

УДК 543.51 + 621.384.8

© Л. Н. Галль, В. Е. Курочкин

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ "ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НАУКИ, ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИКИ РФ"

Масс-спектрометрия является универсальным аналитическим измерительным методом высшей категории, обеспечивающим в современных технологиях контроль состава и примесей в любых материалах и сырье. В мире несколько десятков приборостроительных фирм выпускают сотни наименований масс-спектрометров для решения задач промышленности, экологии, таможенного контроля, медицины и т. д. Эти приборы весьма совершенны, разнообразны по возможностям, имеют высокую стоимость и дороги в обслуживании. Россия длительное время была мировым лидером в разработках масс-спектрометров для изотопных анализов, на равных с западными фирмами велись разработки масс-спектрометров для анализа элементного состава образцов и молекулярных исследований. С 1999 г. в России возобновлены разработки отечественной масс-спектрометрической техники. Минатом РФ начал разработку серии специализированных масс-спектрометров для применения в технологиях ядерно-топливного цикла. Министерством промышленности, науки и технологий РФ на конкурсной основе поставлены НИОКР "Разработка транспортабельного квадрупольного хромато-масс-спектрометра (ГХ—МС)" в 2000 г. и НИОКР "Времяпролетный масс-спектрометр с ортогональным источником ионов и электрораспылением (типа "электроспрей") для сочетания с жидкостным хроматографом" (2002 г.). Работы по заказам министерств обеспечили создание двух межотраслевых научно-технических коллективов разработчиков:

1. Организации Минатома РФ, РАН и частные фирмы (АОЗТ "Спектрон-Аналит" (Санкт-Петербург) и др.).
2. Институт аналитического приборостроения РАН, МГУ, ООО "Альфа" (Санкт-Петербург) и др.

В статье изложен проект программы развития масс-спектрометрии в России до 2005 г.

ВВЕДЕНИЕ

Масс-спектрометрия является основным, а во многих случаях — единственным методом прецизионного контроля состава сложных смесей: воздуха и смесей газов, металлов, сплавов и конструкционных материалов (проводников, диэлектриков, пластмасс), природных материалов, ядерного топлива, смесей веществ органического и биоорганического происхождения, в том числе лекарств. Масс-спектрометрические методы, являющиеся одновременно и высокоточными, и высокочувствительными, позволяют анализировать как собственно состав образца, так и состав примесей в нем, причем чувствительность масс-спектрометрии к примесям превышает возможности других аналитических методов. Эти свойства масс-спектрометрии уже давно привели к тому, что масс-спектрометрический контроль используется во всех областях промышленности, технологии и науки, где требуются данные о составе продукции или исследуемых образцов, в экологических исследованиях и медицине как важный датчик состава объектов окружающей среды или элемент системы диагностики жизнедеятельности живых организмов, а также во многих производствах как незаменимый элемент АСУТП.

Развитие масс-спектрометрии в России неразрывно связано с разработкой в конце 40-х годов "ядерного проекта", приведшей к появлению в начале атомной бомбы, а впоследствии — ядерной энергетики. Средства, вложенные в этот период в разработку изотопных технологий, дали возможность в достаточно короткие сроки создать новую высокоточную и высокочувствительную аналитическую масс-спектрометрическую технику, на базе которой были развиты изотопные масс-спектрометрические методики для решения разнообразных задач в самых разных областях науки и техники: от ядерной физики и фундаментальной химии до биологии и медицины. Длительное время наша страна была мировым лидером в области разработки изотопных масс-спектрометров и признанным в мире разработчиком масс-спектрометров для решения химических и биоорганических задач. Масс-спектрометрические разработки и выпуск приборов были в основном сосредоточены в АН СССР (НТО АН СССР, г. Ленинград) и Минприборе СССР. Однако в 90-х годах отечественная масс-спектрометрия была полностью разрушена. За последние 10 лет в России был разработан и выпущен малой серией только один масс-спектрометр мирового уровня — комплекс ГХ—МС для анализа диоксинов в объектах окружающей среды (масс-спектрометр

