измерений дельта значения отношения изотопов углерода, кислорода, водорода в неорганических веществах и материалах;
- Методика измерений дельта значения отношения изотопов водорода и кислорода в воде;
- Методика измерений дельта значения отношения изотопов углерода, кислорода, водорода и азота в органических веществах и материалах.

В рамках международных работ принято участие в двух международных сличениях:

- ССQM P239 «Измерение изотопного состава кислорода и углерода в CO₂ воздуха»;
- ССQM K193/P247 «Дельта значения стабильных изотопов углерода и азота».

Сличения ССQM K193/P247 организованы МАГАТЭ (IAEA) и NIST. В 2025 г. проведены предварительные измерения изотопного состава углерода и азота в представленных на анализ образцах: рыба, ацетанилид, сульфат аммония, нитрат калия, карбонат кальция. Проведено обсуждение хода проведения сличений на очередном заседании Рабочей группы по изотопному анализу ССQM.

Сличение ССQM-P239 организовано Международным бюро мер и весов (МБМВ). Целью сличений была оценка сопоставимости измерений изотопных отношений углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в диоксиде углерода (CO₂) в газовых смесях «CO₂ – воздух», выполняемых ведущими национальными метрологическими институтами и экспертными лабораториями в области атмосферного мониторинга.

В сличениях участвовало 14 лабораторий, включая ВНИИМ. Все участники предоставили приготовленные ими стандартные образцы изотопного состава CO₂ в воздухе для централизованного измерения в

МБМВ. Газовая смесь ВНИИМ изготовлена гравиметрическим методом. Измерения изотопного состава во ВНИИМ проводились на создаваемом Государственном первичном эталоне единицы дельта значения отношения изотопов углерода, кислорода, водорода, азота (далее – ГПЭ). **Ключевым этапом подготовки проб для изотопного анализа являлась экстракция CO₂ из воздушной матрицы.** ВНИИМ использовал специализированную систему экстракции CO₂ собственного производства, которая обеспечивает полное выделение CO₂ из воздушной матрицы с использованием криогенных ловушек, что минимизирует потери и фракционирование изотопов на этапе пробоподготовки. **Результаты, полученные ВНИИМ, продемонстрировали отличное согласие с данными координирующей лаборатории:**

- Для $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ различия (Δ) между аттестованными ВНИИМ значениями и результатами МБМВ для двух представленных баллонов составили **+0,025 ‰ и +0,065 ‰;**
- Для $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB-CO}_2}$ различия составили **+0,029 ‰ и -0,095 ‰.**

Разница между значением ВНИИМ и МБМВ находится в пределах заявленных ВНИИМ расширенных неопределенностей ($k=2$), которые составили **0,10 ‰ для $\delta^{13}\text{C}$ и 0,19 ‰ для $\delta^{18}\text{O}$,** что подтверждает высокую точность и правильность выполняемых на создаваемом ГПЭ измерений.

Расширенная неопределенность ($k=2$), заявленная ВНИИМ для $\delta^{13}\text{C}$ (0,10 ‰), оказалась ниже, чем у ведущих международных институтов, например, у NPL – от 0,33 ‰ до 0,68 ‰, NIST – от 0,13 ‰ до 0,56 ‰, PTB – 0,25 ‰. Расширенная неопределенность ($k=2$), заявленная ВНИИМ для $\delta^{18}\text{O}$ (0,19 ‰), оказалась ниже, чем у ведущих международных институтов, например, у NPL – от 0,74‰ до 0,85 ‰, NIST – от 0,3‰ до 0,73‰, PTB – 0,5‰. В отчете МБМВ также отмечается хорошая согласованность результатов ВНИИМ по $\delta^{18}\text{O}$ с группой ведущих лабораторий, работающих в области мониторинга атмосферы.

Успешное участие в сличениях ССQM-P239 подтверждает высокую компетентность ВНИИМ в области высокоточных измерений изотопных отношений в газах. Эти результаты имеют ключевое значение для обеспечения единства измерений при экологическом мониторинге парниковых газов, контроле подлинности пищевой продукции, а также в климатических и биомедицинских исследованиях. Полученные данные укрепляют международный авторитет российской метрологической школы и создают основу для разработки новых отечественных стандартных образцов и внедрения передовых изотопных методов анализа.

В рамках ОКР по теме «Разработка и выпуск новых комплексов стандартных образцов и мер для обеспечения единства измерений по приоритетным направлениям в целях технологического суверенитета Российской Федерации» (шифр ОКР «Суверенитет») были разработаны и утверждены 9 типов стандартных образцов:

ГСО 12737-2024 СО изотопного состава сахарозы (свекла сахарная),

ГСО 12738-2024 СО изотопного состава сахарозы (тростник сахарный),

ГСО 12739-2024 СО изотопного состава этанола (кукуруза),

ГСО 12740-2024 СО изотопного состава этанола (пшеница),
ГСО 12741-2024 СО изотопного состава этанола (свекла сахарная),
ГСО 12742-2024 СО изотопного состава этанола синтетического,
ГСО 12766-2025 СО изотопного состава полиэтилена,
ГСО 12765-2025 СО изотопного состава монооксида углерода,
ГСО 12764-2025 СО изотопного состава карбоната кальция.

По результатам работы, были опубликованы 2 статьи:

Чубченко Я.К., Ларош А.В., Смирнов А.В., Колобова А.В. Разработка стандартных образцов изотопного состава этанола. Эталоны. Стандартные образцы. 2025;21(3):62-77. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-3-62-77>. EDN: YOYGSU.

Чубченко Я.К., Ларош А.В., Смирнов А.В., Колобова А.В. Разработка стандартных образцов изотопного состава сахарозы. Эталоны. Стандартные образцы. В печати.

Чубченко Я.К. ycc@b10.vniim.ru (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, Санкт-Петербург).

5. Продолжены работы по совершенствованию Государственного первичного эталона единицы массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации органических компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе жидкостной и газовой хромато-масс-спектрометрии с изотопным разбавлением и гравиметрии ГЭТ 208-2024.

Область применения: ГЭТ 208-2024 обеспечивает воспроизведение, хранение и передачу единиц:

— массовой (молярной) доли основного компонента (ОК) в не полимерных чистых органических и элементарноорганических веществах с молярной массой до 3500 а.е.м. , находящихся в жидком или твердом агрегатном состоянии в условиях применения эталона;

— массовой доли и массовой (молярной) концентрации органических компонентов в растворах;

— массовой доли и массовой (молярной) концентрации органических компонентов в жидких и твердых материалах .

Поверочная схема: Государственная поверочная схема для средств измерений содержания органических компонентов в жидких и твердых веществах и материалах (приказ Росстандарта от 28.12.2024 № 3158; приказ Росстандарта от 14.02.2025 № 302).

Принцип действия: В органическом анализе прослеживаемость к SI формируется на основе чистых органических веществ, охарактеризованных на наивысшем аналитическом и метрологическом уровне. Массовая доля основного компонента в чистом веществе обеспечивает прослеживаемость к одной из основных единиц SI — количеству вещества (молю). Таким образом, первое звено в формировании цепочки метрологической прослеживаемости в области органического анализа — определение чистоты вещества. ГЭТ 208-2024 реализует общепринятый международный подход к определению чистоты органических веществ - метод массового баланса, основанный на формуле «100 % минус сумма примесей». Для этого выполняются измерения четырех групп вероятных примесных компонентов в

чистых органических веществах: 1) примеси родственных соединений (в общем случае — это компоненты, которые могут быть измерены тем же аналитическим методом, что и основное вещество, чаще всего — его изомеры и/или конгенеры); 2) примесь воды (свободной и кристаллогидратной); 3) примеси летучих органических соединений (например, остаточные органические растворители после очистки основного вещества перекристаллизацией); 4) примеси нелетучих соединений, включая органические и неорганических компоненты (например, металлов в любой форме).

Наименование единиц величин	Диапазон измерений	Относительная расширенная неопределенность (при $k=2$)
Массовая (молярная) доля основного компонента в чистых веществах	от 0,80 до 1,00 г/г (от 80,00 до 100,00 %);	от 3,0 до 0,01 %
Массовая доля компонентов в растворах	$0,5 \cdot 10^{-9}$ до 0,5 г/г (от $0,5 \cdot 10^{-7}$ до 50 %)	от 5,0 до 0,01 %
Массовая концентрация компонентов в растворах и молярная концентрация компонентов в растворах	от $1,0 \cdot 10^{-5}$ до 100 г/дм ³ от $0,3 \cdot 10^{-8}$ до 2,5 моль/дм ³	от 3,0 до 1,0 %
Массовая доля компонентов в материалах	$0,4 \cdot 10^{-12}$ до 0,99 г/г (от $1,0 \cdot 10^{-10}$ до 99 %)	от 12,0 до 0,01 %
Массовая концентрация компонентов в материалах и молярная концентрация компонентов в материалах	от $1,0 \cdot 10^{-5}$ до 100 г/дм ³ от $0,3 \cdot 10^{-8}$ до 2,5 моль/дм ³	от 3,0 до 1,0 %

Результаты применения эталона: С применением эталона были изготовлены и реализованы СО состава чистых органических веществ и растворов: в 2024 г. - более 1800 шт, в 2025 г. - более 2300 шт.

Совокупное количество средств измерений, прослеживаемых к ГЭТ 208-2024: Общее количество стандартных образцов утвержденного типа (ГСО), прослеживаемых к эталону - более 350 типов.

Обеспечение единства измерений, участие в программе CIPM MRA (указать сличения и смс-строки): 97.

Цель работы заключается в повышении уровня обеспечения единства измерений в области органического анализа путем расширения функциональных возможностей ГЭТ 208-2024 в части номенклатуры нелетучих и термолабильных органических компонентов на пестициды азотсодержащие и формировании нового направления измерений - определение чистоты (воспроизведение единицы массовой доли основного компонента в чистом веществе) солеобразующих органических веществ (СОВ) на примере активных фармацевтических субстанций (АФС).

Совершенствование (модернизация) ГЭТ 208-2024 позволит:

- предотвратить отставание Российской Федерации в высокоточных измерительных технологиях, разрабатываемых зарубежными НМИ в области органического анализа, обеспечить возможность участия Российской Федерации в международных ключевых сличениях;
- устранить существующие на данный момент ограничения ГЭТ 208 в части измерений массовой доли примесей в СОВ;
- создать научный и инструментальный задел для метрологического обеспечения измерений СОВ/АФС;
- сформировать методологию подтверждения идентичности и определения чистоты СОВ/АФС;
- определить технику применения методов высокоэффективной жидкостной хроматографии / масс-спектрометрии высокого разрешения (ВЭЖХ-МСВР), ионной хроматографии (ИХ), масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) для подтверждения идентичности и измерения чистоты СОВ/АФС;
- определить технику применения метода ВЭЖХ-МСВР для подтверждения идентичности и определения чистоты пестицидов азотсодержащих;
- определить технику применения метода ИК-Фурье спектроскопии для подтверждения идентичности СОВ/АФС и пестицидов азотсодержащих;
- определить технику применения метода элементного анализа для подтверждения идентичности и измерения чистоты СОВ/АФС и пестицидов азотсодержащих;
- разработать методики характеристики чистых СОВ/АФС и пестицидов азотсодержащих;
- разработать СО состава СОВ/АФС и пестицидов азотсодержащих.

В состав усовершенствованного ГЭТ 208, будут включены:

- ИК-Фурье спектрометр с базами данных ИК-спектров и специализированным программным обеспечением;
- Элементный анализатор (СНН).

Начало работ – 2025 год. Окончание работ запланировано на 2027 год.

Михеева А.Ю., a.mikheeva@vniim.ru (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, Санкт-Петербург).

6. Государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2019.

В 2025 году начаты работы по совершенствованию и модернизации Государственного первичного эталона ГЭТ 154-2019, расширению его функциональных возможностей в соответствии с актуальными требованиями химической и нефтехимической промышленности, топливно-энергетического комплекса, машиностроительной и металлургической отрасли, экологического мониторинга и здравоохранения в целях обеспечения единства измерений, а также создания условий для успешного участия ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в международных сличениях в области газового анализа и расширения калибровочных и измерительных возможностей.

Государственный первичный эталон ГЭТ 154-2019 предназначен для воспроизведения и передачи единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах вторичным эталонам, рабочим эталонам 1, 2 разрядов и средствам измерений согласно государственной поверочной схеме для средств измерений содержания компонентов в газовых и газоконденсатных средах, утвержденной приказом Росстандарта от 31.12.2020 № 2315.

Востребованность Государственного первичного эталона ГЭТ 154-2019 характеризуется следующими показателями:

- парк универсальных и специализированных газоаналитических приборов, который эксплуатируется в стране, насчитывает более 2 млн. средств измерений;
- для метрологического обеспечения всей совокупности газоаналитических приборов используется несколько тысяч рабочих эталонов – генераторов газовых смесей различных типов, которые прослеживаются к ГЭТ 154-2019;
- также для указанных целей в стране ежегодно выпускается более 120 тысяч стандартных образцов состава газовых смесей в баллонах под давлением на аттестованных вторичных и рабочих эталонах, установленных на 20 предприятиях;
- для функционирования вторичных и рабочих эталонов и для обеспечения метрологической прослеживаемости на эталонной аппаратуре ГЭТ 154–2019 ежегодно изготавливается более 350 эталонов сравнения и проводятся работы по первичной и периодической аттестации эталонов.

Характеристики ГЭТ 154-2019 подтверждены на международном уровне результатами участия более чем в 80 сличениях, по результатам которых в международной базе СМС включено более 300 строк (1 место в мире).

В 2025 году были разработаны и прошли испытания 17 новых типов стандартных образцов в статусе эталонов сравнения, имеющих наивысшую точность в РФ, из них: 14 типов стандартных образцов состава чистых газов (азот, аргон, гелий, кислород и др.) и 3 типа стандартных образцов состава газовых смесей, разработанных в рамках ОКР «Суверенитет».

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в 2025 году проведено более 50 испытаний в целях утверждения типа газоаналитических средств

измерений и генераторов газовых смесей, включая системы автоматического контроля промышленных выбросов (САКВ). Проведено более 10 000 поверок газоаналитических средств измерений и генераторов газовых смесей. Выполнена аттестация более 40 вторичных и рабочих эталонов.

Колобова А.В., akol@b10.vniim.ru («ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Санкт-Петербург).

7. Выполнена разработка 5 типов стандартных образцов состава ДНК, предназначенных для применения в области санитарного контроля и диагностики онкопатологий. Проведена аттестация вторичного эталона для ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН. Область применения – обеспечение единства измерений содержания копий последовательности ДНК в таких направлениях биоэкономики, как сельское хозяйство, ветеринария, биотехнологии, лабораторная и судебная медицина, исследованиях ДНК окружающей среды, в санитарном контроле и научных исследованиях, в обеспечении биобезопасности.

8. Государственный первичный эталон единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твёрдых веществах и материалах на основе спектральных методов (ГЭТ 196 - 2023). Область применения - химическая, атомная, пищевая промышленности, металлургия, авиационная промышленность, наука и техника, медицина, биология, охрана окружающей среды, сельское хозяйство и др. Государственная поверочная схема для средств измерений массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов, а также флуоресценции в жидких и твердых веществах и материалах на основе спектральных методов, утверждена приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от «07» августа 2023 г. № 1569.

Количество средств измерений, прослеживаемых к ГПЭ – точно оценить невозможно, т.к. большая часть СИ прослеживается к ГПЭ посредством применения СО, однако ниже приведены некоторые данные:

- аттестованы в качестве вторичных эталонов – 2 штуки
- аттестованы в качестве рабочих эталонов – 1 штука
- поверены в качестве рабочих эталонов – 51 штука
- поверены с помощью комплектов мер флуоресценции различного типа – около 200 штук;
- поверены с помощью СО состава АТФ – около 1000 шт.

Количество стандартных образцов (типов) 28 типов – производства ФГБУ «ВНИИОФИ»

7 типов производства ООО «Виктори-Стандарт»

Стандартные образцы (СО утверждённого типа, СОПы) производства НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ (по количеству нет данных, т.к. испытания проводит изготовитель с применением вторичного эталона, прослеживаемого к ГЭТ 196-2023)

В 2025 году на базе ГЭТ 196 разработано и утверждено 7 типов стандартных образцов. 5 типов из которых разработаны в рамках ОКР

«Суверенитет». Особо стоит отметить стандартные образцы, предназначенные для метрологического обеспечения в области рамановской спектроскопии, а также многокомпонентные стандартные образцы, применяемые для метрологического обеспечения в области атомно-абсорбционного, атомно-эмиссионного и оптико-эмиссионного анализа.

Иванов А.В., ivanov@vniiofi.ru (ФГБУ «ВНИИОФИ»).

9. Разработаны и аттестованы 4 методики количественного химического анализа:

Методика измерений массовой доли глазури на глазированной мороженой пищевой рыбной продукции ФР.1.31.2025.52920;

Методика измерений аттестованных значений массовой концентрации стандартных образцов сквалена ФР.1.31.2025.52058;

Методика измерений массовой доли пептидов – имитаторов прионных белков в белках ФР.1.31.2025.52057;

Методика измерений аттестованных значений массовой концентрации стандартных образцов состава раствора белка VP6 и VP2 ротавируса А человека ФР.1.31.2025.52056.

ФБУ «НИЦ ПМ-Ростест», Москва. info@rostest.ru.

10. Продолжает работать орган по аккредитации ААЦ "Аналитика". На сегодня действует 290 аккредитованных аналитических лабораторий, продемонстрировавших своё соответствие требованиям международного стандарта ISO/IEC 17025.

Представитель ААЦ "Аналитика" (Мурашова Е.В.) вошла в рабочую группу ISO по пересмотру стандарта ISO 17034.

Продолжается аккредитация производителей стандартных образцов. в 2025 году аккредитовано 2 аналитические лаборатории - Иргиредмет и АНО «Агрохимический инновационный центр развития», всего аккредитовано 12 лабораторий.

Пересмотрена "Политика Органа по аккредитации по метрологической прослеживаемости результатов измерений".

ААЦ "Аналитика". info@aac-analitica.ru, Москва.

