

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ "МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ И ЕЕ ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ"

Шахнович О.А., ООО ЛабПро Медиа", rec-tech@mail.ru

С 13 по 17 октября 2025 года в ИФХЭ РАН состоялся очередной XII съезд Всероссийского масс-спектрометрического общества и Всероссийская конференция с международным участием "Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы". Программа конференции включала пленарные доклады приглашенных лекторов, устные доклады и стендовые сообщения участников, а также выставку решений и оборудования организаций – спонсоров и участников конференции. В работе форума приняли участие более 200 специалистов – руководители и сотрудники научных организаций, вузов и профильных отраслевых лабораторий, представители приборостроительных компаний.

Первый день работы начался с общего собрания участников XII съезда Всероссийского масс-спектрометрического общества, который открыл член-корреспондент РАН Алексей Константинович Буряк. Члены организации обсудили организационные вопросы, связанные с членством ВМСО в Международном масс-спектрометрическом обществе, текущей перерегистрацией общества, выборами руководящих органов, развитием издаваемого обществом научным журналом "Масс-спектрометрия". Состоялись выборы новых членов организации и совета общества, президентом ВМСО единогласно был избран доктор химических наук, профессор Альберт Тарасович Лебедев.

На заседании съезда состоялось награждение лауреатов премии Александра Макарова за выдающиеся работы молодых ученых и студентов в области масс-спектрометрического приборостроения. Премия учреждена создателем масс-спектрометров на базе орбитальных

ловушек Orbitrap профессором Александром Алексеевичем Макаровым, выпускником МИФИ, лауреатом золотой медали ВМСО 2007 года, приза К. Бруне и медали Томсона Международного масс-спектрометрического общества, награды Американского масс-спектрометрического общества за выдающийся вклад в масс-спектрометрию и других международных наград.

В 2025 году премия вручалась в пятый раз. До финала дошли две работы, и жюри, состоящее из ведущих конструкторов масс-спектрометрической техники, затруднилось выбрать среди них лучшую. По решению Александра Макарова лауреатами премии стали сразу два молодых ученых: Денис Кравцов, руководитель производственной группы отдела масс-спектрометрии ООО "Люмэкс", за проект "Разработка высокочувствительного метода прямого анализа газовой фазы на основе времяпролетной масс-спектрометрии с микросекундным импульсным тлеющим разрядом" и Денис Кулешов, младший научный сотрудник





лаборатории экологической масс-спектрометрии ИАП РАН, представивший работу "Прототип микрокапельного химического реактора на основе мультикапиллярного электро-распыления".

После завершения работы съезда президент ВМСО А.Т.Лебедев открыл работу XI Всероссийской конференции с международным участием "Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы". В первый день Конференции с пленарным докладом "Радикально-опосредованное нитрование тирозина в разных приложениях: от ионной химии до диагностики нейродегенеративных болезней" выступил почетный гость съезда – доктор Иван Чу (Гонконг). Три следующих пленарных доклада первого дня были посвящены приборостроению. Директор НКЦ "Лабтест" Александр Каменщиков рассказал о возможностях компании по сервисному обслуживанию приборов, в том числе серий, снятых с производства и не обеспечиваемых запасными частями со стороны производителя.

Соучредитель компании "МС-Аналитика" Анжелика Талибова представила слушателям аналитические решения для лабораторий на основе масс-спектрометров и элементных анализаторов, а также рассказала о новом направлении развития компании – разработке предсерийного макета масс-спектрометра для измерения изотопных отношений легких элементов с рабочим названием "ИзоМСА". Архитектура прибора предполагает размещение источника и приемника ионов в единой высоковакуумной камере. В конструкции использована неравноплечая ионно-оптическая схема с 90° поворотом, увеличением в 1,8 раза и щелью источника 300 мкм. В приборе установлен постоянный диспрегирующий магнит с величиной компенсируемого магнитного поля до 3000 Гс. Масс-спектрометр оснащен двумя коллекторными системами на базе цилиндров Фарадея: универсальной трехколлекторной для регистрации CNOS и двухколлекторной для регистрации HD. Переключение при измерении ионов разных масс происходит изменением ускоряющего напряжения.