МСД-650, 1996 г., ЭЗНП РАН, г. Черногловка Московской обл.), в то время как в мире рынок масс-спектрометров для решения всех вышеперечисленных задач превышает пять миллиардов долларов в год, а номенклатура составляет сотни наименований. При этом относительно недорогие (от 50 до 100 тысяч долларов за штуку) масс-спектрометры используются как контрольные на промышленных предприятиях, таможенных постах, полицейских участках, в экологическом контроле, при добыче полезных ископаемых. Более сложные и дорогие приборы стоимостью до 500 тысяч долларов применяются в фармакологии, медицине, медицинских и биологических технологиях. Сверхсложные и дорогие масс-спектрометры и масс-спектрометрические комплексы стоимостью до полутора–двух миллионов долларов применяются в высокопрецизионных элементных и изотопных исследованиях и измерениях в технологиях микроэлектроники, в производстве особо чистых веществ, в геохронологии (прогнозировании месторождений полезных ископаемых), производстве и контроле ядерного горючего в ядерно-топливном цикле и в большой номенклатуре научных исследований.

Высокоточные (прецизионные) измерения изотопных отношений являются основой многих методов, разработанных и широко используемых для определения возраста и происхождения минеральных пород (геохронология: калий-аргоновый метод, барий-стронциевый метод и др.), возраста и происхождения органических веществ (углеродный метод), технологий переработки минерального сырья, медицинских технологий.

Многие масс-спектрометрические методы и методики были впервые предложены и разработаны в нашей стране, и их развитие стимулировало разработку большой номенклатуры масс-спектрометрических приборов и приборных комплексов. К ним относятся методики и техника изотопного анализа урана, методы элементного анализа (зондовый метод, скользящий разряд и др.), методы исследований в химической кинетике, хемоионизация, новые подходы к ГХ—МС и ХЖ—МС, метод анализа нелетучих веществ "электроспрей" (ЭРИ АД), являющийся основным методом современной масс-спектрометрии биополимеров, и многие др.

В настоящее время в большинстве научных лабораторий России приборный парк устарел, поскольку в России уже более 10 лет разработка масс-спектрометров не велась, а импортные приборы очень дороги и не доступны большинству научных институтов. В научных лабораториях России имеются единицы импортных приборов, приобретенных в разные годы за счет целевых дотаций, однако этот парк работает крайне неэффективно, т. к. его поддержание силами зарубежных

фирм-изготовителей также требует больших средств, которые у большинства предприятий отсутствуют.

По той же причине полностью перестал существовать парк масс-спектрометрических приборов в промышленности. С полным основанием можно утверждать, что:

Отсутствие масс-спектрометров отечественного производства в значительной степени определяет отставание как уровня, так и темпов развития большинства российских технологий.

Отсутствие масс-спектрометров отечественного производства снижает качество материалов и комплектующих изделий, используемых в оборонных технологиях.

Отсутствие в России масс-спектрометрической сертификации готовой продукции ведет к снижению ее стоимости на внешних рынках.

Отсутствие масс-спектрометрического таможенного контроля ведет к попаданию на внутренний рынок продукции низкого качества.

Из анализа принятых в развитых странах технологий следует, что масс-спектрометрические приборы обеспечивают высокий уровень развития для большинства направлений развития промышленности и науки, определяемых в России как "Приоритетные направления развития науки, технологий и техники и критические технологии федерального уровня". Это позволило подготовить и передать в Миннауки РФ проект развития масс-спектрометрии как основного современного средства контроля, обеспечивающего достижение уровня качества технологий и продукции, необходимого для интеграции в мировое производство. Проект включает программу разработки и выпуска в короткий срок при поддержке бюджета масс-спектрометров нескольких типов наиболее массового применения, необходимых для решения первоочередных крайне актуальных для экономики России задач, опираясь на опыт уже сложившихся групп разработчиков масс-спектрометрической техники. Программа отражает результаты маркетинговых исследований потребностей и возможностей отечественного рынка масс-спектрометров для изотопного, элементного и молекулярного анализов. В результате ее выполнения будут разработаны и подготовлены к серийному производству масс-спектрометры шести типов, обеспечивающие потребности народного хозяйства и науки в наиболее актуальных направлениях.