11. Разработан комплект из 10 твердых стандартных образцов (СО) электротехнической стали с широким перечнем аттестованных легирующих и примесных компонентов (В, С, N, Al общий, Al кислоторастворимый, Si, P, S, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Nb, Mo и Sn), позволяющий контролировать точность определения элементов спектральными методами. Показана возможность совместного использования разработанного и чешского комплектов СО SPL SST-1A - SST-4A для определения элементов методами ИАЭС и РФА. Предложенный алгоритм разработки и аттестации комплекта стандартных образцов может быть рекомендован к применению в производственных лабораториях.

Носикова Е.В., Якубенко Е.В., Лепилина М. Ю., Михайлов А.М., Ермолаева Т.Н., Барановская В.Б. Разработка комплекта стандартных образцов для спектрального анализа анизотропной электротехнической стали// Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2025. Т. 91. №3. С. 16-26. DOI: 10.26896/1028-6861-2025-91-3-16-26).

Ермолаева Т.Н., erm1704@gmail.com; Якубенко Е.В., alyenka13@yandex.ru (ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»).

12. Разработка программы межлабораторных сличительных испытаний по отбору проб нефти и нефтепродуктов. В УНИИМ – филиале ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» (далее – УНИИМ) разработана программа межлабораторных сличительных испытаний (МСИ) по отбору проб нефти и нефтепродуктов. От правильности реализации процедуры отбора проб в большой степени зависит качество измерений показателей нефти при определении ее запасов, состава и свойств. Соответственно, процедура отбора проб вносит существенный вклад в погрешность (неопределенность) результатов измерений анализируемых показателей в анализируемых нефти (нефтепродуктах).

До настоящего времени стадия отбора проб нефти (нефтепродуктов) фактически никак не контролировалась, что могло приводить к получению лабораториями недостоверных результатов измерений показателей состава и свойств анализируемых объектов.

По методологии, разработанной УНИИМ, каждая программа МСИ основана на контроле правильности выполнения лабораторией процедуры отбора проб, регламентированной в используемом документе, и контроле обеспечения качества используемого оборудования и материалов. Информация о реализуемых раундах МСИ по отбору проб нефти и нефтепродуктов представлена на странице провайдера МСИ УНИИМ: http://uniim.ru/provaider_msi.

Канаева Ю.В., Пономарева О.Б., Малахова С.Ю., msi@uniim.ru (УНИИМ - филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», Екатеринбург).

13. Разработка стандартных образцов содержания металлов в воздушных средах ((воздухе рабочей зоны (ВРЗ), атмосферном воздухе (АВ) и промышленных выбросах в атмосферу (ПМ)). В 2025 году разработано 7 СО утвержденного типа. СО предназначены для аттестации методик измерений массовой концентрации металла в воздушных средах методами спектрофотометрии, атомно-абсорбционной спектрометрии, атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой; контроля точности результатов измерений массовой концентрации соответствующего металла в воздушных средах.

Из семи СО пять предназначены для обеспечения качества измерений хрома в различных формах (хрома (III), хрома (VI), хрома общего, хрома общего в пересчете на триоксид хрома (хромовый ангидрид)), находящихся в воздушной среде. Два СО служат для измерений массовых концентраций свинца и алюминия в воздушных средах.

С учётом новых семи СО линейка ГСО для обеспечения качества экологического контроля воздушных сред расширена до 15 наименований стандартных образцов утверждённого типа. Перечень разработанных сотрудниками УНИИМ стандартных образцов для обеспечения контроля точности этих показателей приведен на сайте УНИИМ.

Канаева Ю.В., Гайко М.В., Metod224@uniim.ru (УНИИМ - филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», Екатеринбург).

14. Завершены работы по совершенствованию государственного первичного эталона единиц массовой (молярной, атомной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе кулонометрии ГЭТ 176. В настоящий момент ГЭТ 176 включает 5 эталонных установок: две разновидности метода кулонометрии, метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, методы ионной хроматографии и атомно-эмиссионной спектрометрии. Обеспечен неразрывный диапазон воспроизведения единицы массовой доли компонентов в диапазоне от $1 \cdot 10^{-6}$ до 100 %, расширены нижние границы воспроизведения единиц массовой и молярной концентрации.

В ходе совершенствования ГЭТ 176 успешно принял участие в двустороннем ключевом сличении по количественному определению дихромата калия ССQM-K96.2023.1 “Assay of potassium dichromate” с Национальным метрологическим институтом Республики Корея (KRISS). Сличение является последующим к одноименному ключевому сличению ССQM-K96.2023, в котором принимали участие национальные метрологические институты Японии, Китая, Бразилии, Мексики, Словакии, Республики Корея. В обоих сличениях использовались образцы дихромата калия из одной партии, что позволило сопоставить измерительные возможности ГЭТ 176 и национальных эталонов шести стран. Результаты сличений опубликованы на сайте Международного бюро мер и весов по ссылке <https://www.bipm.org/kcdb/comparison?id=1900>.

Разработаны стандартные образцы состава титрантов для кислотно-основного титрования. Стандартные образцы представляют собой три набора состава кислот:

ГСО 12855...12857-2025 состава азотной кислоты (набор HNO_3) с номинальными концентрациями 0,1, 0,5 и 1 моль/дм³;

ГСО 13042...13044-2025 состава фосфорной кислоты (набор H_3PO_4) с номинальными концентрациями эквивалента 0,1, 0,5 и 1 моль/дм³;

ГСО 13105...13107-2025 состава серной кислоты (набор H_2SO_4) с номинальными концентрациями эквивалента 0,1, 0,5 и 1 моль/дм³;

ГСО 13108...13110-2025 состава соляной кислоты (набор HCl) с номинальными концентрациями 0,1, 0,5 и 1 моль/дм³.

Аттестуемыми характеристиками СО являются:

– массовая концентрация соответствующей кислоты, г/дм³;

– молярная концентрация эквивалента (соответствующей кислоты), моль/дм³.

Допускаемые значения относительных расширенных неопределённостей (при $k = 2$, $P = 0,95$) и границ допускаемых значений относительной погрешности (\pm при $P = 0,95$) аттестованных значений СО не превышает 0,2 %.

Срок годности каждого экземпляра СО: 1 год.

Собина А.В., sobinaav@uniim.ru, Шимолин А.Ю., Alex-shimolin@uniim.ru (УНИИМ - филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», Екатеринбург).

15. Разработан стандартный образец состава магнетита (Fe_3O_4).

Основные назначения СО: хранение и передача единиц массовой доли магнетита (Fe_3O_4) и железа общего (Fe) стандартным образцам и химическим реактивам; поверка и калибровка средств измерений (СИ), контроль точности результатов измерений массовой доли магнетита (Fe_3O_4) и железа общего (Fe) в жидких и твёрдых веществах и материалах, а также другие виды метрологического контроля. Разработанный СО и смеси на его основе могут применяться для контроля точности измерений состава магнетитовых руд, строительных материалов, керамики и других материалов, содержащих магнетит. Экземпляры стандартного образца представляют собой однородный порошок оксида железа (II, III) с размером частиц не более 30 мкм и содержанием магнитной фракции не менее 99,0 %. Срок годности СО – 5 лет. Метрологические характеристики СО установлены методом кулонометрии с контролируемым потенциалом непосредственно на Государственном первичном эталоне массовой (молярной, атомной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твердых веществах и материалах методом кулонометрии ГЭТ 176-2019.

Зыскин В.М., Dina2001@yandex.ru, Собина А.В., sobinaav@uniim.ru (УНИИМ - филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», Екатеринбург).

16. Проведены работы по совершенствованию Государственного первичного эталона единиц удельной адсорбции газов, удельной поверхности, удельного объема пор, размера пор, открытой пористости и коэффициента газопроницаемости твердых веществ и материалов ГЭТ 210 с целью расширения диапазона воспроизведения единицы коэффициента газопроницаемости с $(1 \cdot 10^{-3-5})$ мкм² до $(1 \cdot 10^{-7-5})$ мкм². Метрологическое обеспечение измерений в области добывающей промышленности как в России, так и во всем мире является одним из главных направлений, обеспечивающих получение достоверных результатов измерений при проведении нефте- и газодобычи. Важнейшей измеряемой физической величиной данных отраслей является коэффициент газопроницаемости горных пород. В настоящее время одной из самых обсуждаемых и современных тем в нефтегазовом бизнесе по всему миру являются перспективы разработки сланцевых месторождений газов и нефти, породы которых характеризуются низкими значениями коэффициентов газопроницаемости $(1 \cdot 10^{-7}-1 \cdot 10^{-3})$ мкм².

УНИИМ совместно с АО «Геологика» — изготовителями исходного материала СО, разработали и провели испытания набора из четырех типов стандартных образцов газопроницаемости горных пород (имитаторов) ГСО

12985-2025/ГСО 12988-2025. Новые СО представляют собой металлические цилиндры диаметром (30 ± 1) мм и длиной (40 ± 1) мм. Во внутреннюю часть каждого цилиндра вмонтирован металлический фильтр, имитирующий пористую структуру. Цилиндры изготовлены из стали марки 12Х18Н10Т по ГОСТ 5632-2014. Диапазон аттестованных значений коэффициента газопроницаемости образцов составляет от $0,1\cdot 10^{-3}$ до 1 мкм^2 , а границы относительной погрешности аттестованных значений не превышают $\pm 3 \%$.

Проведены пилотные сличения в области измерения низких значений газопроницаемости горных пород КООМЕТ 894/RU/23. В сличениях принял участие Национальный метрологический институт Китая (NIM), а также петрофизические лаборатории различных организаций России: ООО «ЭкогеосПром» (г. Тверь), ООО «ТННЦ» (г. Тюмень), ООО «Лукойл-Инжиниринг» (г. Когалым), ООО «РН-БашНИПИнефть» (г. Уфа), ООО «Кортех» (г. Мытищи), ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (г. Москва), АНО ВО «Сколковский институт науки и технологий» (г. Москва), АУ «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана» (г. Ханты-Мансийск) и ООО «Арктик-ГЕРС» (г. Тверь). Стоит отметить хорошую согласованность результатов измерений коэффициента абсолютной газопроницаемости между метрологическими институтами УНИИМ (Россия, г. Екатеринбург) и NIM (Китай).

Разработаны стандартные образцы состава растворов теллура. Материал СО представляет собой растворы теллура (с массовой долей основного компонента не менее 99,9 %) в азотной кислот (HNO_3). СО расфасованы в полимерные флаконы (HDPE) с навинчивающейся крышкой, с этикеткой. Номинальный объем флаконов составляет 30, 60, 125 см^3 . Кислота для приготовления растворов предварительно подвергалась очистке методом суббойлерной дистилляции. Разработанные СО внесены в государственный реестр утвержденных типов СО.

Разработаны стандартные образцы состава растворов скандия. Материал СО представляет собой растворы скандия (с массовой долей основного компонента не менее 98,0%) в азотной кислот (HNO_3). СО расфасованы в полимерные флаконы (HDPE) с навинчивающейся крышкой, с этикеткой. Номинальный объем флаконов составляет 30, 60, 125 см^3 . Кислота для приготовления растворов предварительно подвергалась очистке методом суббойлерной дистилляции. Разработанные СО внесены в государственный реестр утвержденных типов СО.

Разработаны СО удельной поверхности, удельного объема пор, среднего диаметра пор, преобладающего диаметра пор, удельной адсорбции азота, удельной адсорбции аргона (далее – сорбционные свойства):

1. удельной поверхности нанопористого оксида кремния ($S_{\text{уд}} \text{ 6-SiO}_2 \text{ СО УНИИМ}$) ГСО 13061-2025;
2. удельного объема пор нанопористого оксида кремния ($V \text{ 6-SiO}_2 \text{ СО УНИИМ}$) ГСО 13064-2025;
3. среднего диаметра пор нанопористого оксида кремния ($D \text{ 6-SiO}_2 \text{ СО УНИИМ}$) ГСО 13063-2025;

4. удельной адсорбции азота нанопористым оксидом кремния (А 6-SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13062-2025;
5. удельной поверхности оксида алюминия (S_{уд} Al₂O₃ СО УНИИМ) ГСО 12911-2025;
6. удельного объема пор оксида алюминия (V Al₂O₃ СО УНИИМ) ГСО 12914-2025;
7. среднего диаметра пор оксида алюминия (D Al₂O₃ СО УНИИМ) ГСО 12913-2025;
8. удельной адсорбции азота оксидом алюминия (А Al₂O₃ СО УНИИМ) ГСО 12912-2025;
9. удельной поверхности непористого оксида кремния (S SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13056-2025;
10. удельной поверхности нанопористого углерода (S_{уд} С СО УНИИМ) ГСО 13116-2025;
11. удельного объема пор нанопористого углерода (V С СО УНИИМ) ГСО 13119-2025;
12. среднего диаметра пор нанопористого углерода (D С СО УНИИМ) ГСО 13118-2025;
13. удельной адсорбции азота нанопористым углеродом (А С СО УНИИМ) ГСО 13117-2025;
14. удельной поверхности нанопористого цеолита (S_{уд} Zeolite СО УНИИМ) ГСО 13120-2025;
15. удельного объема пор нанопористого цеолита (V Zeolite СО УНИИМ) ГСО 13123-2025;
16. преобладающего диаметра пор нанопористого цеолита (D Zeolite СО УНИИМ) ГСО 13122-2025;
17. удельной адсорбции аргона нанопористым цеолитом (А Zeolite СО УНИИМ) ГСО 13121-2025;
18. удельной поверхности мезопористого диоксида титана (S_{уд} TiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13018-2025;
19. удельного объема пор мезопористого диоксида титана (V TiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13021-2025;
20. среднего диаметра пор мезопористого диоксида титана (D TiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13020-2025;
21. удельной адсорбции азота мезопористым диоксидом титана (А TiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13019-2025;
22. удельной поверхности нанопористого оксида кремния (S_{уд} 2,2-SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13057-2025;
23. удельного объема пор нанопористого оксида кремния (V 2,2-SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13060-2025;
24. среднего диаметра пор нанопористого оксида кремния (D 2,2-SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13059-2025;
25. удельной адсорбции азота нанопористым оксидом кремния (А 2,2-SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13058-2025;
26. удельной поверхности нанопористого диоксида кремния (S_{уд} 15-SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13112-2025;
27. удельного объема пор нанопористого диоксида кремния (V 15-SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13115-2025;
28. среднего диаметра пор нанопористого диоксида кремния (D 15-SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13114-2025;
29. удельной адсорбции азота нанопористым диоксидом кремния (А 15-SiO₂ СО УНИИМ) ГСО 13113-2025;

Собина Е.П., Sobina_egor@uniim.ru (УНИИМ - филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», Екатеринбург).

17. В УНИИМ разрабатывается СО состава фумаровой кислоты, являющейся дикарбоновой ненасыщенной органической кислотой, существующей в виде транс-изомера бутендиовой кислоты. Она образуется естественным образом в эукариотических организмах из сукцината в комплексе 2 цепи переноса электронов с помощью фермента сукцинатдегидрогеназы, который участвует в производстве АТФ. Производство фумаровой кислоты для дальнейшего применения её в качестве добавки основано на изомеризации малеиновой кислоты, получаемой из бензола или углеводородов C4 путем каталитического окисления. Добавка далее используется для контроля яблочно-молочного брожения в винах в условиях, предусмотренных регламентом RESOLUTION OIV-OENO 690-2023. Фумаровая кислота в пищевой отрасли применяется в качестве пищевой добавки E297, как регулятор кислотности. В медицине кислота входит в состав средств для лечения кожных заболеваний, таких как псориаз. В сельском хозяйстве применяют как добавку для усиления иммунитета животных.

На начало 2025 года по данным ФГИС «АРШИН» СО состава фумаровой кислоты в Российской Федерации не выпускался. По результатам проведенных испытаний будет утвержден новый тип СО состава фумаровой кислоты с метрологическими характеристиками, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Нормируемые метрологические характеристики СО состава фумаровой кислоты

Аттестуемая характеристика	Интервал допускаемых аттестованных значений, %	Границы допускаемых значений абсолютной погрешности при $P = 0,95$, %	Допускаемое значение абсолютной расширенной неопределённости при $k = 2$, $P = 0,95$, %
Массовая доля фумаровой кислоты	от 95,00 до 100,00	0,50	$\pm 0,50$

В период с 2023 г. по 2025 г. УНИИМ-филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» провел работы по совершенствованию Государственного первичного эталона единиц массовой доли, массовой (молярной) концентрации воды в твердых и жидких веществах и материалах ГЭТ 173 (далее - ГЭТ 173). В состав ГЭТ 173 включена новая эталонная установка, которая реализует метод газовой хроматографии с детектором по теплопроводности. Разработаны методики воспроизведения массовой доли воды в фармацевтических субстанциях при введении проб в жидком и твердом виде. Подтверждены метрологические характеристики новой эталонной установки при определении массовой доли воды на примере следующих фармацевтических субстанций: эльсульфаварин натрия,

солифенацин, протионамид, левофлоксацин, диметил фумарат, йоверсол, бозентана моногидрат, циклофосфомид, дротаверин, левофлоксацин и др.

Крашенинина М.П., lab241@uniim.ru (УНИИМ - филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», Екатеринбург).

18. Выпущено новое дополненное издание «Метрологическая прослеживаемость в химических измерениях. Цель сборника – предоставить рекомендации по обеспечению требований к метрологической прослеживаемости результатов химического анализа. Первая официальная версия этого документа была опубликована в 2003 г. Во втором издании руководства от 2019 года были учтены изменения в терминологии, внесенные в третье издание Международного словаря по метрологии (VIM). В дополнение к этому руководству публикуются три документа, относящиеся к деятельности Международного сообщества по аккредитации аналитических лабораторий ИЛАК (ILAC), и «Политика Органа по аккредитации «Аналитика» по обеспечению метрологической прослеживаемости». В этом издании приводится описание согласованного набора принципов, которые могут использовать лаборатории для установления прослеживаемости результатов своих измерений, при этом особое внимание уделяется применению подходящих основ для сравнения химических величин.

Метрологическая прослеживаемость в химических измерениях. 2-е дополненное издание. под ред. В.Б. Барановской, И.В. Болдырева. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2025. – 108 с. ISBN 978-5-94836-727-9.

Барановская В.Б., д.х.н., baranovskaya@list.ru (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Центр коллективного пользования физическими методами исследования веществ и материалов).