В целом коллекторная система прибора ориентирована на измерение изотопных отношений элементов в постоянном потоке гелия.

Компанией также разработан интерфейс для потоковых устройств и макет элементного анализатора с двумя печами – окислительной и пиролитической, как первого устройства подготовки образцов для изотопной масс-спектрометрии. Прибор собран как настольный моноблок, в котором размещены как вакуумно-аналитическая часть, так и вся питающая и регистрирующая электроника – снаружи остается только форвакуумный насос. Вакуумно-аналитическая камера, включая камеру масс-анализатора, сделана из дюралюминия. Для увеличения долговечности работы вакуумной системы предусмотрен специальный режим выключения, обеспечивающий наполнение камеры гелием до давления чуть выше атмосферного в режиме отключения вакуумной откачки.

Доктор физико-математических наук, профессор НИЯУ МИФИ Алексей Александрович Сысоев рассказал о первом и пока единственном отечественном тандемном трехквadrupольном масс-спектрометре с ионизацией электрораспылением, который разработан на кафедре молекулярной физики НИЯУ МИФИ в рамках федерального проекта "Развитие отечественного приборостроения гражданского назначения для научных исследований". В настоящее время проводятся приемочные испытания прибора. В следующие два года будет выпущена пилотная серия, приборы из которой поступят на апробацию в несколько научных организаций. После того как отзывы потребителей будут собраны, а замечания учтены, на российский рынок выйдет первый разработанный в России трехквadrupольный масс-спектрометр для систем ВЭЖХ/МС. Новый масс-спектрометр по техническим параметрам сопоставим с широко распространенными приборами Sciex 4500, Shimadzu 8040 и Agilent 6460 и способен решать широкий круг аналитических задач в химии, биологии, медицине и экологии.



Второй день конференции открыл пленарный доклад доктора технических наук, сотрудника Института аналитического приборостроения РАН Екатерины Петровны Подольской "Технология Ленгмюра, адаптированная к поверхности капли: новые возможности МАЛДИ-МС анализа в формате "лаборатория на мишени"". Технология Ленгмюра позволяет получать уникальные регулярные на молекулярном уровне структуры. При нанесении раствора амфифильного соединения в легколетучем неполярном растворителе (гексане) на поверхность водной субфазы, содержащей катионы металла, на границе раздела фаз образуется нерастворимая в воде строго упорядоченная мономолекулярная структура, одна поверхность которой полностью состоит из атомов металла. Благодаря этому структура приобретает свойства МАХ-сорбентов. Технология Ленгмюра позволяет легко варьировать металл, входящий в состав монослоев, и таким образом регулировать их специфичность к анализам. При этом атомы металлов, входящие в состав монослоев, доступны для анализов и не переходят в образец при анализе, поскольку ковалентно связаны с остатками жирных кислот (ЖК), что полностью соответствует требованиям, предъявляемым к МАХ-сорбентам. В связи с высоким уровнем адгезии монослоев к твердым подложкам они являются перспективными материалами для функционализации поверхности МАЛДИ-мишени. Адаптация технологии Ленгмюра к полусферической поверхности водной субфазы позволила формировать монослои на основе стеаратов металлов непосредственно на поверхности МАЛДИ-мишени.

Белковые соединения, модифицированные остатками или метаболитами хлорсодержащих ксенобиотиков, могут быть селективно экстрагированы из многокомпонентных образцов методом МАХ непосредственно на поверхности мишени, функционализированной монослоями стеаратов металлов в формате "лаборатория на мишени". При исследовании

самоорганизации солей стеариновой кислоты при формировании металл-аффинных сорбентов на МАЛДИ-мишени было показано, что на границе раздела фаз достигается практически полная диссоциация ЖК с переходом в соль, а нанесение на водную фазу смеси ЖК, растворенной в гексане, приводит к образованию монослоя Ленгмюра, состоящего из солей ЖК, входящих в состав смеси. При этом барий способствует ионизации карбоксилатов при энергиях лазера, применяемых в МАЛДИ-МС за счет легкого отщепления второго кислотного остатка с образованием иона в виде монокарбоксилата бария. В результате был разработан надежный метод идентификации ЖК по принципу "отпечатка пальцев". Благодаря высокой чувствительности, точности и широкому линейному динамическому диапазону метод может быть применен не только при качественном, но и при полуколичественном сравнении больших серий образцов в клинической диагностике, при анализе состава и качества пищевой продукции, а также в экспериментальной биологии.