Для выполнения такой программы в России в настоящее время имеются все основания и возможности, связанные прежде всего с инициативой Минатома РФ. Действительно, для поддержания высокого качества продукции своих разделительных производств Минатом РФ в 1999 г. из собственных средств начал финансирование разработки специализированного изотопного масс-

спектрометра для нужд отрасли, для чего была собрана межотраслевая группа разработчиков из сотрудников Минатома, РАН и АОЗТ "Спектрон-Аналит". Работа была выполнена успешно и в рекордно короткие сроки: в ноябре 2001 г. разработанный прибор был сдан ГПК, причем его параметры и аналитические возможности превышают параметры зарубежных аналогов. Стоимость же этого прибора в 2.5 раза ниже, чем у аналога — масс-спектрометра германской фирмы Finnigan MAT. Его серийный выпуск будет вестись в России на собственных производствах Минатома, обслуживание выпущенных приборов не требует валютных затрат, и предполагается продажа таких приборов в Китай, Индию и другие страны азиатского региона. Все это доказывает, что в России, несмотря на десятилетнюю остановку процесса разработки наукоемких приборов, сохранились кадры высококвалифицированных специалистов-разработчиков и высокая культура аналитической масс-спектрометрии.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Современное мировое масс-спектрометрическое приборостроение развивается по двум основным приборостроительным линиям: масс-спектрометры для изотопно-элементного анализа веществ и масс-спектрометры для молекулярного анализа веществ.

Первое направление составляют разработки масс-спектрометров для определения элементного или изотопного состава веществ как неорганической, так и органической природы для исследований и анализа в области материаловедения, ядерной физики, геологии и геохронологии (геологического прогнозирования), а также в биологии, медицине и экологии. Это направление, в котором объектом масс-спектрометрических измерений являются газообразные и твердые образцы природного (геология) или технологического происхождения, а решаемой задачей — определение изотопного или элементного состава этих образцов, характеризуется относительно небольшим диапазоном масс (до 500 Да), но высочайшими требованиями по чувствительности к микропримесям (изотопической чувствительности) и точности измерения относительного содержания элементов или изотопов. Требуемая разрешающая способность R_s , как правило, невелика и находится в пределах нескольких тысяч. Поскольку объектами масс-спектрометрического изотопного и элементного анализов могут быть газы, жидкости и твердые вещества, в приборах применяются разнообразные методы ионизации, причем ионизация, как

правило, совмещается с атомизацией образца. Такими методами в элементном и изотопном анализе твердых образцов являются все виды разряда — искровой, тлеющий, скользящий; ионизация в плазме — дуговой разряд, гигантский лазерный импульс, индуктивно-связанная плазма (ICP); воздействие на образец ионными (ВИМС) и атомными (FAB) пучками, и некоторые гибридные методы. Особое место в этом ряду принадлежит поверхности термоионизации — уникальному методу для изотопного анализа, позволяющему анализировать сверхмалые пробы с высокой точностью. При изотопном анализе газов обычно используют электронный удар. Среди используемых масс-анализаторов преобладают: для изотопного анализа — однокаскадные статические магнитные и квадрупольные, а для элементного анализа — двухкаскадные статические с двойной фокусировкой и времяпролетные.

Второе направление составляют разработки масс-спектрометрической аппаратуры для решения задач химии, биохимии, молекулярной биологии, медицины, экологии и других направлений исследований, связанных с анализом состава сложных смесей веществ с большим молекулярным весом, в основном природного происхождения, и (или) идентификацией отдельных биоорганических веществ, в том числе из состава сложных смесей. Это направление, в котором объектом масс-спектрометрического исследования являются органические и биоорганические вещества, летучие или нелетучие, искусственного или природного происхождения, с большими или очень большими массами, характеризуется обилием методов ионизации и типов масс-анализаторов, используемых в разрабатываемых приборах. Для анализа нелетучих биоорганических веществ основными требованиями к параметрам масс-спектрометров являются требования к разрешающей способности (десятки тысяч и более), абсолютной чувствительности (фемтомоли и менее) и диапазону масс (от тысяч до сотен тысяч дальтон). Приборы этого типа, как правило, основаны на статических или времяпролетных масс-анализаторах и представляют собой сложные приборные комплексы: МС—МС, ГХ—МС, ХЖ—МС, ЭлФ—МС, ХЖ(ЭлФ)—МС—МС и т.д., автоматизированные, с многоцелевым математическим обеспечением. Стоимость таких приборных комплексов составляет от сотен тысяч до миллиона долларов. Одновременно для анализа летучих органических и биоорганических веществ (диапазон масс не превышает 1000 Да) разрабатываются достаточно простые, специализированные на единичную задачу или группу задач, масс-спектрометрические комплексы, отличающиеся, однако, очень высоким уровнем автоматизации и математического обеспечения. Как правило, это ГХ—МС с ионизацией электронным

ударом или хемиионизацией, с квадрупольными или статическими масс-анализаторами. Эти масс-спектрометрические комплексы интенсивно используются в нефтехимии, металлургии, фармакологии, медицине и т.д.