АНАЛИЗ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

1. Химический состав плодов, семядолей и SILYBUM MARIANUM. Определено содержание флаволигнанов, жирного масла, белков, углеводов, дубильных веществ и органических кислот в лузге и семядолях плодов расторопши пятнистой, произрастающей в естественных условиях в окрестностях селения Новолакское Кумторкалинского района Республики Дагестан.. Установлено, что жирное масло и белки накапливаются в семядолях, а углеводы, флаволигнаны и дубильные вещества – в лузге. Методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием определено содержание жирных кислот в масле плодов, семядолей и лузги. Жирнокислотный состав масел, полученных из плодов, семядолей и лузги, не имеет существенных различий. Атомно-адсорбционным методом с использованием режима пламенной атомизации определен минеральный состав образцов. Из макроэлементов в лузге накапливается только кальций (9685 мг/кг), в семядолях концентрируется магний (2714 мг/кг) и калий (6958 мг/кг). Из микроэлементов в семядолях накапливаются железо (68.8 мг/кг), медь (35.5 мг/кг) и цинк (93.2 мг/кг), в лузге – стронций (55.9 мг/кг) и марганец (20.9 мг/кг).

Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А., Султанова Д.Т. Химический состав плодов, семян и лузги *Silybum marianum* // Химия растительного сырья. 2025. №2. С. 253–259. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250214854>.

Рамазанов А.Ш., д.х.н., a_ramazanov@mail.ru (Дагестанский государственный университет, кафедра аналитической и фармацевтической химии, Махачкала).

2. Проведена оценка загрязнения Кондопожской губы и малых притоков Онежского озера дибутилфталатом – наиболее распространенным и применяемым в промышленности эфиром фталевой кислоты. Концентрацию дибутилфталата определяли методом ГХ-МС. Установлено, что среднее содержание дибутилфталата в акватории Кондопожской губы составляет 6,7 мкг/л, тогда как в малых притоках оно несколько выше, составляя в среднем 11,9 мкг/л. Во всех проанализированных пробах наблюдалось превышение предельно допустимой концентрации дибутилфталата в рыбохозяйственных водах

(1 мкг/л). При этом статистически значимых связей между содержанием дибутилфталата и маркерными компонентами сточных вод (лигносульфонатами, биогенными веществами) не обнаружено. Статистически значимые связи обнаружены между концентрацией дибутилфталата и содержанием литофильных элементов (Fe, Mn, Si), а также органических веществ природного происхождения (по цветности, общему органическому углероду, растворенному органическому углероду, химическому потреблению кислорода), что свидетельствует об их совместном поступлении с водосборной площади. Установлено, что Кондопожский целлюлозно-бумажный комбинат не оказывает существенного влияния на содержание дибутилфталата в Кондопожской губе Онежского озера, а источниками его поступления в озеро являются преимущественно атмосферные осадки, поверхностный и речной сток.

Zobkov M.B., Ryzhakov A.V., Pirogov A.V., Chichkanova E.S. Dibutyl Phthalate in the Water of Kondopoga Bay and Some Tributaries of Lake Onega. // *Water Resources*. 2025. V.52, № 5, P.987-998.

Пирогов А.В., д.х.н., PirogovAV@my.msu.ru (МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет; Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФНЦ Карельский научный центр РАН, Петрозаводск).

3. Проведена оценка миграционной способности тяжелых металлов (ТМ) в системах «почва – растение» в присутствии древесной золы. Исследованы почвы различного генезиса (гумусосодержащие, песчаные, дерново-подзолистые). Проведен вегетационный эксперимент с использованием в качестве тест-растения пшеницы, в ходе которого определены агрохимические показатели почв, а также содержание в почвенных вытяжках и растениях мезо- и макрокомпонентов и ряда тяжелых металлов методами ИВА, рентгено-флуоресцентной спектроскопии и спектрофотометрии. Рассчитаны эффект торможения, коэффициенты накопления и транслокации поллютантов (ТМ), установлено, что в

присутствии золы древесной значительное количество ТМ аккумулируется в корневой системе.

Трубачева Л.В., к.х.н., trub12@mail.ru; Лоханина С.Ю., swetlei@mail.ru; Трубачев А.В., к.х.н., trub.av@mail.ru (Удмуртский государственный университет, кафедра фундаментальной и прикладной химии. Ижевск).

4. Подтверждена новизна способа оценки микробиологической обсемененности хирургических ран у детей для определения присутствия и уровня титра микроорганизмов по летучим соединениям отделяемых биопроб. Технология выполнения существенно упрощает анализ, исключает дополнительную обработку биопроб, что приводит к уменьшению времени получения результатов, дает возможность применения в режиме "на месте" после получения мазка и в клинической лаборатории при его транспортировке. Применение высоко чувствительных сенсоров, позволяющих зафиксировать продукты жизнедеятельности микроорганизмов в отделяемом экссудате на уровне количественной корреляции или функциональной связью с уровнем КОЕ, быстро и малозатратно. Это значительно снижает общее время анализа и нагрузку на врача или сотрудников лаборатории без потери качества информации.

Патент № 2852913 / Способ оценки микробиологической обсемененности хирургических ран у детей. Авторы: Кучменко Т.А., Шишунов Д.В., Узбеков Э.З., Менжулина Д. А., Вечеркин В.А. // Заявка № 2024139752, заявл. 26 декабря 2024 г. Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 16 декабря 2025 г.

Кучменко Т.А., д.х.н., tak1907@mail.ru; Шишунов Д.В., Вечеркин В.А., Менжулина Д.А., darinotchka_08@mail.ru; Узбеков Э.З. (Воронежский государственный университет инженерных технологий, кафедра физической и аналитической химии, Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН; Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, кафедра клинической диагностики и прецизионной диагностики детских болезней, кафедра детской хирургии).

5. Разработан быстрый способ идентификации топлив для ВС России. Систематические исследования завершились конструкторской разработкой модели карманного анализатора на основе 4-х газовых сенсоров с передачей информации в мобильное ПО. Новизна исследований подтверждена 3-мя охранными документами.

Патент на изобретение RU 2841874 C1, 18.06.2025. Заявка № 2024119278 от 10.07.2024. Способ идентификации автомобильных, реактивных и ракетных топлив (Патентообладатель УМНИК Бузакин И.С., Серпухов).

Патент на изобретение RU 2841873 C1, 18.06.2025. Заявка № 2024119276 от 10.07.2024. Портативное устройство для определения качества топлив во внелaborаторных условиях на основе сенсоров. (Бузакин И.С., Кучменко Т.А., Порядина Д.А.)

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025617294, 25.03.2025. Заявка № 2025612816 от 12.02.2025. Программа обработки

сигналов сенсоров для решения задачи идентификации топлива (Кучменко Т.А., Порядина Д.А., Бузакин И.С.).

Бузакин И.С., Кучменко Т.А., д.х.н., tak1907@mail.ru; Порядина Д.А., sibilda1@yandex.ru (Министерство обороны Российской Федерации. Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого; Воронежский государственный университет инженерных технологий).

6. Разработан более точный метод диагностики устойчивости зубов к кариесу, что открывает путь к персонализированной стоматологии. Врачи смогут не только точно оценивать риск кариеса у каждого пациента, но и объективно контролировать эффективность профилактических процедур, таких как реминерализация эмали или применение защитных лаков.

Новость отмечена в ресурсах ТАСС. Наука.
<https://tass.ru/nauka/25639245>.

ВОРОНЕЖ, 16 ноября. /ТАСС/. Ученые Воронежского государственного университета инженерных технологий (ВГУИТ) разработали более точный метод диагностики устойчивости зубов к кариесу. Он позволяет измерить концентрацию кальция и фосфора, которые выходят из эмали при кратковременном контакте со специальным раствором, сообщили ТАСС в пресс-службе вуза.

Патент №2848244, заявка № 2025101367, приоритет от 23.01.2025 г., дата регистрации 16.10.2025 г. (Патентообладатель Евдокимова А.Ю. (Воронежский государственный медицинский университет). Способ исследования кислотоустойчивости эмали зубов пациента // Евдокимова А.Ю., Чиркова Н.В., Кучменко Т.А., Умарханов Р.У., Богатырева Ю.А.

Евдокимова А.Ю.; Чиркова Н.В.; Кучменко Т.А., д.х.н., tak1907@mail.ru; Умарханов Р.У., rus_270487@mail.ru; Богатырева Ю.А. (Воронежский государственный университет инженерных технологий, кафедра физической и аналитической химии; Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, стоматологический факультет).

7. Газовые сенсоры в технологической контроле. Изучена газовая фаза образцов сырого молока в контрольных точках (после пастеризации, образования молочного сгустка, готовый продукт) производства из него кисломолочных продуктов (кефира и йогурта) с использованием массива сенсоров с поликомпозиционными покрытиями, в том числе при контаминации пастеризованного молока бактериями *E. coli*. Оценка микробиологических показателей в образцах молока и кисломолочных продуктов проводилась в соответствии с ГОСТ 32901-2014 параллельно с анализом газовой фазы. Установлены различия в выходных данных сенсоров и состава газовой фазы молока в процессе производства пастеризованного молока и кисломолочных продуктов (кефир и йогурт), как в соответствии с нормативными документами, так и контаминированного *E.coli*. Оценена связь выходных сигналов сенсоров с содержанием питательных веществ (лактоза, аминокислоты) в молоке при контаминации, на основании которых сделаны предположения об особенностях метаболизма *E.coli*, которые необходимо учитывать при определении микробиологических показателей с помощью сенсоров. По выходным данным сенсоров оценена эффективность

применения защитных культур и эфирного масла, обладающих бактериостатическим действием, для предотвращения размножения *E. coli* при контаминации молока. Полученная погрешность оценки содержания *E. coli* для проб сырого молока и пастеризованного молока $\pm 0,2 \lg(\text{КОЕ/мл})$. Применимость полученных результатов оценили при анализе образцов молока, в том числе содержащих патогенные микроорганизмы (*Staphylococcus aureus*, *Klebsiella* spp. и др.). Полученные модели могут быть использованы для оценки наличия и количества *E. coli* в молоке на стадии пастеризации. Разработаны методические рекомендации анализа газовой фазы молока поликомпонентными пьезонановесами для оценки микробиологической безопасности и мониторинга в процессе производства кисломолочных продуктов.

*Грант РФ №22-76-10048; <https://doi.org/10.3390/engproc2025087031>
<https://doi.org/10.1007/s13197-025-06207-0>.*

Шуба А.А., к.х.н., an-mishina@yandex.ru; Умарханов Р.У., rus_270487@mail.ru; Богданова Е.В., ek-v-b@yandex.ru; Анохина Е.П., katya_anoh@mail.ru (Воронежский государственный университет инженерных технологий, кафедра физической и аналитической химии).

8. В настоящее время в России разрабатывается технология производства чая ГАБА (Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр РАН», Сочи) на основе российского сырья — селекционного сорта «Колхида», произрастающего в Краснодарском крае. Предложен комплексный подход определения аминокислотного состава чая ГАБА с использованием двух вариантов жидкостной хроматографии: высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ) для скрининга аминокислот и обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ ВЭЖХ) для определения качественного и количественного аминокислотного состава образцов чая. С применением разработанных подходов получены хроматографические профили аминокислот в 15 образцах чая ГАБА на основе сорта «Колхида». Установлено, что оба метода хроматографии позволяют определять аминокислоты в образцах в очень низких концентрациях — от 0,01 мкг/мл. Максимальное количество гамма-аминомасляной кислоты обнаружено в чае ГАБА, приготовленном из свежих листьев, которые не подвергались длительной сушке и выдерживались в бескислородных условиях от 8 часов до 4 дней.

Araslanova A.T., Platonova N.B., Bessonova E.A., Kartsova L.A. Investigation of amino acid profiles in GABA tea from the 'Colchida' cultivar: Production and analytical method optimization using HPTLC and HPLC-DAD Journal of Food Composition and Analysis (2025). Vol. 141. P. 107341. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107341>.

Арасланова А.Т., st095086@student.spbu.ru; Бессонова Е.А., к.х.н., lana_pol@inbox.ru; Карцова Л.А., д.х.н., kartsova@gmail.com (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии; кафедра органической химии).

9. ¹Предложена двухэтапная аналитическая стратегия для нецелевого скрининга и идентификации лигнанов в растительных экстрактах, которая включает выявление специфичных для лигнанов структур с помощью двумерной спектроскопии ЯМР с последующим их использованием в качестве целевых фрагментов для тандемного хромато-масс-спектрометрического анализа (ВЭЖХ-ЭРИ-МС/МС) в режиме сканирования ионов-предшественников.

Объектом для отработки предложенного подхода служила полифенольная фракция экстракта багульника болотного (*Rhododendron tomentosum*), в которой впервые были идентифицированы восемь лигнанов типа секосоларицирезинола (ксилозиды, глюкозиды и рамнозид), включая одно ранее неизвестное соединение — 5-метоксисекосоларицирезинол-9-ксилозид. Структуры пяти соединений были дополнительно подтверждены методом препаративной ВЭЖХ и ЯМР. Все полученные соединения обладали высокой антиоксидантной активностью (по тестам FRAP и DPPH), сопоставимой с активностью аскорбиновой кислоты. Предложенная аналитическая стратегия может рассматриваться как эффективный инструмент для быстрого и надежного группового скрининга и идентификации производных лигнанов в растительных экстрактах.

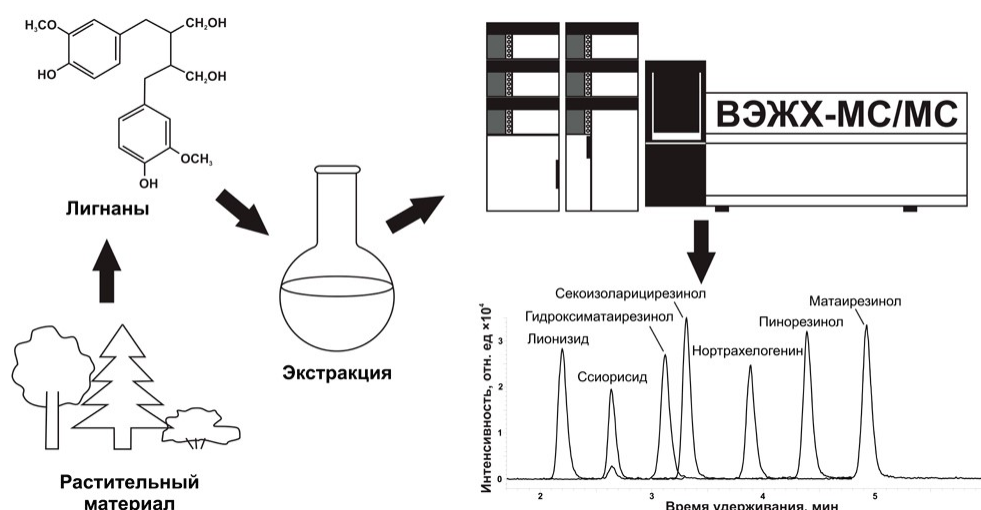
Faleva A.V., Falev D.I., Onuchina A.A., Ulyanovskii N.V., Kosyakov D.S. Bioactive Lignan Glycosides in Stems of Marsh Rosemary (Rhododendron tomentosum): Non-Targeted Screening and Identification Using Two-Stage Analytical Strategy // Antioxidants, 2025, 14(4), 447.

DOI: 10.3390/antiox14040447.

²Разработан подход к быстрому и высокочувствительному определению семи важнейших биологически активных лигнанов – лионизида, ссиорисида, гидроксиматаирезинола, секоизоларицирезинола, нортрахелогенина, пинорезинола и матаирезинола – в растительных экстрактах с использованием ультраэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией в режиме мониторинга заданных реакций. Исследованы особенности ионизации аналитов в условиях ионизации электрораспылением и химической ионизации при атмосферном давлении. Изучены тандемные масс-спектры выбранных ионов-предшественников, а также основные направления их диссоциации, активированной соударениями (ДАС). Оптимизация параметров хроматографического разделения в режиме обращенно-фазовой ВЭЖХ и масс-спектрометрического детектирования позволила разработать методику одновременного определения семи аналитов в растительных экстрактах с продолжительностью анализа менее 6 мин и пределами обнаружения от 0.72 до 9.0 мкг л⁻¹. Разработанная методика была валидирована и апробирована при анализе экстрактов компрессионной древесины хвойных и лиственных деревьев, стеблей багульника, а также наземной части ряда ягодных растений.

Falev D.I., Voronov I.S., Onuchina A.A., Kosyakov D.S., Ulyanovskii N.V. Rapid Determination of Lignans in Plant Raw Materials by Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry // Journal of Analytical, 2025, 80(13), p. 2166–2174.

^{1,2}Фалёв Д.И., d.falev@narfu.ru; ²Фалёва А.В., a.bezumova@narfu.ru;
^{1,2}Косяков Д.С., d.kosyakov@narfu.ru; ²Ульяновский Н.В., n.ulyanovsky@narfu.ru (Северный (Арктический) федеральный университет; Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика»).



10. Азотсодержащие гетероциклические соединения (АГС) являются распространенными загрязнителями окружающей среды, требующими контроля из-за их высокой токсичности. Многие АГС являются высокополярными и лабильными соединениями, что создает сложности при их определении методами газовой и обращенно-фазовой жидкостной хроматографии. Предложен подход к одновременному экспрессному определению 20 АГС в почвах методом сверхкритической флюидной хроматографии–тандемной масс-спектрометрии с пределами количественного определения в диапазоне 0,08–1,23 мг·кг⁻¹. Разделение проводится в градиентном режиме на цианопропиловой неподвижной фазе за 6 минут. Методика была валидирована и апробирована на реальных объектах — торфяных и песчаных почвах, загрязненных продуктами трансформации ракетного топлива.