Научный сотрудник кафедры молекулярной биологии биологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова Николай Андреевич Ломов в своем докладе "Новые протеазы для масс-спектрометрии" напомнил слушателям о том, что качество данных масс-спектрометрии в протеомике напрямую зависит от эффективности пробоподготовки. Ключевой этап bottom-up подхода – ферментативный гидролиз белков на пептиды. Несмотря на широкое использование трипсина, необходимы альтернативные протеазы, позволяющие расширить спектр идентифицируемых белков и посттрансляционных модификаций. Компания "Клонинг Фасилити" представила линейку новых рекомбинантных протеаз: "Непрозин", "Кех2" и "Карбоксипептидаза Б", каждая из которых обладает уникальной специфичностью и рядом преимуществ по сравнению с существующими аналогами. Все протеазы экспрессированы в *Pichia pastoris*,



что обеспечивает высокую активность и чистоту. Линейка ферментов "Клонинг Фасилити" расширяет возможности пробоподготовки в масс-спектрометрии, предлагая новые инструменты для протеомного анализа.

Сотрудник Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М.Сеченова Минздрава РФ, к.т.н. Александр Евгеньевич Носырев в своем докладе затронул проблемные вопросы применения масс-спектрометрии в медицинской диагностике, токсикологии и ветеринарно-санитарной экспертизе. По словам докладчика, сдерживание внедрения ВЭЖХ/МС-МС в практику клинико-диагностических лабораторий (ХТЛ) связано с высокой стоимостью оборудования, отсутствием специальных наборов для выполнения анализов, стандартов для идентификации веществ и выполнения количественного анализа. Остро недостает практических возможностей использования дейтерированных производных. В стране отсутствует развитая система метрологического обеспечения для выполнения количественного анализа, что также сдерживает применение методов масс-спектрометрии. В результате при выполнении химико-токсикологических исследований количественные методы анализа не используются. Докладчик подчеркнул, что, помимо оснащения ХТЛ всем необходимым инструментарием и реагентами, необходимо создание национальной библиотеки масс-спектров, а также развитие системы подготовки и переподготовки профильных квалифицированных кадров.

Третий день конференции открыл доклад директора Центр коллективного пользования научным оборудованием "Арктика" Северного (Арктического) федерального университета имени М.В.Ломоносова к.х.н. Дмитрия Сергеевича Косякова "Масс-спектрометрические методы в изучении молекулярного состава и структуры лигнина". Докладчик рассказал о современном состоянии масс-спектрометрических методов анализа лигнина и продуктов его деградации, а также результатах исследований по

данной тематике, выполненных в Центре коллективного пользования научным оборудованием "Арктика". Данные работы охватывали методологические вопросы повышения эффективности генерации ионов лигнина в условиях МАЛДИ и ионизации при атмосферном давлении, применения масс-спектрометрии высокого разрешения на основе орбитальной ионной ловушки, обработки и интерпретации получаемых масс-спектрометрических данных с использованием концепции дефектов масс Кендрика, а также визуализации молекулярного состава в пространстве ван Кревелена. Особое внимание уделялось методам тандемной масс-спектрометрии для определения соотношения структурных звеньев разных типов, а также классификации препаратов лигнина по их происхождению. Докладчик подробно показал возможности масс-спектрометрии для исследования технических лигнинов, в частности азотсодержащих препаратов, выделяемых из растительного сырья с применением ионных жидкостей на основе алкилимидазолия.