В настоящее время ядерно-топливное производство России, геологическая наука и горнодобывающая промышленность, металлургия, технология микроэлектроники и производство особо чистых материалов стратегического назначения испытывают настоящий приборный голод в связи с отсутствием отечественных лабораторных и технологических масс-спектрометров для замены устаревшего парка. Развитие отечественной биологии и биомедицины практически остановлено из-за отсутствия современных приборов для анализа биополимеров. Зарубежные масс-спектрометры этого назначения не только очень дороги — они стоят сотни тысяч долларов за прибор, — но их приобретение ставит купившие их организации в зависимость от фирм-продавцов из-за необходимости постоянного приобретения специальных расходных материалов.

ОСНОВНЫЕ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Масс-спектрометры для анализа изотопного состава веществ

Основные области применения приборов для изотопного анализа:

— в геохронологии и космохронологии при установлении возраста пород и минералов;

— в геологии при установлении происхождения пород и условий рудообразования, изучении и оценке урановых месторождений;

— в геохимии и космохимии при изучении ядерных реакций и их продуктов в радиоактивных минералах, в породах Луны и в метеоритах;

— в фундаментальной химии при изучении кинетики и термодинамики изотопного обмена, механизмов химических реакций;

— в фундаментальной физике при определении физических констант: распространенности изотопов элементов, периодов полураспада, дефектов масс ядер и др.;

— в ядерной технологии при контроле работы ядерных реакторов, при технологическом контроле процессов производства продуктов ядерно-топливного цикла и переработке ядерных отходов;

— в медицинских исследованиях и диагностике;

— в фундаментальной биологии при исследовании процессов межклеточного обмена;

— в криминологии при исследовании происхождения органических материалов и продуктов.

Анализ изотопного состава различных элементов начала таблицы Менделеева составляет особую группу масс-спектрометрических изотопных задач, различных по областям применения, но весьма близких с точки зрения используемой аналитической техники. К этим задачам в первую очередь относятся:

1. В ядерной физике и энергетике: анализ изотопного состава бора B^{10}/B^{11} и лития Li^6/Li^7 .

2. В геологии, криминологии, биохимии, медицине:

— анализ изотопного состава углерода C^{13}/C^{12} в газовой фазе (CO_2);

— анализ изотопного состава водорода в газовой фазе ($H-D$).

3. В геохронологии (прогнозирование месторождений полезных ископаемых):

— анализ изотопного состава аргона Ar^{40}/Ar^{39} ;

— анализ содержания и изотопного состава серы.

4. В диагностической и клинической медицине:

— контроль состава газов при анестезиологии (O_2, N_2, N_2O, NO, CO_2);

— анализ состава примесей в выдыхаемом воздухе как метод ранней медицинской диагностики заболеваний (диапазон масс 14–100).

Масс-спектрометры для элементного анализа

Масс-спектрометры для элементного анализа предназначены для контроля состава, включая примеси и микропримеси, твердых образцов как проводящих, так и плохо проводящих веществ и диэлектриков. Основные области применения масс-спектрометров для анализа элементного состава:

— технологический контроль материалов в металлургии и металлообрабатывающей промышленности;

— контроль примесей в чистых и особо чистых материалах, в том числе в технологиях микроэлектроники;

— контроль состава и примесей диэлектрических и полимерных материалов;

— контроль примесей в сырье и продукции при производстве особочистых материалов;

— технологический контроль при переработке ядерных отходов;

— таможенный контроль состава сырья и продукции;

— экологический контроль образцов природного происхождения (воды, почвы, донных отложений и т.д.);

— медицинский контроль элементного статуса организма.

**Масс-спектрометры
для молекулярного анализа**

Масс-спектрометры для молекулярного анализа предназначены для контроля состава сложных смесей веществ и идентификации веществ природного или искусственного происхождения при решении задач химии, биохимии, молекулярной биологии, медицины, экологии.