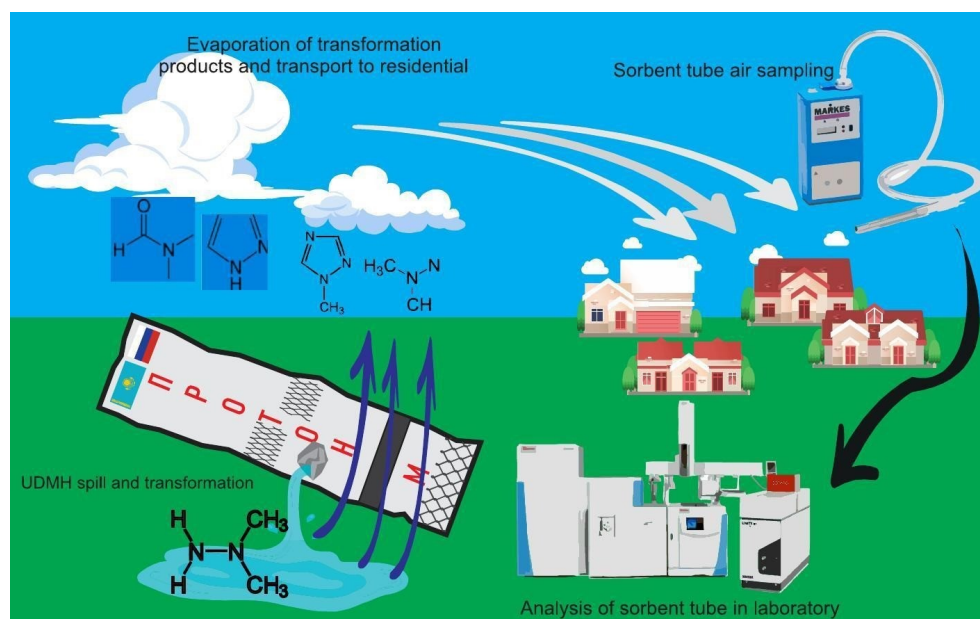
Vakhrameev S.A., Ovchinnikov D.V., Ul'yanovskii N.V., Kosyakov D.S. Simultaneous Determination of 20 Nitrogen-Containing Heterocyclic Compounds in Soil by Supercritical Fluid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry // Molecules, 2025, 30(6), 1236. DOI: 10.3390/molecules30061236.

Овчинников Д.В., d.ovchinnikov@narfu.ru; Косяков Д.С., d.kosyakov@narfu.ru; Ульяновский Н.В., n.ulyanovsky@narfu.ru (Северный (Арктический) федеральный университет; Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика»).

11. ¹Предложен способ количественного определения семи продуктов трансформации НДМГ в воздухе: 1,1,4,4-тетраметил-2-тетразена (ТМТ), N-нитрозодиметиламина (НДМА), N,N-диметилформаида (ДМФ), 1-метил-1H-1,2,4-триазола (МТА), диметиламиноацетонитрила (ДМААН), 1-метил-1H-пиразола (МПА) и N-метилформаида (МФА). Метод основан на отборе проб воздуха с использованием сорбционных трубок с последующим анализом

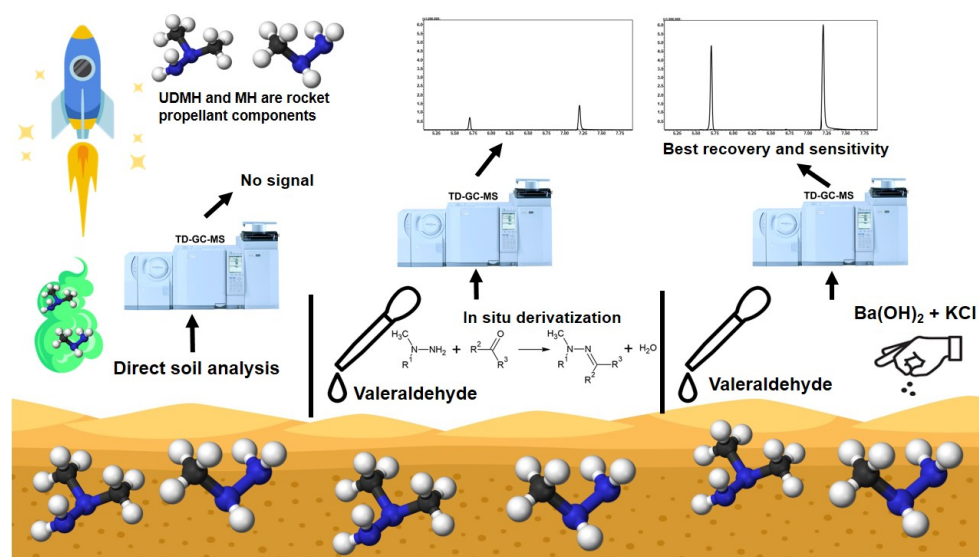
методом термодесорбционной газовой хроматографии - масс-спектрометрии высокого разрешения на основе орбитальной ионной ловушки Orbitrap (ТД-ГХ-МСВР). Оптимизация условий сорбционного концентрирования аналитов показала, что сорбенты Tenax TA и Carboxograph 1TD обеспечивают наилучшие показатели улавливания продуктов трансформации НДМГ. Разработанная методика обеспечивает пределы обнаружения (ПО) от 0,04 до 0,5 пг/трубку, что позволяет детектировать следовые концентрации в воздушных пробах. Валидация методики продемонстрировала высокую линейность ($R^2 > 0,998$) и хорошие степени извлечения (76–112%) для всех аналитов в различных диапазонах концентраций. Методика успешно применена для анализа проб воздуха, отобранных над песчаной почвой, загрязнённой НДМГ. Результаты выявили значительные вариации концентраций продуктов трансформации во времени.

Bukenov B., Kenessov B., Baimatova N., Ul'yanovskii N.V., Popov M.S., Kosyakov D.S. Quantification of rocket fuel transformation products in air using sorbent tubes sampling and thermal desorption GC – high-resolution mass spectrometry (Orbitrap) // Microchemical Journal, 2025, 209, 112879. DOI: 10.1016/j.microc.2025.112879.



²Разработан простой и чувствительный микромасштабный аналитический подход для одновременного определения токсичных компонентов ракетного топлива – метилгидразина (МГ) и несимметричного диметилгидразина (НДМГ) в песчаной почве. Метод основан на офф-лайн *in situ* дериватизации аналитов алифатическими альдегидами с последующим анализом образующихся гидразонов методом термической десорбции – газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ТД-ГХ-МС). Для облегчения термической десорбции предложена модификация матрицы введением гидроксида бария и хлорида калия. Из всех испытанных дериватирующих агентов наибольшую эффективность показал пентаналь. В оптимальных условиях ТД (300 °С, 10 мин) были достигнуты пределы обнаружения 12 и 15 мкг·кг⁻¹ для МГ и НДМГ соответственно, а линейный диапазон охватывал четыре порядка величины. Использование матрично-согласованной

градуировки обеспечило хорошую правильность (74–98 %) и прецизионность (относительное стандартное отклонение <20%) анализа. Разработанная методика отличается быстротой и экологической безопасностью. Она успешно апробирована в исследованиях динамики деградации ракетного топлива в почве под действием атмосферного кислорода.



Popov M.S., Kosyakov D.S., Ul'yanovskii N.V. *In situ derivatisation method for analysis of N,N-dimethylhydrazine and methylhydrazine in sandy soil by thermal desorption gas chromatography–mass spectrometry // International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2025, 105(20), p. 9196–9211. DOI: 10.1080/03067319.2025.2497470.

¹Букенов Б.О., bukenov@cfhma.kz; ^{1,2}Попов М.С., m.popov@narfu.ru; ^{1,2}Косяков Д.С., d.kosyakov@narfu.ru; ^{1,2}Ульяновский Н.В., n.ulyanovsky@narfu.ru (Северный (Арктический) федеральный университет; Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика»).

12. Разработана комбинированная аналитическая стратегия для нецелевого скрининга и идентификации полифенольных метаболитов растений и комплексной характеристики экстрактивных веществ компрессионной древесины осины. Для предварительного поиска основных компонентов и специфических структур полифенолов в сложных по составу растительных экстрактах использовалась двумерная спектроскопия ЯМР в сочетании с экспертной системой ACD Structure Elucidator. Полученные предварительные результаты нецелевого скрининга использовались в качестве основы для идентификации вторичных метаболитов на молекулярном уровне методами жидкостной хроматографии – масс-спектрометрии высокого разрешения (ВЭЖХ-МСВР) в режиме информационно-зависимой регистрации тандемных масс-спектров. Это позволило обнаружить и надежно идентифицировать 28 фенольных соединений, в том числе флавоноиды — аромандрин и нарингенин, а также их гликозилированные производные (в основном О-гликозиды) и метиловые эфиры. В меньших количествах обнаружены таксифолин и его 7-О-гликозид. Среди прочих соединений были выявлены п-кумаровая кислота и её рутинозид, а также небольшие количества гликозилированной феруловой кислоты. Деятнадцать из обнаруженных соединений были впервые

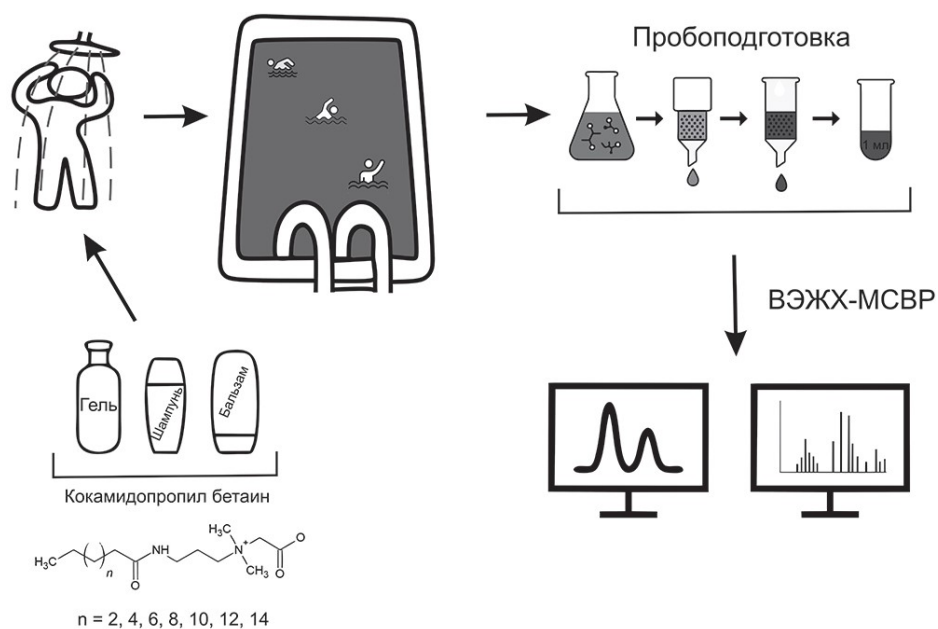
идентифицированы в древесине осины. Результаты были подтверждены препаративным выделением индивидуальных соединений и их исследованием методами спектроскопии ЯМР.

Faleva A.V., Falev D.I., Onuchina A.A., Ulyanovskii, N.V., Kosyakov D.S. Comprehensive identification of polyphenolic metabolites in aspen knotwood by combination of 2D NMR and HPLC-HRMS // Phytochemical Analysis, 2025, 36(1), p. 307–316. DOI: 10.1002/pca.3443.

Фалёва А.В.. a.bezumova@narfu.ru; Фалёв Д.И., d.falev@narfu.ru; Косяков Д.С.. d.kosyakov@narfu.ru; Ульяновский Н.В., n.ulyanovsky@narfu.ru ((Северный (Арктический) федеральный университет; Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика»).

13. Разработан подход к высокочувствительному определению одного из наиболее распространенных детергентов и прекурсоров образования побочных продуктов дезинфекции воды, кокаמידопропилбетаина (КАПБ) в воде плавательных бассейнов с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием высокого разрешения (ВЭЖХ-МСВР). Применение твердофазной экстракции в качестве метода пробоподготовки позволило достичь пределов обнаружения на уровне 0.1 нг/л. Разработанный подход успешно апробирован при анализе реальных образцов воды бассейна. Полученные данные демонстрируют, что в экстрактах воды бассейна присутствуют все целевые аналиты, концентрации которых находятся в диапазоне от 0.90 ± 0.10 до 124 ± 6 нг/л. Это обуславливает необходимость регулярного мониторинга содержания КАПБ в воде бассейнов и разработки санитарно-гигиенических нормативов.

Варсегов И.С., Пиковской И.И., Сыпалов С.А., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В. Определение кокаמידопропилбетаина в воде плавательного бассейна методом высокоэффективной жидкостной хроматографии – масс-спектрометрии высокого разрешения // Масс-спектрометрия, 2025 22(2):73-81. DOI: 10.25703/MS.2025.22.08.



Варсегов И.С., Пиковской И.И., Сыпалов С.А., Косяков Д.С., d.kosyakov@narfu.ru; Ульяновский Н.В., n.ulyanovsky@narfu.ru (Северный (Арктический) федеральный университет; Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика»).

14. Методами рентгенофлуоресцентной спектроскопии и газовой хроматографии – масс-спектрометрии изучено загрязнение донных отложений Северной Двины — крупнейшей реки на северо-востоке Европы, играющей важную роль в переносе загрязняющих веществ в Белое и Баренцево моря. Проведена оценка пространственного распределения, источников и экотоксикологической значимости микроэлементов (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, As, Hg) и приоритетных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). В ходе исследования установлено, что концентрации микроэлементов не имеют значимой корреляции с удалённостью от городских агломераций, что указывает на преобладание природных (геогенных) источников их поступления. Доминирование высокомолекулярных ПАУ (например, флуорантена, пирена, бензо[а]пирена) и соотношения изомеров (например, Flt/(Flt+Pyr) > 0,5) свидетельствуют о пирогенном происхождении (т.е. сжигании угля или биомассы), а не о нефтяном источнике. Анализ выявил наличие сильных корреляций внутри групп микроэлементов (например, Cu–Zn, $r = 0,87$; Pb–Cd, $r = 0,79$). Однако корреляции между микроэлементами и ПАУ не обнаружено, что подтверждает различия в механизмах их накопления.

*Kozhevnikov A.Y., Shutskiy N.A., Lakhmanov D.E., Chukhchin D.G., Pokryshkin S.A. Trace Elements and PAHs in the Northern Dvina River Delta (Arctic Region): Spatial Accumulation Patterns, Sources, and Environmental Risks //Soil and Sediment Contamination, 2025.
DOI: 10.1080/15320383.2025.2575052.*

Малков А.В., a.malkov@narfu.ru; Кожевников А.Ю., a.kozhevnikov@narfu.ru (Северный (Арктический) федеральный университет; Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика»).

15. Представлены результаты микроэкстракционного разделения и определения неорганических форм мышьяка в природных водах методом ИСП-МС. Разделение аналитов проводилось селективной жидкостно-жидкостной микроэкстракцией комплексов As (III) с диэтилдитиокарбаматом натрия в органическую фазу. Общие содержания неорганического мышьяка и As(V) определяли анализом исходных образцов воды и их водных экстрактов, полученных после разделения неорганических форм мышьяка. Концентрация As(III) в воде рассчитывалась как разница между общей концентрацией мышьяка и концентрацией As(V). Пределы обнаружения As(III) и As(V) в воде были равны и составляли 0,010 мкг/л в диапазоне линейности от 0,05 до 100 мкг/л, $R^2 = 0,9998$. Аналитическая процедура была валидирована с использованием модельных образцов воды и реальных образцов питьевой и природной воды.

Темердашев З.А. и др. Микроэкстракционное разделение и определение неорганических форм мышьяка методом масс-спектрометрии с индуктивно

связанной плазмой в природных водах // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 8. С. 798-808.

Методами оптической эмиссионной и масс-спектрометрии определено содержание 40 элементов в образцах молодого вина, а также после их осветления. Методами многомерного анализа установлено наличие кластерной структуры в обработанных молодых винах.

Temerdashev Z. A. et al. The effect of organic fining agents on the elemental composition of young Cabernet Sauvignon wine // Journal of Food Composition and Analysis. 2025. Vol. 147. № 108055.

Темердашев З.А., д.х.н., temza@kubsu.ru (Кубанский государственный университет, кафедра аналитической химии, Краснодар).

16. Разработаны методики спектрофотометрического определения содержания подвижного алюминия в почве с применением ализаринового красного С (S) и алюминона. Они апробированы на пробах почв различного генезиса. Показано, что применение ализаринового красного С (S) и алюминона позволит определять меньшее содержание подвижного алюминия в почве по сравнению с диапазоном, установленном в ГОСТ 26485. Предложена методика определения подвижной серы в почвенных вытяжках в присутствии ортанилового К двумя методами – спектрофотометрическим и титриметрическим с хлоридом бария. Разработаны алгоритмы анализа и определены метрологические характеристики методик. Данные методы анализа почв могут служить альтернативой турбидиметрическому определению по ГОСТ 26490.

Лоханина С.Ю., swetlei@mail.ru; Трубачева Л.В., trub12@mail.ru (Удмуртский государственный университет, кафедра фундаментальной и прикладной химии, Ижевск).

17. Разработана простая экспрессная методика газохроматографического определения этанола в безалкогольных напитках (квас, виноградный сок, безалкогольное пиво). Методика основана на парофазной микроэкстракции аналита в каплю (1 мкл) дистиллированной воды, находящуюся над поверхностью анализируемой жидкости на кончике иглы стандартного микрошприца. Про этанола составляет $(3-6) \cdot 10^{-5}$ % об., время параллельного определения, включающее парофазную экстракцию, не превышает 5 минут. Правильность методики подтверждена методом «Введено – найдено», относительное СКО не превышает 7 % при концентрации этанола в пробе 10^{-2} % об.

Родинков О.В., Давлетбаева К.Н. // Журн. аналит. химии. 2025. Т. 80. № 8. С. 809-816.

Родинков О.В., д.х.н., o.rodinkov@spbu.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, кафедра аналитической химии).

18. Определение содержания микропластика в природных водах является актуальной задачей при оценке степени загрязнения водоемов, выявлении источников загрязнения, а также при оценке потенциальных рисков для обитателей водных экосистем и потребителей воды. Решение такой задачи главным образом лежит в области аналитической химии, при этом важнейшую роль играют методы разделения частиц. В настоящей работе впервые показана возможность применения метода проточного выделения микропластика во вращающейся спиральной колонке с использованием системы вода–масло для оценки содержания микропластика в речной воде. Микропластик в выделенных образцах частиц определяли методом пиролитической газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (Пиро-ГХ-МС). В работе анализировали пробу воды из Москвы-реки. С помощью системы вода–касторовое масло из речной воды выделено 1.8 мг/л взвешенных частиц. Процедура разложения органического вещества (30% H_2O_2) пробы позволила уменьшить массу выделенных частиц до 0.4 мг/л. Остаточная фракция изучена методом оптической микроскопии. По данным Пиро-ГХ-МС общее содержание микропластика в исследуемой пробе воды составило 109 мкг/л, что составляет 1.4% от общего содержания взвешенных частиц в исследуемой пробе воды. Идентифицированы пять видов микропластика, а именно: полиэтилен, полипропилен, акрилонитрилбутадиенстирол, акрилбутадиеновый каучук и полиэтилентерефталат, среди которых основным видом является полиэтилен (97 мкг/л). Предложенный метод перспективен для оценки содержания микропластика в природных водах.