Специалист компании "ЛЕКО ЦЕНТР-М" к.х.н. Гульнара Маратовна Шайдуллина выступила с докладом "Реквием по доступу к GC-GC/TOFMS технологии от LECO – уроки истории и поэзия партнерства", посвященным многолетнему сотрудничеству компании с российским сообществом масс-спектрометристов. В традициях корпорации LECO – выстраивание долгих взаимовыгодных партнерских отношений с научными группами и отдельными учеными, особенно если область их научных интересов включает задачи, которые могут быть наилучшим образом решены с помощью технологий, реализуемых в аналитическом оборудовании LECO. С самого начала Европейское подразделение Корпорации LECO поддерживало инициативу учреждения Всероссийского масс-спектрометрического общества, и отчасти именно благодаря этой поддержке в 2003 году удалось организовать Первый съезд ВМСО, и процесс создания общероссийской общественной организации увенчался успехом.



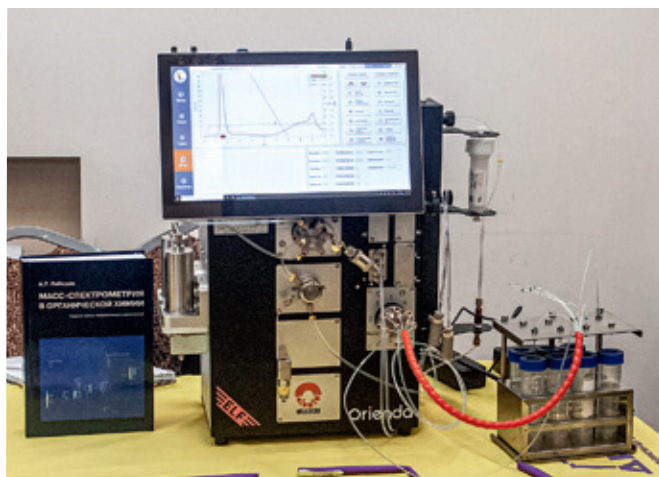
"Мы гордимся тем, что поддерживаем ученых на разных этапах и в разных ситуациях, начиная с помощи в освоении технологии и программного обеспечения студентами и аспирантами во время выполнения их выпускных квалификационных работ. Мы организуем демонстрационные туры в наш Европейский практико-технический центр, где на примере предоставленных образцов показываем преимущества нашего оборудования. Мы активно содействуем научным группам при необходимости оснащения лабораторий нашим оборудованием, чтобы обеспечить наилучшие и максимально подходящие для их задач конфигурации, оказываем техническую и сервисную поддержку на этапе освоения и дальнейшего использования приборов. Мы принимаем деятельное участие в организации тематических школ и семинаров по всему миру, поддерживаем организацию научных конференций и издание обучающих книг", – подчеркнула Г.М.Шайдуллина.

Заключительный доклад третьего дня конференции старший научный сотрудник Кубанского государственного университета д.х.н. Азамат Зауалевич Темердашев посвятил преимуществам и неочевидным сложностям дериватизации аминокислот и стероидных гормонов в масс-спектрометрическом анализе. Разработка новых дериватирующих агентов представляет большой интерес для решения широкого спектра аналитических задач, включая анализ аминокислот. Зачастую выбор падает на повсеместно распространенные соединения, такие как ФМОС-Cl и дансилхлорид, являющиеся одновременно и флуорисцентными метками, и радикалами, обуславливающими удерживание в режиме обращенно-фазовой жидкостной хроматографии, в то время как для масс-спектрометрического анализа количество дериватирующих реагентов крайне ограничено. При этом нативный анализ аминокислот, используемый в том

числе в неонатальном скрининге, приводит нередко к большой погрешности, что негативно сказывается на точности и надежности проводимого исследования.