Эта группа приборов на мировом рынке представлена, как правило, приборными комплексами, состоящими из систем предварительного разделения и концентрирования смесей веществ (газовые и жидкостные хроматографы, приборы капиллярного

электрофореза, микрочипы и т.д.) и масс-спектрометров со статическими, квадрупольными или времяпролетными масс-анализаторами. Комплексы, предназначенные для анализа газов и легко летучих веществ, — это всегда приборные комплексы ГХ—МС с диапазоном масс до 1000 а.е.м. Приборы, предназначенные для анализа нелетучих веществ и биополимеров — как правило, с ионизацией методами "Электроспрей" или "MALDI" и с масс-анализаторами с большим и очень большим диапазоном масс.

Разработанный проект программы, обеспечивающий приборами все три обозначенных направления, представлен в таблице.

Характеристики, особенности, назначение	РАЗРАБАТЫВАЕМЫЕ ПРИБОРЫ					
	1	2	3	4	5	6
Наименование прибора	Масс-спектрометр изотопный твердофазный многоколлекторный МТИ-350ТМ	Масс-спектрометр изотопный газовый многоколлекторный МТИ-100Г с комплексом источников ионов и систем пробоподготовки	Масс-спектрометр для контроля элементного состава материалов МС Q-100К	Масс-спектрометр элементный времяпролетный с ионизацией в индуктивно-связанной плазме (ИСП)	Хромато-масс-спектрометр квадрупольный ГХ—МС в комплекте с газовым хроматографом "Купол"	Масс-спектрометр времяпролетный с ортогональным источником ионов "электроспрей" и жидкостным хроматографом ХЖ—МС
Основные параметры	$R_s = 1000$ $M = 360$ Поверхностная ионизация пробы Точность измерения изотопных отношений: уран — 0.01%, стронций — 0.001% Чувствительн. по U — ион/500 ат	$R_s = 500$ $M = 100$ Ионизация электронным ударом и хемиионизация Чувствительн. — 0.01 ppm	$R_s = 2M$ $M = 300$ Чувствительн. — 0.1 ppm Ионизация: тл. разряд, скольз. разряд	$R_s = 500$ $M = 300$ Чувствительн. к примесям — 0.01 ppm	$R_s = 2M$ $M = 800$ Ионизация электронным ударом Электроспрей	$R_{50\%} = 10000$ $M = 10000$ Да Точность 5 ppm Чувствительн. — 10^{-15} М по грамицидину
Сроки разработки, участники разработки	II кв. 2004 г. ИАНП РАН, ЭЗНП РАН, АОЗТ "Спектрон-Аналит", ПО "Маяк", УЭХК Минатома РФ	Минимальный комплект — IV кв. 2003 г. Полный комплект — IV кв. 2005 г. ИАНП РАН, ЭЗНП РАН, ООО "Технан", ОАО "Научные приборы"	IV кв. 2004 г. ИАНП РАН, ЭЗНП РАН	IV кв. 2005 г. ИАНП РАН, ПИЯФ РАН, ОАО "Научные приборы"	IV кв. 2003 г. ИАНП РАН, ЭЗНП РАН	ИАНП РАН, МГУ, ООО "Альфа"