Ермолин М.С., к.х.н., ermolin@geokhi.ru (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва).

19. Анализ нефтепродуктов методом АЭС-ДДП. Разработана методика анализа нефтепродуктов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с двухструйной дуговой плазмой (АЭС-ДДП). Методика может быть использована для анализа как лёгких, так и тяжёлых фракций нефтепродуктов. Установлено, что оптимальным способом пробоподготовки является разбавление проб органическим растворителем с последующим выпариванием на графитовом порошке. Показано, что метод ДДП-АЭС обеспечивает возможность анализа образцов нефтепродуктов без использования нестандартных систем ввода проб в источники атомизации и трудоёмких процедур пробоподготовки. ПО аналитов при АЭС-ДДП анализе находятся на уровне от $n \cdot 10^{-4}$ до $n \cdot 10^{-1}$ % мас. Установлено хорошее соответствие результатов ДДП-АЭС и ИСП-АЭС анализа образцов нефтепродуктов.

Медведев Н.С., к.х.н., medvedev@niic.nsc.ru ((Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, аналитическая лаборатория. Новосибирск).

20. Охарактеризованы исходные асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) и продукты их электродуговой плазменной переработки в

углеродные материалы. Для описания матрицы АСПО проведены: определение механических примесей по ГОСТ 6370-2018; фракционирование методом SARA-анализа (осаждение асфальтенов n-гексаном, очистка в аппарате Сокслета; разделение мальтенов колоночной адсорбционной хроматографией на силикагеле с последующим элюированием фракций). Фазовый и структурный контроль углеродных материалов осуществляли методом рентгеновской дифрактометрии (XRD 7000s, идентификация по ICDD PDF 4+); на основании дифрактограмм оценивали степень графитизации и наличие примесей (Fe, Si, Al, Ni/оксиды), что использовано для выбора оптимального режима обработки (100–125 А, 25–30 с). Химические изменения органической части контролировали ИК-Фурье спектроскопией (ATR, 700–4000 см⁻¹) с расчетом интегральных спектральных коэффициентов (ароматичность Ar, окисленность Ox, разветвленность Bn, относительное содержание сульфоксидных фрагментов SO) для полуколичественного сравнения образцов. Термостойкость и остаточное содержание легкоразлагаемых компонентов оценивали методами ТГА/ДСК/ДТА (TGA/DSC 3+; N₂; 30–1050 °С). Элементный состав (в т.ч. S, Cl, Fe, Si, Mg, Al, Ca) определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (EDX-8000, расчет по методу фундаментальных параметров), показано снижение содержания примесей в углеродных материалах при усилении режима плазменной обработки. Гранулометрический состав оценивали методом лазерной дифракции (SALD-2300) после ультразвукового диспергирования; морфологию и распределение минеральных включений — методом СЭМ/ЭДС. В совокупности комплекс аналитических методов обеспечил идентификацию фаз, полуколичественный контроль функциональных групп и примесного состава, а также критерии оптимизации параметров плазменной переработки.

Петрова Ю.Ю., к.х.н., petrova_juju@surgu.ru (Сургутский государственный университет; Институт естественных и технических наук).

НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА

Всероссийские мероприятия (2025 г.)

23-25 апреля, Москва, МВЦ «КрокусЭкспо»: 23-я Международная выставка лабораторного оборудования и химических реактивов «**AnalyticaExpo'2025**»; Участие совета в организации научной программы выставки

19 – 23 мая, Санкт-Петербург: XIII Всероссийская конференция «**Экоаналитика-2025**» Организаторы: ОХНМ РАН, НСАХ РАН, ЭАА «Экоаналитика», Санкт-Петербургский государственный университет.: <https://events.spbu.ru/events/ecoanalytics>

21 – 27 сентября, Краснодар: VII Всероссийский симпозиум «**Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии**». Организаторы: Министерство науки и высшего образования РФ, НСАХ РАН, ГЕОХИ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Кубанский государственный университет. <http://analytconf.ru>

29 сентября – 03 октября, Саратов, Саратовский ГУ: Конференция «**Оптические хемо- и биосенсоры**» в рамках XIII Симпозиума по оптике и биофотонике. Организаторы: Саратовский ГУ, Комиссия по биохимическим методам

13 – 17 октября, Москва, ИФХЭ РАН: XI Всероссийская конференция с международным участием «**Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы**» Организаторы: ВМСО, Комиссия по масс-спектрометрии совета

19 – 21 ноября, Воронеж, Воронежский ГУ: XVI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «**Ионообменные материалы в сорбционных, хроматографических и мембранных процессах «ИОНИТЫ-2025»**». Организаторы: Воронежский ГУ, ОКХ

27 августа, Москва: **49-я Годичная сессия НСАХ РАН**

Молодежные школы были организованы в вузах Москвы, Санкт-Петербурга, Саратова, Самары, Екатеринбурга, Нижнего Новгорода.

Работали Московский и Санкт-Петербургский семинары по аналитической химии.

49-я Годичная сессия НСАХ РАН

27 августа 2025 г. в Москве в конференц-зале ГЕОХИ РАН в смешанном (очном и on-line) формате прошла 49-я Годичная сессия совета. Программа сессии включала 1) Вступительное слово председателя совета академика РАН Ю.А. Золотова; 2) доклад «Научные итоги 2024 г.» (докладчик д.х.н., профессор А.Ю. Богомолов); 3) сообщение «Научно-организационная работа совета в 2024 - 2025 гг. и ближайшие планы» (ученый секретарь совета И.Н. Киселева); 4) доклад «О подготовке кадров химиков-аналитиков в российских вузах и колледжах» (д.х.н., профессор

В.Ю. Гуськов); 5) доклад «Основные направления деятельности Ассоциации аналитических центров «Аналитика» (президент ассоциации д.х.н. В.Б. Барановская); 6) Информацию о состоянии дел с российскими научными журналами (член-корр. РАН В.П. Колотов); 7) Общую дискуссию и утверждение отчета за 2024 г.

Открыл сессию председатель совета академик РАН Ю.А. Золотов¹. Членами совета было поддержано предложение Юрия Александровича о присуждении званий «Почетный член совета» академику РАН Б.Ф. Мясоедову и д.х.н., профессору Л.Н. Москвину (Санкт-Петербургский государственный университет). Б.Ф. Мясоедов внес предложение о восстановлении звания «Иностраный член совета», которое также было поддержано.

В докладе А.Ю. Богомоллова о научных итогах 2024 г. (по материалам отчета НСАХ РАН за 2024 г.²), были приведены статистические данные: в 2024 г. в отчет поступило 319 аннотаций работ от 296 авторов из 85 научных групп. Из них 194 работы опубликованы в 33 российских (в основном, в «Журнале аналитической химии», журналах «Заводская лаборатория» и «Аналитика и контроль») и 98 зарубежных журналах. 20 статей – в журналах с импакт-фактором более 5. Две трети работ посвящены методам аналитической химии, 5% анализу реальных объектов, очень мало работ было по обнаружению и идентификации. Из методов на первом месте работы по спектроскопическим методам, примерно в равных долях представлены хроматографические, электрохимические и биохимические методы. А.Ю. Богомоллов перечислил мировые тенденции развития аналитической химии в 2024 г. (по отчетам немецких аналитических сообществ): «Многомерные и гибридные методы разделения продолжают повышать разрешение аналитических методик. В элементном анализе впечатляют новые разработки в области МС-ИСП. А в археометрии появились неразрушающие методы анализа *in situ*, 3D-печать стимулирует исследования в области электрохимического анализа. Аналитический контроль непрерывных технологических процессов все больше реализуется в технологии “лаборатория на чипе”. Сообщают о новых разработках в области КР-спектроскопии с использованием оптоволокна с жидким сердечником». Российская аналитическая химия развивается, по мнению докладчика, в соответствии с мировыми тенденциями, сильными сторонами ее являются работы по спектрометрическим методам, хроматографии, сенсорике, хемометрике; дополнительные усилия требуются для развития анализа в потоке, фотоники, оптоволоконным решениям, анализу реальных объектов. Докладчиком был высказан также ряд пожеланий, касающихся формирования отчета совета: усовершенствовать табличную форму сбора данных, оформлять ссылки в едином формате, а также публиковать результаты научной деятельности российских аналитиков ежегодно в виде обзорной статьи.

¹ Вступительное слово Ю.А. Золотова печатается отдельно

² С отчетом НСАХ РАН за 2024 г. можно познакомиться на сайте совета www.rusanalytchem.org

Научно-организационная деятельность совета в 2024 г. (И.Н. Киселева) включила всероссийские конференции, работу Московского и Санкт-Петербургского семинаров по аналитической химии, работу комиссий и региональных отделений совета. Так, Комиссия по хемометрике организовала 14th Winter Symposium on Chemometrics (конец февраля, Цахкадзор, Армения); совет участвовал с двумя семинарами в научной программе 22-ой Международной выставки «АналитикаЭкспо'2024» (16 – 18 апреля, Москва); Объединенная комиссия по хроматографии провела форум «Хроматографические материалы в приборостроении (18-19 апреля, Москва, ИФХЭ РАН); Комиссия по электрохимическим методам совместно с Уральским отделением совета организовали XI Всероссийскую конференцию по электрохимическим методам анализа «ЭМА-2024» (12 – 17 мая, Екатеринбург); на XXII Менделеевском съезде по общей и прикладной химии в Сочи (07-12 октября) работали секция «Аналитическая химия: новые методы для химических исследований и анализа» и симпозиум по хроматографии; 27 июня в Москве в on-line формате состоялась 48-я годовичная сессия совета.

Важным событием 2024 г. стало заседание бюро совета 13 февраля. Статья-хроника об этом заседании публикуется в «Журнале аналитической химии».

В 2025 г. совет организовал 4 мероприятия на 23-й Международной выставке «АналитикаЭкспо'2025» (23 – 25 апреля); С 19 по 23 мая в Санкт-Петербурге успешно прошла XIII Всероссийская конференция «Экоаналитика-2025», которую организовали сотрудники кафедры аналитической химии СПбГУ; Объединенная комиссия по хроматографии провела Симпозиум по ионной хроматографии (26 июня, ГЕОХИ РАН); 27 августа на базе ГЕОХИ РАН состоялась 49-я Годичная сессия совета; с 21 по 27 сентября под Туапсе прошел VII Всероссийский симпозиум «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии», организованный кафедрой аналитической химии Кубанского государственного университета; с 13 по 17 октября в Москве на базе ИФХЭ РАН состоялась Конференция по масс-спектрометрии (организатор от совета – Комиссия по масс-спектрометрии). В план мероприятий 2026 г. включены 15th Winter Symposium on Chemometrics (конец февраля, Узбекистан); 24-я Международная выставка лабораторного оборудования и химических реактивов «АналитикаЭкспо'2026» (апрель, Москва); V Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии» (20 – 26 сентября, пос. Ольгинка Туапсинского района). Организаторы от НСАХ РАН: Кубанский государственный университет Комиссия по спектроскопическим методам анализа, XII Конференция «Аналитика Сибири и Дальнего Востока - 2026» (6 – 11 октября, Владивосток); семинары по аналитической химии (Москва, Санкт-Петербург); годовичная сессия НСАХ РАН. На осень 2027 г. намечено проведение V Съезда аналитиков России.

О подготовке кадров химиков-аналитиков в российских вузах и колледжах рассказал д.х.н., профессор, зав. кафедрой аналитической химии Уфимского университета науки и технологий В.Ю. Гуськов. Химики-аналитики являются самой востребованной специальностью среди химиков,

при этом число запросов на этих специалистов в 2-3 раза превышает число выпускаемых. Аналитическая химия в программе вузов является не отдельным направлением, а образовательной программой подготовки, а каждый вуз имеет право формировать свои программы. Разнообразие таких программ довольно широко: аналитическая химия (4 года в 14 вузах и 5 лет в 12 вузах), аналитическая химия и химическая экспертиза (4 года, 7 вузов), химическая технология и аналитический контроль производства (4 года, 3 вуза), экспертиза и аналитические методы контроля качества продукции (5 лет, 1 вуз), контроль качества лекарственных средств (4 года, 1 вуз). Более 10 вузов страны готовят химиков-аналитиков в магистратуре (2 года), программы подготовки также разнообразны. Готовят техников и техников-технологов для работы в производственных аналитических лабораториях в колледжах и ПТУ (срок обучения от 2 до 5 лет). При этом существует всего один профессиональный стандарт для среднего профессионального образования химиков-аналитиков. Каждый вуз ежегодно выпускает в среднем от 20 до 50 химиков-аналитиков (бакалавры, специалисты, магистры), что хронически не удовлетворяет запрос производства. По мнению докладчика, можно предпринять ряд мер для исправления ситуации, в том числе предложить ввести в перечень специальностей подготовки высшего образования новое направление 04.05.02 «Химический анализ», либо ходатайствовать перед Минобрнауки о введении квот для подготовки специалистов по направлению 04.05.02/04.03.01 «Химия» по программе «Аналитическая химия», ходатайствовать перед Минтруда о добавлении в перечень профессиональных стандартов стандарт «Специалист по химическому анализу», ходатайствовать перед Минобрнауки о выделении субсидии на реализацию региональных проектов по модернизации системы подготовки кадров в сфере аналитической химии.

Доклад В.Ю. Гуськова вызвал дискуссию, в которой участвовали Ю.А. Золотов, В.И. Вершинин, В.Б. Барановская, М.А. Проскурнин, А.Т. Лебедев, Б.К. Зуев, С.Н. Штыков. Ввиду сложности вопроса и неоднозначности и многоплановости предлагаемых решений Комиссия по преподаванию предложила провести отдельное заседание, посвященное этому вопросу.

Об основных направлениях деятельности Ассоциации аналитических центров «Аналитика», рассказала президент Ассоциации д.х.н. В.Б. Барановская, являющаяся в совете представителем ассоциации. ААЦ «Аналитика» появилась благодаря инициативе зам. председателя Госстандарта СССР академика РАН В.И. Пустовойта и председателя НСАХ РАН академика РАН Ю.А. Золотова и была зарегистрирована в Московской регистрационной палате в 1991 г. Первым президентом ассоциации был академик Ю.А. Карпов, а первым исполнительным директором – Л.Е. Лapidус. Ассоциация является некоммерческой организацией, ее высший орган – общее собрание членов ассоциации. Руководящим органом является правление под руководством президента и исполнительного директора. Деятельность ассоциации складывается из аккредитации аналитических лабораторий (ассоциация, по существу, создала в стране систему аккредитации аналитических лабораторий, результаты работы российских лабораторий признаны в мировом сообществе) и стандартизации методов

аналитического контроля. В части метрологии ассоциация стала проводником изменений, произошедших на стыке веков: изменение концепции неопределенности, появление новых метрологических документов, реформа системы обеспечения действующих измерений. Ассоциация активно работает с международными организациями метрологического профиля. Текущая деятельность: ассоциация насчитывает более 100 организаций – 20 НИИ, 3 вуза, более 70 испытательных лабораторий производственного сектора, разработчиков стандартных образцов, производителей лабораторного оборудования. Президент ассоциации – В.Б. Барановская, исполнительный директор – И.В. Болдырев. Ассоциация проводит ежегодные собрания с насыщенной программой. Учреждены две награды – почетный знак «За заслуги в аналитическом контроле» и почетная премия «Серебряный моль» вручаются российским аналитикам и лабораториям за особые достижения в области аналитического контроля. Ассоциация – член международных организаций – Eurachem, CITAC, ILAK, APLAC и APAC. В.Б. Барановская – национальный представитель России в Eurachem, ILAK, CITAC. Ассоциация имеет свой сайт aas-analitica.org. Технический комитет ассоциации активно занимается разработкой стандартов. Переводятся на русский язык руководства по валидации аналитических методик.

Член-корр. РАН В.П. Колотов рассказал о текущей ситуации с изданием российских научных журналов. В 2024 г. при праздновании 300-летия РАН вышло постановление правительства о том, что все академические научные русскоязычные журналы переводятся в издательство «Наука», но из-за неготовности издательства к выполнению этого решения имела место существенная задержка в их выпуске. При этом англоязычные версии ряда журналов, в том числе ЖАХ, остались в издательстве Pleiades Publishing и продолжали выходить в положенные сроки. В связи с усложнившейся международной обстановкой, закрытием международных каналов связи, недоступностью индексов научного цитирования возникла необходимость в создании единого государственного перечня российских научных журналов, так называемого «белого списка»

(регулятор – Правительство РФ), в который вошли русскоязычные журналы, входившие в Web of Science, Scopus и др. системы. Для этого была сформирована Межведомственная рабочая группа. В апреле 2025 г. базовый вариант списка был подготовлен; после утверждения Правительством он должен будет вступить в силу. Актуализируются как перечень изданий, так и методика категорирования журналов с качественно новым отношением к отечественным научным журналам. Так, согласно новой методике оценки качества журналов, ЖАХ и «Заводская лаборатория» становятся журналами 1 уровня белого списка, «Аналитика и контроль» – 2-го уровня. По существу, происходит замена международных наукометрических показателей на национальные. ЖАХ является международным журналом. Так, в 2024 г. было опубликовано 124 статьи на русском языке и 95 на английском (из них 20 статей от русскоязычных авторов), в 2025 г. – 53 статьи на русском языке и 63 на английском. В августе 2025 г. подписчики получили 8-й номер ЖАХа на русском языке и два (!) 8-х номера на английском (изд «Наука» и «Pleiades

Publishing»), причем содержания двух англоязычных версий не совпадают. Издательство «Наука» в соответствии с Госзаданием стало издавать английскую версию журнала, дословно переводя русский вариант журнала. Ситуация сложилась парадоксальная.

В заключение председатель заседания Ю.А. Золотов поставил вопрос об утверждении отчета совета за 2024 г. Возражений не было.