В заключительный день первый пленарный доклад "Маркеры радиационной обработки пищевых материалов: масс-спектрометрические подходы для идентификации и определения" представил д.х.н. профессор Кафедры аналитической химии химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова Игорь Александрович Родин. Докладчик рассказал о цикле исследований, посвященных поиску и определению маркеров радиационной обработки пищевых материалов среди белковых молекул, ферментов, летучих органических соединений с использованием методов ВЭЖХ/МС-МС и ГХ-МС с целью идентификации факта обработки пучками электронов и фотонами пищевой продукции, а также для оптимизации параметров обработки различных категорий продуктов питания. В результате выполненной исследовательской работы установлены дозовые зависимости степени структурных и функциональных белков и ферментов после воздействия ускоренных электронов и рентгеновского излучения. Найден ряд потенциальных маркеров радиационной обработки пищевых материалов среди летучих органических соединений, концентрация которых устойчиво растет с увеличением дозы облучения. Разработана система планирования радиационной обработки продуктов питания растительного и животного происхождения, в основе которой лежат зависимости изменения микробиологических показателей и концентрации найденных маркеров окисления биомолекул от дозы обработки.

Пленарный доклад члена-корреспондента РАН, профессора Сколковского института науки и технологий Евгения Николаевича Николаева был посвя-



щен основным тенденциям развития современной масс-спектрометрии. Особое внимание докладчик уделил прогрессу во внедрении многооборотных времяпролетных масс-спектрометров, разработке методов детектирования единичных ионов в масс-спектрометрах на основе орбитальной ловушки Orbitrap и зарядо-чувствительных устройствах для исследования многозарядных ионов и ионных комплексов с массами мега-Дальтон и выше, комбинаций масс-анализаторов для увеличения скорости анализа и эффективности использования ионов, а также внедрению различных устройств, разделяющих ионы по подвижности. Были рассмотрены новые методы масс-спектрометрии в омиксных технологиях, повышающие уровень идентификации белков, метаболитов и липидов в различных физиологических жидкостях и тканях. Отмечен прогресс в имиджинговой масс-спектрометрии и в развитии омиксных технологий для отдельных клеток.

Завершил пленарную сессию доклад директора Института физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина РАН члена-корреспондента РАН Алексея Константиновича Буряка "Ионная хроматография – масс-спектрометрия". Докладчик подробно остановился на истории развития метода и его современном состоянии. Возможности сочетания ионной хроматографии с масс-спектрометром непрерывно совершенствуются. Современная ионная хроматография позволяет "увидеть" катионы, анионы и органические ионные соединения в одной хроматограмме, которые можно идентифицировать с помощью масс-спектрометра, что позволяет повысить и чувствительность, и информативность анализа. Ряд компаний декларируют, что стыкуют ионные хроматографы со всей линейкой своих масс-спектрометров от моно-

квадруполей до приборов, оснащенных орбитальной ионной ловушкой. Рынок таких систем неуклонно растет и, по прогнозам, к 2033 г. достигнет 2,5 млрд долларов. Такие системы востребованы в промышленности, фармацевтике, медицине, экологии и других областях. Моноквадруполь для ионной хроматографии опережает другие масс-спектрометрические детекторы благодаря низкой стоимости при высокой чувствительности и селективности, что важно для анализа органических соединений. При этом квалифицированный специалист в области ионной хроматографии, применив оптимизированные условия и подходящую колонку, может использовать любой серийный прибор для жидкостной хроматографии – масс-спектрометрии. Вместе с тем определенная специфика ионной хроматографии, специализированные колонки, элюенты и даже объекты анализа, предполагает и прибор, специально адаптированный под эти задачи. По словам докладчика, идеальными детекторами для ионной хроматографии являются тройной квадруполь и времяпролетный масс-спектрометр с высоким разрешением с оптимальным диапазоном масс до 6000 Да.

Помимо пленарной, на конференции работали секции "Применение масс-спектрометрии для аналитических целей (экология, допинг-контроль, контроль продукции и процессов)", "Изотопная, неорганическая и элементная масс-спектрометрия", "Приборостроение", "Масс-спектрометрия в медицине и биологии" и "Органическая масс-спектрометрия". Участники конференции прослушали более 80 устных докладов. Кроме того, состоялись постерная сессия и выставка решений и оборудования компаний-партнеров конференции, в том числе генерального спонсора форума – компании "МС-Аналитика".