Характеристики, особенности, назначение	1	2	3	4	5	6
Область решаемых задач	<ul style="list-style-type: none"> - Контроль технологических процессов в производстве ядерного горючего и переработке ядерных отходов. - Прогнозирование месторождений полезных ископаемых. - Проведение научных исследований 	<ul style="list-style-type: none"> - Технологический контроль в производствах микроэлектроники и Минатома РФ. - Прогнозирование месторождений полезных ископаемых. - Таможенный и экологический контроль сырья и продукции. - Медицинская диагностика и клиника 	<ul style="list-style-type: none"> - Сертификационный технологический контроль состава материалов и примесей в них, включая диэлектрики и полимеры. - Контроль продукции в микроэлектронике. - Контроль состава металлов в металлургии и промышленности. - Медицинский контроль. - Таможенный контроль 	<ul style="list-style-type: none"> - Технологический контроль в производстве особо чистых материалов. - Контроль состава перерабатываемых ядерных отходов. - Экологический контроль на производствах. - Контроль состава продукции 	<ul style="list-style-type: none"> - Экологический контроль состава и примесей воздуха. - Технологический контроль газовых смесей. - Медицинский контроль. - Научные исследования 	<ul style="list-style-type: none"> - Анализ состава смесей малолетучих органических соединений в медицине, биологии, экологии
Предполагаемая стоимость. Стоимость аналогов	250 тыс. USD MAT 262 — 650 тыс. USD	Миним. компл. — 50 тыс. USD Дельта+ (Finnigan MAT) — 420 тыс. USD	70 тыс. USD GLOW QUAD, VG — 120 тыс. USD	100 тыс. USD Аналога нет	50 тыс. USD HP 5973 MSD фирмы Hewlett-Packard — 89 тыс. USD	90 тыс. USD MS—GCT фирмы Micromass — 200 тыс. USD
Российские нау-хау, отличающие прибор от аналогов	<ul style="list-style-type: none"> - Новая ионно-оптическая схема. - Новая технология изготовления блока ионизации 	<ul style="list-style-type: none"> - Новый масс-анализатор. - Новая система управления дисперсией 	Новый метод ионизации	<ul style="list-style-type: none"> - Новый масс-анализатор. - Новая плазменная горелка 	<ul style="list-style-type: none"> - Новый экономичный интерфейс. - Эффективный источник ионов 	Новая система фокусировки ионного пучка.
Заинтересованные организации	<ul style="list-style-type: none"> - Научные институты, в том числе РАН. - Комбинаты Минатома РФ. - Станции экологического контроля. - Горнодобывающая промышленность 	<ul style="list-style-type: none"> - Научные институты, в том числе РАН. - Комбинаты Минатома РФ. - Станции экологического контроля. - Горнодобывающая промышленность. - Военно-промышленный комплекс. - Медицинские учреждения 	<ul style="list-style-type: none"> - Металлургические и металлообрабатывающие производства. - Таможни. - Медицинские центры 	<ul style="list-style-type: none"> - Производства микроэлектроники. - Производства Минатома. - Таможни 	<ul style="list-style-type: none"> - Заводские лаборатории. - Станции экологического контроля. - Предприятия добычи и переработки нефти и газа. - Медицинские учреждения. - Научные институты, в том числе институты РАН 	<ul style="list-style-type: none"> - Клинические лаборатории. - Диагностические центры. - Научные учреждения

Таким образом, в результате выполнения настоящей программы будут разработаны и подготовлены к серийному производству масс-спектрометры шести типов, обеспечивающие потребности народного хозяйства и науки на наиболее актуальных направлениях.

*Институт аналитического приборостроения РАН,
Санкт-Петербург*

Материал поступил в редакцию 29.04.2002.

MASS SPECTROMETRIC INSTRUMENTATION FOR HIGH-PRIORITY AREAS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN RUSSIA

L. N. Gall, V. E. Kurochkin

Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg

Mass spectrometry is a multi-purpose high-end analytical technique used to determine the composition and impurities in any substance or raw material as required by modern process technologies. Several instrumentation companies over the world produce a wide nomenclature of mass spectrometers for industrial, environmental, medical and many other applications. These instruments are quite perfect, versatile yet very expensive and costly to serve. For a long time Russia was the world's leader in isotopic mass spectrometry, made competitive mass spectrometers for elemental and molecular analysis. In 1999 development of domestic mass spectrometers in Russia was resumed. The Russian Federation Ministry of Atomic Energy started the development of a series of special-purpose mass spectrometers to be used in nuclear-fuel technology cycles. In 2000 the Ministry of Industry, Science and Technologies of the Russian Federation set up a R&D project "Development of a mobile quadrupole mass spectrometer—chromatograph (MS—GC)" and in 2002 a R&D project "Time-of-flight mass spectrometer with an orthogonal and electrospray ion source" to be combined with a liquid chromatograph. The work under these projects is performed by two interbranch scientific and technical collectives including

1. Institutions within the Ministry of Atomic Energy of the Russian Federation, RAS and private firms (SPEKTRON-Analyt Close JSC (St. Petersburg) and others).
2. Institute for Analytical Instrumentation RAS, Moscow State University, ALFA Limited Company (St. Petersburg) and others.

The paper presents the program of further mass spectrometry development in Russia.