И.Н. Киселева

**Вступительное слово
председателя Научного совета РАН по аналитической химии
академика РАН Ю.А. Золотова на 49-ой годичной сессии совета
27 августа 2025 года**

Глубокоуважаемые коллеги! Мы присутствуем на первой сессии научного совета нового состава, утвержденного в этом году. Я приветствую участников сессии, особенно новых членов совета. К сессии завершено формирование структуры совета и комплектование состава комиссий и региональных отделений совета. Все сведения об этом имеются на сайте совета. Теперь нужно подготовить планы работы подразделений совета на 5 лет.

Задача нашей сессии - ознакомиться с достижениями за 2024 год, обсудить несколько важных вопросов текущей деятельности и наметить планы.

За 2024 г. и начало 2025 г. российские аналитики выполнили хорошие работы по ряду направлений, например по масс-спектрометрии, жидкостной экстракции, жидкостной хроматографии, хемометрике. Уменьшившаяся доступность приборов с Запада частично компенсируется сейчас техникой с Востока, частично российскими устройствами. Отечественные приборы в определенной степени удовлетворяют в настоящее время потребности атомно-эмиссионной спектрометрии, спектрофотометрии, спектрометрии ионной подвижности, газовой хроматографии, капиллярного электрофореза, электрохимических методов определения. Ежегодная выставка «Аналитика» привлекает многочисленных специалистов. В 2024 и 2025 гг. научный совет организовал на ней несколько мероприятий, так на выставке 2025 г. - три мероприятия. Российской академией наук учреждена премия им. М.С. Цвета, которая будет один раз в два года присуждаться за выдающиеся работы в области наук о разделении, особенно хроматографии.

За отчетный год защищено несколько докторских диссертаций по аналитической химии, например, М.Г. Первой (Екатеринбург) по идентификации полихлорбифенилов, А.Ю. Шишовым и И.И. Тимофеевой (Петербург) по жидкостной экстракции и смежным вопросам. Поздравим новых докторов наук.

В период между сессиями научного совета член-корреспондент РАН А.К. Буряк отметил свое 65-летие, доктора физико-математических наук М.Н. Филиппов и А.Л. Померанцев - 70-летие. 80-летний юбилей перешагнули

доктора технических наук А.Г. Ревенко, Б.Д. Калинин и доктор химических наук В.Ф. Селеменев. 90-летний - доктор химических наук В.В. Малахов. Руководители совета поздравили также со знаменательными датами докторов химических наук Х.З. Брайнину, Э.П. Медянцеву, Т.С. Папину, Е.Г. Кулапину, Л.Г. Шайдарову.

К сожалению, совет потерял за прошедший год ряд своих членов. 15 июля 2024 г. ушла из жизни к.х.н. М.М. Залетина, в течение более 30 лет работавшая генеральным директором ассоциации «Экоаналитика», основной организатор конференций «Экоаналитика». 22 июля скончалась д.т.н. В.А. Орлова, входившая в состав совета прошлых созывов. В сентябре 2024 г. мы узнали о кончине д.х.н. Э.Р. Оскотской, которая длительное время руководила кафедрой аналитической химии Орловского университета. Большой потерей для аналитиков страны был уход их жизни 21 октября 2024 г. члена бюро совета, председателя Комиссии по электрохимическим методам анализа д.х.н. Г.А. Евтюгина. Геннадий Артурович заведовал кафедрой аналитической химии Казанского (Приволжского) федерального университета. 11 ноября 2024 г. скончался профессор Саратовского университета д.х.н. А.Н. Панкратов. 6 июня 2025 г. ушел из жизни Г.И. Барам. Предлагаю почтить их память.

Программа работы сессии была разослана. Если нет вопросов и замечаний по этой программе, предлагается ее утвердить.

О российских кафедрах аналитической химии

В нашей стране немало кафедр, которые на хорошем уровне проводят исследования в области аналитической химии; готовят высококвалифицированных специалистов - аналитиков, будучи выпускающими, успешно преподают общий курс аналитической химии. Примерами таких кафедр могут служить кафедры ряда классических университетов (Московского, Петербургского, Саратовского, Казанского, Самарского, Кубанского, Воронежского, Омского), Уральского федерального университета, единичных политехнических и технологических (Томского). В специализированных отраслевых вузах, которых в стране большое число, таких кафедр немного. Можно назвать кафедры Воронежского университета инженерных технологий (в аспекте научной работы, а ранее – в аспекте подготовки кадров высшей квалификации), МИРЭА- МИТХТ (в аспекте подготовки учебников), МИСиС (в аспекте нацеленности на нужды отрасли). Число вузовских публикаций по аналитической химии сопоставимо с числом публикаций из научно-исследовательских институтов. Многие вузовские аналитики имеют широкую известность в научном мире.

Однако есть беспокоящие обстоятельства. Во многих классических и федеральных университетах кафедр аналитической химии нет или они себя не проявляют. В некоторых университетах кафедры были ликвидированы или слиты с другими кафедрами. Даже сильные кафедры иногда расширяли свое название, прибавляя к аналитической химии, скажем, фармацевтическую химию, химическую экологию, сертификацию или еще что-нибудь.

Считается, что это укрепляет позиции кафедры; в тактическом плане это, возможно, и справедливо, но косвенно это подрывает статус аналитической химии, науки самодостаточной.

Научная тематика некоторых, даже сильных кафедр, иногда смещается с сторону других наук – фармацевтики, медицины, геохимии и т.д. Это хорошо, когда решается крупная задача, когда от аналитиков требуется привлечение их интеллектуального потенциала; в этом случае демонстрируется важность, необходимость аналитической химии как науки, а не только возможность отшлифовать известную методику или помочь анализами.

С уходом тематики в другие сферы связан вопрос о заведующих кафедрами. Нередко даже в хороших университетах заведующими назначают не аналитиков. Конечно, это бывало и раньше: кафедрой аналитической химии Петербургского университета несколько десятилетий заведовал специалист по органической химии и химической кинетике коллега Д.И. Менделеева Н.А. Меншуткин, написавший известный учебник по аналитической химии. Целую серию учебников по аналитической химии подготовил в МИТХТ физико-химик А.А. Ищенко. И тем не менее очевидно: лучше, чтобы кафедру возглавлял аналитик.

Особое беспокойство вызывают отраслевые специализированные вузы. Еще в 1930-е гг. наш аналитик-классик Н.А. Тананаев, хорошо знавший и производственный аналитический контроль, ставил вопрос о том, чтобы промышленные вузы выпускали специалистов по аналитическому контролю для своих отраслей – инженеров-аналитиков. Начиная с 1970-х гг. в серии писем во властные структуры и в публикациях я ставил тот же вопрос, но уже в более широком плане – речь шла вообще о специализированных вузах, в том числе фармацевтических, сельскохозяйственных, медицинских и др. Некоторые ведомства задачу подготовки аналитиков поняли сами. Бывший Минсредмаш создал и сейчас существующую кафедру физико-химических методов анализа в Уральском политехническом институте. Попытки сделать выпускающие кафедры с переменным успехом делали и некоторые другие отраслевые вузы, но в целом проблема не решена и сейчас.

Но озабоченность, касающаяся специализированных вузов, не только и даже не столько в выпуске специалистов-аналитиков. Важнее то, насколько эти нужды, особенности отрасли учитываются в преподавании аналитической химии, как научная тематика кафедр вписывается в нужды отрасли. Положение кафедры укрепляется, если в научной работе она взаимодействует со специальными кафедрами или развивает методы, широко используемые в отрасли, и в преподавании делает акцент на методы и объекты, существенные для отрасли. Кафедра, скажем, металлургического вуза, научная тематика которой – хроматографический анализ биологически активных веществ, будет восприниматься в вузе чужой. Кафедра, преподающая аналитическую химию как в классическом университете, где в курсе всего понемногу, без акцентировки, сама делает себя посторонней.

Конечно, огромную роль играет личность лидера. Но надо быть Х.З. Брайниной, чтобы создать звучную школу в экономическом

(экономическом!) вузе, или Я.И. Коренманом, чтобы образовывать школу по экстракции на пустом месте, в пищевом институте. Но не все так могут, поэтому нужна общая методология.

Цель наша – много кафедр аналитической химии, хороших и разных.

Ю.А. Золотов

Журнал аналитической химии. 2024. Т.79. № 12. с.1385-1386

XIII Всероссийская конференция «Экоаналитика 2025»

С 19 по 23 мая 2025 г. в Санкт-Петербурге на базе Санкт-Петербургского государственного университета проведена XIII Всероссийская конференция по анализу объектов окружающей среды “Экоаналитика-2025”. Конференция проходила под эгидой Отделения химии и наук о материалах РАН, Научного совета РАН по аналитической химии, СПбГУ и Эколога-аналитической ассоциации “Экоаналитика”. В работе конференции приняли участие 230 участников из 28 городов России и Беларуси (фото 1). Конференция проходила при поддержке Росатома.



Научная программа конференции включала 8 пленарных, 26 устных и 113 стендовых докладов. С приветствиями к участникам конференции обратились председатель организационного комитета проф. РАН А.В. Булатов и директор Института химии СПбГУ проф. И.А. Балова. Конференцию открыл председатель НСАХ РАН академик Ю.А. Золотов. Он рассказал об истории конференций этой серии и об основных вопросах, которые поднимались на них (фото 2).



Фото 2. Члены организационного комитета (слева-направо): проф. А.В. Булатов, проф. И.И. Тимофеева, проф. А.Ю. Шишов, проф. А.А. Карцова, академик РАН Ю.А. Золотов, доцент А.С. Почивалов.

Участники конференции почтили память генерального директора ассоциации “Экоаналитика” М.М. Залетиной, которая на протяжении нескольких десятилетий была основным организатором конференций данной серии.

На пленарных заседаниях выступили д.х.н. Т.С. Папина (Институт водных и экологических проблем СО РАН) – “Лед как объект анализа”, д.т.н. А.А. Васильев (Государственный университет “Дубна”) – “Газовые сенсоры в анализе объектов окружающей среды”, д.х.н. П.С. Федотов (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН) – “Идентификация и определение наночастиц в окружающей среде”, д.х.н. М.А. Проскурнин (МГУ им. М.В. Ломоносова) – “Аналитические проблемы, касающиеся микро- и нанопластика”, С.В. Пирогова (ЗАО “РОСА”) – “Состояние нормативно-технической документации по анализу природных вод”, к.х.н. А.Г. Муравьев (ГК “Крисмас+”) – “Экспресс-методы анализа природных вод: прикладные аспекты” и д.х.н. А.Ю. Шишов (СПбГУ) – “Эвтектические растворители для анализа объектов окружающей среды”.

В рамках работы конференции прошел симпозиум “Обследование и мониторинг средствами химического анализа особо загрязненных природных и производственных объектов (объектов накопленного вреда)”, на котором вице-президент РАН академик С.Н. Калмыков рассказал о подходах к рекультивации и выводу из эксплуатации объектов накопленного экологического вреда и роли методов химического анализа в этих процессах. На симпозиуме выступили проф. РАН С.А. Адонин (Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН) с докладом “Аналитика состава отходов как основа оценки объектов накопленного экологического вреда” и к.х.н. И.Э. Власова (МГУ им. М.В. Ломоносова) с докладом “Методика неразрушающей диагностики радиоактивных микрочастиц”.

На конференции проходила обширная стендовая сессия, в которой приняли участие более 80 студентов и аспирантов, среди которых были отмечены лучшие работы в конкурсе молодых ученых. Среди победителей

конкурса К.Ю. Пресняков (Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского) – “Импринтированные белки для извлечения микроцистинов”, В.И. Казин (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН) – “Пробоподготовка медно-никелевых руд и хвостов их переработки с использованием полного разложения проб с бифторидом аммония и кислотных вытяжек для анализа методами МС/ АЭС-ИСП”, О.В. Кустова (Лимнологический институт СО РАН, Иркутск) – “Оценка полихлорированных бифенилов в водной экосистеме озера Байкал”, С.В. Спирин (Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева) – “Стандартные образцы состава ароматических углеводов и многокомпонентного раствора ароматических углеводов”, Т.Б. Латкин (Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова) – “Применение твердофазной микроэкстракции с перемешиванием в сочетании с газовой хроматографией/масс-спектрометрией высокого разрешения для скрининга и определения органических атмосферных поллютантов в арктическом снеге”, Д.А. Мещева (СПбГУ) – “ВЭЖХ-ФЛД-определение бенз(а)пирена в почвах с предварительным выделением в глубокий эвтектический растворитель” и Т.Р. Должанская (СПбГУ) – “Проточное экстракционное устройство на основе вращающегося диска для автоматизированной пробоподготовки водных сред: определение полициклических ароматических углеводов в природных водах”.

Для участников конференции были организованы экскурсии в Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН и Музей-архив Д.И. Менделеева СПбГУ, где экскурсию провела проф. А.А. Карцова (СПбГУ). Кроме того, для участников конференции организован вечер классической музыки в легендарном доме Шредера.

Конференция стала важным научным мероприятием для обсуждения актуальных проблем, достижений и перспектив развития в области экологического мониторинга и анализа объектов окружающей среды. Ведущие ученые обсудили острые современные проблемы в области экологии и аналитической химии, такие как стремительный рост загрязнения микропластиком и наночастицами, накопление экотоксикантов в объектах окружающей среды, методы их определения, состояние нормативной документации. Участники конференции отметили высокий уровень научной программы и организации мероприятия.

А.В. Булатов, Ю.А. Золотов

Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80. № 11. с. 1235–1237

VII Всероссийский симпозиум “Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии”

С 21 по 27 сентября 2025 г. в с. Ольгинка Туапсинского района Краснодарского края проходил VII Всероссийский симпозиум “Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии”. Симпозиум был

организован Министерством науки и высшего образования РФ, Российской академией наук, Отделением химии и наук о материалах РАН, Научным советом РАН по аналитической химии, Межведомственным научным советом по радиохимии РАН и Росатома РФ, Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Кубанским государственным университетом. В работе симпозиума принимали участие 296 человек, из них 148 молодых ученых (школьников, студентов, магистров, аспирантов и молодых сотрудников). Были представлены 60 организаций из 30 городов – 33 вуза, 17 академических институтов, а также 11 отраслевых научно-исследовательских институтов, предприятий и организаций реального сектора экономики. Самые многочисленные делегации были представлены учеными из Москвы (69), Санкт-Петербурга (36), Краснодара (23), Казани (13), Воронежа (10), Перми (10), Саратова (8), Новосибирска (7) и Томска (6 человек). Свои экспозиции представили 10 фирм-производителей и поставщиков аналитического оборудования. С учетом поступивших от участников заявок Оргкомитет определил и организовал следующие направления секционных заседаний: сорбционные методы (твердофазная экстракция; электрохимические методы разделения и концентрирования, выделение и концентрирование в электрохимических методах анализа; жидкость-жидкостная экстракция; разделение и концентрирование в анализе хроматографическими и масс-спектрометрическими методами; разные методы аналитической химии; экстракционные и сорбционные методы выделения и разделения радионуклидов; разные методы разделения и концентрирования; разделение и концентрирование для решения различных радиохимических задач. Были заслушаны 10 пленарных лекций, 14 приглашенных главных секционных и 88 секционных докладов, сделаны 197 стендовых сообщений. Большинство представленных докладов выполнялись в рамках проектов Российского научного фонда, отраслевых и ведомственных программ. Работу симпозиума открыл сопредседатель Оргкомитета член-корр. РАН Колотов В.П., с приветствием «Наука о разделении смесей» к участникам симпозиума обратился председатель НСАХ РАН академик РАН Ю.А. Золотов. Можно отметить высокий уровень пленарных, приглашенных главных секционных и секционных докладов участников мероприятия. Пленарное заседание открыли зав. лабораторией концентрирования кафедры аналитической химии МГУ им. М.В. Ломоносова д.х.н. Апяри В.В. с соавторами (Дмитриенко С.Г., Толмачева В.В., Гончаров Н.О., Тихомирова Т.И., Цизин Г.И.) докладом «Микротвердофазная экстракция в контексте современных тенденций в аналитической химии» и зав. отделом ГЕОХИ РАН д.х.н. Федотов П.С. с сообщением «Выделение и анализ наночастиц окружающей среды». В последующие дни были заслушаны пленарные лекции д.х.н. Булатова А.В. (Санкт-Петербургский государственный университет) «Новые растворители для экстракционного концентрирования», д.х.н. Лосева В.Н. с соавторами (Дидух-Шадрин С.Л., Бородин Е.В., Буйко О.В., Метелица С.И.) из Сибирского федерального университета «Химически и нековалентно модифицированные кремнеземы для разделения, концентрирования и определения благородных и цветных металлов», д.х.н. Дмитриенко С.Г. с соавторами (Апяри В.В., Толмачева В.В., Матяш М.В.,

Фурлетов А.А., Цизин Г.И., Золотов Ю.А.) из МГУ им. М.В. Ломоносова «Методы выделения органических соединений из твердых образцов: традиционные и современные методы», д.х.н. Дзантиева Б.Б. (Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН) «Разделение и концентрирование в биосенсорных системах», д.х.н. Марютиной Т.А. (ГЕОХИ РАН) «Использование физических полей в методах пробоподготовки», д.х.н. Родинкова О.В. (Санкт-Петербургский государственный университет) «Современные тенденции развития парофазного анализа и родственных методов». В рамках научной программы симпозиума проводилось специальное пленарное заседание, посвященное юбилею академика РАН Мясоедова Б.Ф. Юбиляра приветствовали Председатель НСАХ РАН академик РАН Золотов Ю.А., вице-президент РАН академик РАН Калмыков С.Н. и ректор Кубанского госуниверситета Астапов М.Б. С пленарными докладами «К Юбилею академика РАН Б.Ф. Мясоедова» выступили академик РАН Тананаев И.Г. от имени коллектива авторов из ГЕОХИ РАН и ИХТРЭМС КНЦ РАН (Винокуров С.Е., Калмыков С.Н., Колотов В.П., Хамизов Р.Х.) и чл.-корр. РАН Колотов В.П., получивший медаль им. Г. Хевеши (Нобелевский лауреат по химии 1943 г.) за достижения в области радиоаналитической химии, с докладом «Разработки в области гамма-спектроскопии, активационного анализа, цифровой автордиографии и создания малоактивируемых конструкционных материалов: математическое моделирование и экспериментальные решения».

Участники

симпозиума отметили высокий уровень приглашенных главных секционных докладов. Весьма интересными были доклад чл.-корр. РАН Хамизова Р.Х. с соавтором Груздевой А.Н. (ГЕОХИ РАН) «Использование закономерностей кинетики сорбции в комбинированных схемах анализа растворов», Зиятдиновой Г.К. (Казанский (Приволжский) федеральный университет) «Разделение и концентрирование в органическом электроанализе: достижения и перспективы», чл.-корр. РАН Вошкина А.А. с соавторами (Заходяева Ю.А., Костяян А.Е.) из ИОНХ РАН «Экстракционные технологии на основе глубоких эвтектических растворителей», к.х.н. Толмачевой В.В. с соавторами (Дмитриенко С.Г., Апяри В.В., Гончаров Н.О., Мелехин А.О.) из МГУ им. М.В. Ломоносова «Магнитный сверхсшитый полистирол: синтез, свойства и применение для магнитной твердофазной экстракции лекарственных веществ», д.х.н. Суханова П.Т. с соавторами (Губин А.С. Кушнир А.А., Сыпко К.С.) из ВГУИТ «Новые магнитные сорбенты: синтез, свойства и применение для концентрирования фенолов из природных объектов», д.х.н. Шишова А.Ю. и д.х.н. Булатова А.В. (Санкт-Петербургский государственный университет) «Глубокие эвтектические растворители. Инновация или иллюзии?», д.х.н. Савельевой Е.И. («НИИ ГПЭЧ» ФМБА России) «Ключевые особенности и новые тенденции в подготовке биопроб к хроматомасс-спектрометрическому анализу», д.х.н. Нестеренко П.Н. (МГУ им. М.В. Ломоносова) «ВЭЖХ разделение изотопологов органических соединений», д.х.н. Тимофеевой И.И. и Булатова А.В. (Санкт-Петербургский государственный университет) «Современные способы пробоподготовки для определения антибиотиков фторхинолонового ряда в пищевых продуктах», к.х.н. Бояринцева А.В. (РХТУ им. Д.И.

Менделеева) «Селективные экстракционные системы для выделения и разделения актиноидов в карбонатных средах» и д.х.н. Степанова С.И. и Славинского К.А. (РХТУ им. Д.И. Менделеева) «Математическое моделирование изотерм экстракции как метод для определения составов экстрагируемых соединений актиноидов и лантаноидов», к.х.н. Бессоновой Е.А. с соавторами (Арасланова А.Т., Карцова Л.А.) из Санкт-Петербургского государственного университета «Ионные жидкости как модификаторы и экстрагенты в методах разделения и концентрирования», д.т.н. Зуева Б.К. с соавторами (Волошина Е.С., Зайцева А.Е., Михайлова А.В.) из ГЕОХИ РАН «Окситермография как аналитический метод изучения распределения органического вещества на поверхности кожи человека». Участники отмечали, что симпозиум внес вклад в развитие фундаментальных и прикладных исследований в области методов разделения и концентрирования, в укрепление связей вузовской, академической и отраслевой науки, научных центров, в повышение уровня подготовки специалистов в области химико-аналитического контроля. Участники признали симпозиум успешным, научную программу выполненной полностью; выразили благодарность Оргкомитету, Кубанскому государственному университету и ОК «Орбита» за организацию и проведение симпозиума на высоком уровне; признательность организациям, оказавшим финансовую поддержку симпозиуму: Российской академии наук; ГК «Люмэкс»; ГК «Лабконцепт»; ООО Гринвэнг»; ООО «Группа Ай–Эм–Си»; ООО «Диаэм»; ООО «НПО “Спектрон”»; ИП Севко; «Элемент»; ООО «ФизЛабПрибор»; ООО «Химмед».

Темердашев З.А.

Конференция «Оптические хемо- и биосенсоры»

С участием секции по биохимическим методам анализа организована и с 29 сентября по 3 октября 2025 г. в Саратове проведена конференция "Оптические хемо-и биосенсоры" в рамках XIII Симпозиума по оптике и биофотонике и комплекса научных мероприятий Saratov Fall Meeting XXIX. На конференции было представлено 26 устных и более 30 постерных докладов, посвященных разработкам в области оптических био- и наносенсоров, системам распознавания и обработки данных, применению сенсоров в живых системах. Опубликован и зарегистрирован в РИНЦ сборник тезисов конференции. Избранные статьи по материалам, представленным на конференции, опубликованы в «Журнале аналитической химии».

Тезисы докладов "Оптические хемо- и биосенсоры" в рамках ежегодной международной конференции Saratov Fall Meeting - 2025, 29 сентября – 3 октября 2025 г., г. Саратов. – Саратов: изд-во Саратовский источник, 2025. – 62 с. ISBN 978-5-6054750-7-1.

Дзантиев Б.Б.

Московский семинар по аналитической химии

Сопредседатели семинара: д.х.н. П.С. Федотов, д.х.н. П.Н. Нестеренко, д.х.н.
А. В. Иванов;

Секретарь семинара *Е.А. Захарченко Е.А.*

Адрес проведения семинара: 119991, ГСП-1, г. Москва,
ул. Косыгина.19, ГЕОХИ РАН,

контактная информация: E-mail: elena.zakharchenko@gmail.com

Формат заседания - смешанный (очно-дистанционный).

23 марта 2025 г.: 1. А.В. Чернобровкина, к.х.н. (МГУ имени М. В. Ломоносова). *«Новые сорбенты для гидрофильной хроматографии и способы управления их разделяющей способностью».*

А.С. Ужель, к.х.н. (МГУ имени М. В. Ломоносова), Е.В. Рыбакова *«Новые хроматографические колонки для разделения анионов и их применение в экологии и различных отраслях промышленности».*

28 октября 2025 г.: 1. М.А. Статкус, д.х.н. (МГУ имени М. В. Ломоносова). *«Микрорентгенофлуоресцентный анализ для изучения археологических объектов».*

25 ноября 2025 г.: Г.В. Пашкова, д.х.н. (Институт земной коры Сибирского отделения РАН, Иркутск). *«Применение методов исследования состава вещества при исторической реконструкции хозяйственной деятельности населения Байкальской Сибири».*

Санкт-Петербургский семинар по аналитической химии

Председатель семинара : д.х.н. А.А. Карцова.,

Сопредседатели: д.х.н. А.В. Булатов, д.х.н. И.И. Тимофеева

Адрес проведения семинара: г. Санкт-Петербург, Невский пр., д. 1, бизнес-центр, 5-ый этаж, Менделеев холл, 502.

Контактная информация: i.i.timofeeva@spbu.ru

(Северо-Западное отделение совета. Формат заседания – очно-дистанционный)



Оргкомитет Петербургского семинара по Аналитической химии

17 февраля 2025 г.: 1. Д.С. Косяков (директор ЦКП НО «Арктика», Северный (Арктический) ФУ) *«Органические поллютанты в атмосфере Арктики: поиск, идентификация и определение».*

2. Б.Б. Дзантиев, д.х.н., проф., зав.лабораторией иммунобиохимии, Институт биохимии им. А.Н.Баха РАН, г. Москва, член IАЕАС (International Association of Environmental Analytical Chemistry) *«Иммуноанализ: вчера, сегодня, завтра».*



17 марта 2025 г.: 1. Е.А. Бессонова, к.х.н., доцент Института химии СПбГУ *«Ионные жидкости – полифункциональные материалы для решения медико-биологических задач».*

2. М.А. Пешкова, к.х.н., доцент Института химии СПбГУ *«Цвет: качество или количество? Теория и практика экспресс-анализа водных сред при помощи оптических сенсоров».*



21 апреля 2025 г.: Выступления победителей конкурса молодых ученых.

1. А.А. Адамова *«Новые катионные полиэлектролиты как модификаторы электрофоретических систем»*, студент 2 курса магистратуры СПбГУ.

2. К.А. Барбаянов *«Микроэкстракционное выделение и концентрирование биотина из сложных матриц для его последующего хроматографического определения»*, студент 2 курса магистратуры СПбГУ.

3. В.И. Казин *«Определение благородных металлов (БМ) методом МС-ИСП в образцах черных сланцев большой массы: пробоподготовка, прямой анализ проб с коррекцией спектральных интерференций, концентрирование БМ на твердофазных экстрагентах»*, Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

4. А.Э. Маргарян «Микрофлюидные концентраторы для определения летучих органических соединений», аспирант кафедры химии Самарского национального исследовательского университета.

5. А.В. Пантин «Электрохимические сенсоры на основе золотых встречно-щтыревых электродов для количественного определения биомаркера герминогенной опухоли яичка», студент 2 курса магистратуры СПбГУ.

Май 2025 г.: Оргкомитет Петербургского семинара по аналитической химии был задействован в полном составе для организации и проведения конференции «Экоаналитика-2025»

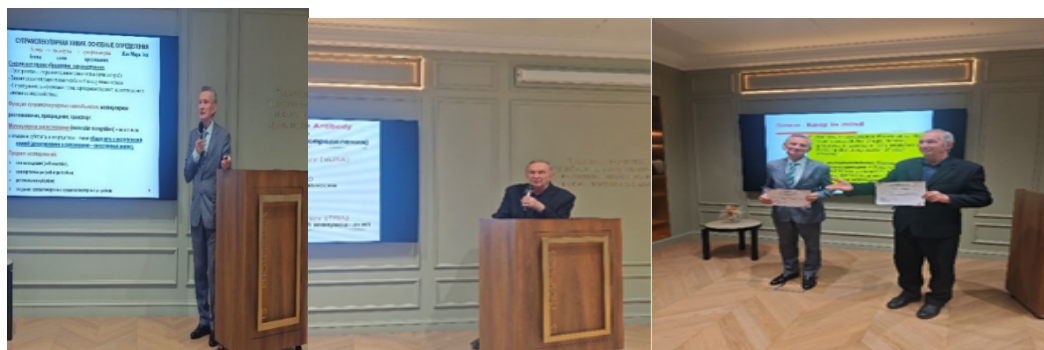
6 июня 2025 г.: 1. И.Ю. Горячева, д.х.н. (директор Института химии СГУ имени Н.Г. Чернышевского) «Люминисцентные квантовые точки в анализе – возможности и ограничения».

2. И.А. Платонов, д.х.н., проф. (заведующий кафедрой химии Самарского университета) «Микрофлюидные системы для газовой хроматографии».



16 октября 2025 г.: 1. С.Н. Штыков, д.х.н., профессор, (Саратовский национальный исследовательский университет им. Н.Г. Чернышевского) «Супрамолекулярные эффекты в аналитической химии».

2. С.А. Еремин, д.х.н., профессор (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Поляризационный флуоресцентный иммуноанализ как тест-метод».



17 ноября 2025 г.: 1. А.А. Суркова, к.х.н., вед.н.с. (Международный научно-образовательный центр физики наноструктур, лаборатория "Гибридные наноструктуры для биомедицины", Университет ИТМО) «Аквафотомика и БИК-спектроскопия для изучения молекулярной структуры воды: основы и практическое применение».

2. С.С. Савинов, к.х.н., старший преподаватель кафедры аналитической химии (Институт химии СПбГУ) «Особенности определения содержания

подвижных форм элементов в почвах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой»



15 декабря 2025 г.: 1. Е.П. Подольская, д.т.н., вед.н.с. лаборатории биомедицинской масс-спектрометрии (ФГБУН Институт аналитического приборостроения РАН) «Технология Лэнгмюра: новые возможности МАЛДИ-МС анализа в формате «лаборатория на мишени».

2. Т.Б. Тенникова, д.х.н., профессор (Институт химии СПбГУ, зав. межкафедральной лабораторией биомедицинской химии) «Управление массопереносом в хроматографии. Диффузия vs конвекция».



Объединенная комиссия по хроматографии

01.03. – 30.09.2025 г., Москва, ИФХЭ РАН – конкурс публикаций научной молодежи по хроматографии и сорбционным процессам им. М.С. Цвета;

Апрель 2025 г., Москва, ИФХЭ РАН: Форум отечественных производителей хроматографического оборудования и материалов на базе ИФХЭ РАН;

25.06.2025 г., Москва, ГЕОХИ РАН: Симпозиум по ионной хроматографии, посвященный 60-летию открытия метода;

27 – 31.11.2025 г., Севастополь, МГФИ РАН: III Всероссийская конференция «Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях», в рамках которой пройдет Симпозиум по хроматографии и сорбционным процессам).

**Самарский национальный исследовательский университет им.
академика С.П. Королёва**

2025 г., Самара: Курсы повышения квалификации "Хроматография (газовая и жидкостная) и хромато-масс-спектрометрия«- 4 курса в год.

8 октября 2025 г., Самара: Всероссийская молодёжная научная конференции с международным участием «XVIII Королёвские чтения», посвящённая 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне (Отв. Платонов И.А., pia@ssau.ru);

11-15 ноября 2025 г., Самара: XXIII Всероссийская молодёжная конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы, секция "Микрофлюидные системы и нанотехнологии" (Отв. И.А. Платонов), 100 участников.

Северо-Западное отделение

Санкт-Петербургский семинар по аналитической химии, Санкт-Петербургский государственный университет: заседания 17 февраля, 17 марта, 21 апреля, 16 июня, 16 октября, 17 ноября, 15 декабря 2025 г., более 100 участников.

19 – 23 мая, Санкт-Петербург: XIII Всероссийская конференция «Экоаналитика 2025» Организаторы: ОХНМ РАН, НСАХ РАН, ЭАА «Экоаналитика», Санкт-Петербургский государственный университет.:<https://events.spbu.ru/events/ecoanalytics>.

2 - 3 декабря, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургское отделение РАН: IV ежегодная Всероссийская молодёжная конференция по методам и приборам для анализа биологических объектов «АналитБиоПрибор-2025». Организаторы: ИАп РАН, СПб отделение РАН, СПб академический университет им. Ж.И. Алферова, РХО им. Д.И. Менделеева. 150 участников. Конференция проводилась в рамках федерального проекта "Развитие отечественного приборостроения гражданского назначения для научных исследований".

Северо-Кавказское отделение

21 – 27 сентября, Краснодар: VII Всероссийский симпозиум «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии» с международным участием. Организаторы: Министерство науки и высшего образования РФ, НСАХ РАН, ГЕОХИ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Кубанский государственный университет. <http://analytconf.ru>.

Уральское отделение

13 – 15 октября 2025 г., Екатеринбург, УрФУ: Молодёжная школа по электроаналитической химии и биоанализу «Электроанализ: новые вызовы

современности» памяти профессора Г.А. Евтюгина (Отв. д.х.н. А.Н. Козицына).

2025 г., Екатеринбург: Выпуск 4 номеров журнала «Аналитика и контроль, Журнал выпускается на базе ФГАОУ ВО УрФУ, гл. редактор Д.Г. Лисиенко, E-mail: aik.red@gmail.com.

Июнь 2025 г., Екатеринбург, УрФУ: Курсы повышения квалификации работников аналитических лабораторий «Методические основы атомно-эмиссионного спектрального анализа с применением анализатора МАЭС». Организаторы: УрФУ, Физико-технологический институт, кафедра физико-химических методов анализа, куратор - член НСАХ РАН Д.Г. Лисиенко.

Сентябрь 2025 г., Екатеринбург, УрФУ: Курсы повышения квалификации работников аналитических лабораторий «Химические и физико-химические методы анализа металлургических материалов». Организаторы УрФУ, Физико-технологический институт, кафедра физико-химических методов анализа, куратор - член НСАХ РАН Д.Г. Лисиенко.

План мероприятий на 2026 – 2028 гг.

(составлен на основании поступивших в совет планов комиссий и отделений совета)

2026 г.

23 – 26 февраля 2026 г., Узбекистан: 15th Winter Symposium on Chemometrics. Организатор: Всероссийское хемометрическое общество; Комиссия по хемометрике совета. Ответственные: д.х.н. Кирсанов Д.О., +7 921 333 1246, d.kirsanov@gmail.com; к.х.н. Суркова А.А., **раз в два года**

20 – 21 апреля 2026 г., Москва, ИФХЭ РАН: Форум отечественных производителей хроматографического оборудования и материалов (Объединенная комиссия по хроматографии), **ежегодно.**

22 – 24 апреля 2026 г., Москва, МВЦ «КрокусЭкспо»: 24-я Международная выставка лабораторного оборудования и химических реактивов «АналитикаЭкспо 2026», **ежегодно.**

26 – 29 мая 2026 г. Самара, Самарский ГУ: Конференция «Теория и практика хроматографии. Подготовка кадров». Организатор: Самарский государственный университет им. С.П. Королева (д.т.н. И.А. Платонов), Объединенная комиссия по хроматографии.

20 – 26 сентября 2026 г., Краснодар: V Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии». Организатор: от НСАХ РАН Кубанский государственный университет <http://analytconf.ru>, Комиссия по спектроскопическим методам.

6 – 11 октября 2026 г., Владивосток: XII Конференция «Аналитика Сибири и Дальнего Востока - 2026». Организатор: Сибирское отделение НСАХ РАН.

25 июня 2026 г., Москва, ГЕОХИ РАН: 50-я Годичная сессия НСАХ РАН (очно-заочный формат). Ежегодное мероприятие.

Апрель 2026 г., Подмоскowie: Собрание ААЦ «Аналитика», **ежегодно** Продолжат работу Московский и Санкт-Петербургский семинары по аналитической химии.

2027 г.

19 – 24 сентября 2027 г., Москва: V Съезда аналитиков России.

2027 г., 2029 г.: XII Всероссийская конференция с международным участием по масс-спектрометрии;

Март 2027 г., Москва, НИТУ МИСИС: Научные чтения к 90-летию академика Ю.А. Карпова «Аналитическая химия в науке, образовании и производстве». Организатор ААЦ «Аналитика».

2028 г.

Санкт-Петербург: Конференция по электрохимическим методам анализа «ЭМА-2028» (Комиссия по электрохимическим методам анализа);

Всероссийская конференция «**Экоаналитика**» (Комиссия по анализу объектов окружающей среды)

Краснодар – Туапсе: VIII Всероссийский симпозиум «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии» (Кубанский ГУ. Комиссия по разделению и концентрированию).

Молодежные конкурсы и школы в 2026- 2028 гг.

Январь- август, Москва: Конкурс работ молодых ученых им. М.С. Цвета - **ежегодно** (Объединенная комиссия по хроматографии).

Январь, Санкт-Петербург, Институт химии СПбГУ: Конкурс работ студентов и аспирантов с выступлением победителей на Санкт-Петербургском семинаре по аналитической химии в феврале 2026 г. – **ежегодно** (Санкт-Петербургское отделение).

Май-июнь 2026 г., Уфа, Уфимский институт науки и технологий: Региональная конференция по хроматографии (памяти Б.В. Айвазова). Отв. д.х.н. В.Ю. Гуськов.

Уфа: Всероссийская молодежная конференция "Достижения молодых ученых: химические науки", секция «Аналитическая химия», **ежегодно**.

18 – 22 мая, Томск, Томский политехнический университет: Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» (им. Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера, секция 3 – «Теоретические и прикладные аспекты физической и аналитической химии» (Сибирское отделение), **ежегодно**.

22 – 24 июня, Санкт-Петербург, Институт химии СПбГУ: «Петербургская школа по аналитической химии: третий семестр»

<https://events.spbu.ru/chem-school>, ежегодно в июне месяце (Северо-Западное отделение).

2025 – 2029 гг., Екатеринбург: Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Уральское отделение РАН продолжит ежегодную организацию и проведение секции «Аналитическая химия и химия окружающей среды» в рамках Российской молодёжной научной конференции с международным участием «Проблемы теоретической и экспериментальной химии»;

2025 – 2029 гг., Екатеринбург: Ежегодная молодежная школа по электроаналитической химии и биоанализу «Электроанализ: новые вызовы современности» (УрФУ, Уральское отделение совета).

2027 г., г. Ижевск: III Всероссийская конференция по фундаментальной и прикладной химии (организаторы: Удмуртский ГУ, УдмФИЦ УрО РАН, РХО им. Д.И. Менделеева, СНИОО УР, Уральское отделение совета).

Ежегодные курсы повышения квалификаций, семинары по аналитической химии проводятся и будут проводиться в Москве, Санкт-Петербурге, Саратове, Самаре, Екатеринбурге, Томске, Ижевске и др. городах.

Бюро совета (17 февраля 2026 г.)

17 февраля 2026 г. в он-лайн режиме состоялось очередное заседание бюро совета. Председатель совета академик РАН Ю.А. Золотов остановился на важных событиях 2025 г. и выразил благодарность всем организаторам прошедших в 2025 г. мероприятий. Он информировал членов бюро об учреждении Отделением химии и наук РАН премии им. М.С. Цвета «за выдающиеся работы в области наук о разделении, особенно хроматографии» (а также жидкостной экстракции, разделения осаждением и сокристаллизацией, мембранных методов, ректификации и других методов разделения). Премия будет вручаться раз в два года. Председатель совета призвал также начать подготовку к предстоящему в 2027 г. V Съезду аналитиков России.

Ученый секретарь совета к.х.н. И.Н. Киселева информировала бюро о научно-организационной работе совета в 2025 г. Совет принимал участие в научной программе выставки «АналитикаЭкспо 2025». А.И. Крылов (ВНИИ метрологии, Санкт-Петербург) прочел лекцию «Новые стандартные образцы для химико-аналитических измерений», вызвавшей большой интерес. На выставке проведены семинары: "Внелабораторный анализ"(ведущая д.х.н. Е.И. Моросанова), «Аналитическая химия микропластика: вызовы, проблемы и решения"(д.х.н. М.А. Проскурнин), «Методы инфракрасной спектроскопии в исследовании свойств нефтепродуктов: проблемы и перспективы" (к.х.н. Е.А. Новиков). В мае 2025 г. успешно прошла XIII Всероссийская конференция «Экоаналитика 2025», организованная Институтом химии Санкт-Петербургского государственного университета и Комиссией по анализу объектов окружающей среды; конференция собрала около 200 участников. Объединенная комиссия по хроматографии (ОКХ) провела

конкурс работ молодых ученых им. М.С. Цвета, а 25 июня на базе ГЕОХИ РАН - Симпозиум по ионной хроматографии. 27 августа в он-лайн режиме прошла 49-я Годичная сессия совета. С 21 по 27 сентября в поселке Ольгинка под Туапсе проведен VII Всероссийский симпозиум «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии», в котором приняли участие около 300 человек (организаторы – кафедра аналитической химии Кубанского государственного университета и Комиссия по разделению и концентрированию). Комиссия по масс-спектрометрии принимала участие в проведении XI Всероссийской конференции «Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы» (октябрь 2025 г., ИФХЭ РАН). В Саратове в рамках одной конференции проведена секция «Оптические хемо- и биосенсоры» (начало октября 2025 г., Саратовский ГУ, Комиссия по биохимическим методам анализа), а в ноябре в Воронежском государственном университете состоялась XVI Всероссийская конференция «Ионообменные материалы в сорбционных, хроматографических и мембранных процессах - «ИОНИТЫ-2025» (мероприятие кафедры аналитической химии Воронежского университета и Объединенной комиссии по хроматографии). В 2025 г. состоялось заседание бюро совета. Московский семинар по аналитической химии провел три заседания, Санкт-Петербургский семинар по аналитической химии – семь.

Работали комиссии и региональные отделения совета. Вот только некоторые мероприятия:

- Институт аналитического приборостроения РАН провел IV Всероссийскую молодежную конференцию по методам и приборам для анализа биологических объектов «АналитБиоПрибор».
- Курсы повышения квалификации были организованы в Уральском федеральном университете, в Самарском университете им. С.П. Королева
- Молодежную школу по электроаналитической химии и биоанализу «Электроанализ: новые вызовы современности» на базе УрФУ провело Уральское отделение совета Школа была посвящена памяти профессора Г.А. Евтюгина.

Семинары, молодежные школы проводились в Москве, Ижевске, Екатеринбурге, Самаре).

От имени членов совета И.Н. Киселева поздравила лауреатов Премии Правительства РФ «За разработку и внедрение наукоемких химических и радиохимических технологий, а также высокоинформативных средств технологического и экологического контроля опасных производств на основе оригинальных методов разделения, концентрирования и выделения веществ» Ю.А. Золотова, С.Н. Калмыкова. Р.Х. Хамизова. В.С. Гурского. Л.Н. Москвина, О.В. Родинкова и Г.И. Цизина, а также поздравила В.В. Апяри, В.Б. Барановскую и С.Е. Винокурова с присуждением почетных званий «Профессор РАН».

Д.ф.-м.н. М.Н. Филиппов представил итоги работы жюри по премиям совета. Были заявки только на молодежные премии. Отмечен очень высокий рейтинг заявленных работ. По предложению жюри бюро решило присудить премии к.х.н. Ю.А. Перфиловой и к.х.н. Л.Р. Загитовой. за работу

«Энантиселективные вольтамперометрические сенсоры для распознавания и определения биологически активных соединений» (Уфимский университет наук технологий) и О.А. Горячевой и Д.В. Цюпка за работу «Применение люминесцентных полупроводниковых квантовых точек в аналитической практике, прежде всего, в методах оперативного лекарственного мониторинга» (Саратовский государственный университет). Ю.А. Золотов поблагодарил жюри за большую работу и выразил удовлетворение тем, что молодые коллеги делают хорошие работы.

Председатель Комиссии по издательским делам д.х.н. профессор РАН А.В. Булатов рассказал о проблемах, возникших при работе по изданию переводных учебников и монографий. В начале 2025 г. в комиссию поступило от членов совета около 20 предложений по переводу и изданию иностранных книг, из них были выбраны три учебника и две монографии. Выяснилось, что в настоящее время получить разрешение на перевод довольно трудно, а некоторые иностранные издательства требуют даже оплату за разрешения. Издательство СПбГУ было согласно опубликовать один из учебников, но получило официальный отказ от американского издательства. Издательская комиссия считает, что в такой ситуации надо сделать ставку на подготовку и издание учебников и монографий, подготовленных российскими учеными. Д.О. Кирсанов предложил обратить внимание на подготовку электронных версий учебников, либо специализированных курсов на он-лайн- платформах, учитывая возросший интерес студентов к интернет-источникам. Предложение было поддержано членами бюро.

О планах научно-организационной работы на 2026-2028 гг. рассказала И.Н. Киселева. В новой структуре совета, сформированного на 2025-2029 гг., 13 комиссий, представительство ААЦ «Аналитика» и 4 региональных отделения. В 2025 г. были собраны планы работ всех структур совета. Ежегодно будут проводиться заседания бюро совета – 1-2 раза в год, формироваться отчеты совета. Продолжится работа Московского и Санкт-Петербургского семинаров по аналитической химии, совет будет участвовать в научной программе выставки «АналитикаЭкспо». В плане – организация конференций, молодежных школ, семинаров, курсов повышения квалификации. Многие комиссии планируют участвовать в разработке и совершенствовании терминологии, содействии разработке и выпуску стандартных образцов, выпуску приборов, подготовке спецвыпусков аналитических журналов, монографий и обзорных статей, содействовать международным контактам. В 2026 г. Комиссия по хемометрике организует 23 – 27 февраля 2026 г. в Узбекистане 15-й Зимний симпозиум по хемометрике (его периодичность – раз в два года), 26 – 29 мая в Самаре пройдет конференция «Теория и практика хроматографии, Подготовка кадров (Самарский университет им. С.П. Королева, ОКХ), 20 – 26 сентября Кубанский государственный университет совместно с Комиссией по спектрометрическим методам анализа проводит V Всероссийскую конференцию по аналитической спектроскопии. С 6 по 11 октября 2026 г. во Владивостоке Сибирское отделение готовится к проведению XII Научную конференцию «Аналитика Сибири и Дальнего Востока. ОКХ проводит

конкурс работ молодых ученых им. М.С. Цвета и форум отечественных производителей хроматографического оборудования и материалов (ежегодно). Институт химии СПбГУ провел конкурс студентов и аспирантов с выступлением на февральском заседании Санкт-Петербургского семинара по аналитической химии., Уфимский институт науки и технологий организует в мае 2026 г. региональную конференцию по хроматографии (памяти Б.В. Айвазова), с 22 по 24 июня Институт химии СПбГУ проведет Петербургскую школу по аналитической химии: третий семестр. В 2027 г. планируется осенью провести V Съезд аналитиков России (Москва), XII Всероссийскую конференцию по масс-спектрометрии (Москва, ИФХЭ РАН). В 2028 г. запланировано проведение конференции по электрохимическим методам анализа, VIII Всероссийского симпозиума «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии, Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды «Экоаналитика». Молодежные конференции с секциями по аналитической химии ежегодно проводятся и будут проводиться в вузах Москвы, Томска, Уфы, Санкт-Петербурга, Ижевска, Екатеринбурга, Нижнего Новгорода). ААЦ «Аналитика» работает над учреждением в МИСИСе стипендии им. Ю.А. Карпова.

Членами бюро план работы совета был утвержден.

Ю.А. Золотов напомнил, что в этом году должна состояться 50-я Юбилейная годовичная сессия совета и попросил членов совета прислать свои предложения о том, где, когда, в каком формате проводить эту сессию.

КНИГИ

1. Апяри В.В., Беклемишев М.К., Буряков И.А., Буряков Т.И., Гармай А.В., Дзантиев Б.Б., Жердев А.В., Золотов Ю.А., Карякин А.А., Моногарова О.В., Осколок К.В. **Простые и портативные средства внелабораторного химического анализа.** / Ред.-сост. Ю.А. Золотов – М.: Издательство «Спутник +», 2025. 330 с.

Коллективная монография о создании и использовании простых (для пользователя) средств химического анализа, решающих задачи экспрессного обнаружения, идентификации и количественного определения самых разных веществ. Обеспечение возможности быстрого анализа, в том числе массового, «на месте», т.е. там, где находится объект анализа, относится к числу самых впечатляющих достижений аналитической химии и смежных с ней наук. При этом анализ часто может делать неспециалист, контроль состава, если нужно, может быть непрерывным, а средства анализа – действительно простыми в использовании и недорогими. Все это очень существенно для контроля продуктов питания, воды, для домашней медицинской диагностики или быстрого обнаружения взрывчатых или наркотических веществ. Акцент в книге сделан на анализ важнейших объектов – пищевых продуктов, медицинских, криминалистических, технических и других.

2. **Рентгеноспектральные методы анализа.** Финкельштейн А. Л., Пашкова Г.В., Чубаров В. М. – СПб.: Изд.-во ЛАНЬ. 2025. 123 с.

Учебное пособие посвящено изложению основ рентгеноспектральных методов анализа вещества. В пособии приведены основные сведения, относящиеся к физике рентгеновского излучения: характеристический и тормозной рентгеновский спектр, особенности спектра, возбужденного потоком электронов и фотонов, взаимодействие рентгеновского излучения с веществом (поглощение и рассеяние). Рассмотрены источники возбуждения и детекторы рентгеновского излучения, а также варианты метода рентгенофлуоресцентного анализа (РФА): РФА с дисперсией по длинам волн (кристалл-дифракционного) (РФА ВД), РФА с дисперсией по энергии при регистрации излучения полупроводниковым детектором (РФА ЭД), РФА с использованием эффекта полного внешнего отражения (РФА ПВО). Кратко изложены основы электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). Рассмотрены эффекты влияния матрицы образца на аналитический сигнал для гомогенных и неоднородных порошковых материалов. Приведено описание часто используемых вариантов способов РФА: способа внешнего стандарта, способа стандарта-фона, способа внутреннего стандарта, способа многоэлементного анализа, в основе которого лежит уравнение множественной регрессии, способа фундаментальных параметров.

Учебное пособие предназначено для студентов старших курсов химического факультета, специализирующихся в области аналитической химии неорганического вещества.

3. **Современные методы анализа легкого углеводородного сырья и продуктов его переработки.** Арыстанбекова С.А., Лапина М.С., Вольнский А.Б. - СПб.: Изд.-во Лань. 2025. 340 с.

В монографии рассмотрены современные подходы к определению полного химического состава «жирных» углеводородных газов (попутного нефтяного газа и газа сепарации), нестабильного газового конденсата (НГК) и

стабильного газового конденсата, сжиженных углеводородных газов, широкой фракции легких углеводородов и дистиллятов, развитые в химико-аналитической лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Основное внимание авторов уделено методам определения углеводородного состава, включая высококипящие углеводороды (до C₄₄), индивидуальных серосодержащих соединений (сероводорода, меркаптанов, органических сульфидов и дисульфидов, производных тиофена и т. д.), а также неорганических газов иметанола. Наряду с классическими подходами к анализу проб НГК в монографии рассмотрены методы анализа, основанные на прямой подаче проб под давлением до 10 МПа в газовый хроматограф. Разработанные методики анализа в максимальной степени унифицированы действующими международными стандартами. В монографии также рассмотрены такие важные вопросы, как расчет состава пластового газа (сырье газоконденсатных месторождений) и определение примесей ртути в природном газе. Издание предназначено для аспирантов и студентов направлений подготовки и специальностей, входящих в УГСН «Химия», «Химические технологии», а также для широкого круга специалистов и сотрудников производственных и испытательных лабораторий нефтегазового профиля.

4. Наноматериалы. Свойства и сферы применения. Джардималиева Г. И., Кыдралиева К. А., Метелица А. В., Уфлянд И. Е. - СПб.: Изд.-во ЛАНЬ. 2065. 200 с.

Цель учебника — дать углубленное изложение главных направлений применения наноматериалов в повседневной жизни. В учебнике отражено использование наноматериалов в медицине, косметологии, производстве пищевых продуктов и упаковке, окружающей среде, для строительства и защиты поверхностей, в одежде и текстильных изделиях, а также в качестве умной электроники и сенсоров. Учебник содержит необходимый набор тестовых контрольных мероприятий и глоссарий, что окажет существенную помощь в освоении дисциплины. Книга предназначена для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки в составе УГСН «Химия», «Физика», «Химические технологии», «Нанотехнологии и наноматериалы», а также будет представлять несомненный интерес для студентов, аспирантов и преподавателей вузов медицинской и технологической направленности, где предусмотрен курс «Наноматериалы». передача в соответствующие комиссии НСАХ РАН. Информирование (совместно с комиссией о стандартных образцах) о существующих перечнях стандартных образцов. Оказание помощи производителям стандартных образцов и реактивов Сибири и Дальнего Востока в организации и проведении их аттестационных испытаний, в распространении информации об их характеристиках и производителях, в том числе в научных журналах, издаваемых с участием НСАХ РАН.

5. Метрологическая прослеживаемость в химических измерениях. 2-е дополненное издание. под ред. В.Б. Барановской, И.В. Болдырева. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2025. – 108 с. ISBN 978-5-94836-727-9.

Цель сборника – предоставить рекомендации по обеспечению требований к метрологической прослеживаемости результатов химического анализа. Первая официальная версия этого документа была опубликована в 2003 г. Во втором издании руководства от 2019 года были учтены изменения в терминологии, внесенные в третье издание Международного словаря по метрологии (VIM). В дополнение к этому руководству публикуются три документа, относящиеся к деятельности Международного сообщества по аккредитации аналитических лабораторий ИЛАК (ILAC), и «Политика

Органа по аккредитации «Аналитика» по обеспечению метрологической прослеживаемости». В этом издании приводится описание согласованного набора принципов, которые могут использовать лаборатории для установления прослеживаемости, особое внимание уделяется применению подходящих основ для сравнения химических величин.

6. Золотов Ю.А. Менделеевские съезды химиков: очерк истории. М.: Научный мир. 2025. 92 с.

Освещена история Менделеевских съездов по общей и прикладной химии (1907-2024), рассказана их предыстория, сделан сопоставительный общий обзор съездов и приведены краткие сведения о каждом из них. Высказаны предложения по организации будущих встреч химиков.

7. Золотов Ю.А. Заметки о науке и не только о ней. М.: Спутник+. 2025. 320 с.

Прочитать собственные дневники и бросить взгляд на старые записи с позиций дня сегодняшнего – вот та цель, которую поставил перед собой автор. Уйдя от точного следования хронологии, автор ввел в изложение тематический признак. Стараясь придерживаться хронологии в записях по каждой теме. Более всего материалов – о науке, о ее сути, ее организации. О людях. Работающих в этой увлекательной сфере. О разных перипетиях с ними. У автора на многое свой взгляд. Затронуты события, происходившие в стране и мире, автор касается вопросов литературы и искусства, семьи и отдыха.

