

# ОТ ИДЕИ ДО ПРОИЗВОДСТВА

## ОПЫТ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО СЕРИЙНОГО ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРА "ХРОМАТЭК"

**В.Ю.Васильев**, ЗАО СКБ "Хроматэк", v.vasilyev@chromatec.ru

СКБ "Хроматэк" – признанный лидер в разработке и производстве газохроматографического оборудования в России. Коллектив компании с более чем 30-летним опытом в области газовой хроматографии успешно работает и развивается на рынке аналитического оборудования. Стратегия компании – создавать российское оборудование на уровне ведущих мировых производителей.

Компания основана в 1991 году группой специалистов, имеющих опыт в разработке газовых хроматографов. Деятельность компании, направленная на безупречное качество продукции и сервиса, а также постоянное совершенствование продукции вывели СКБ "Хроматэк" на лидирующие позиции российского рынка газовой хроматографии.

Сегодня в СКБ "Хроматэк" трудятся свыше 300 сотрудников. Это высококвалифицированные специалисты разного профиля, составляющие научно-технический потенциал компании, которая размещается в трех собственных зданиях площадью свыше 12200 м<sup>2</sup>. Производство оснащено самым современным оборудованием.

Стратегическое партнерство СКБ "Хроматэк" с компаниями Thermo Fisher Scientific, SGE Analytical Science, Valco Instruments и другими расширяет возможности хроматографических комплексов серии "Хроматэк-Кристалл" и ставит их в один ряд с приборами признанных зарубежных производителей.

С 2003 года компания открывает новое для себя направление аналитического приборостроения – производство масс-спектрометрического оборудования. Об истории создания первого в России серийного квадрупольного масс-спектрометрического детектора с техническими характеристиками на уровне лучших зарубежных образцов читайте в этой статье.

В нашей стране так много написано о технологиях продаж и так мало о реальном производстве аналитических инструментов, что невольно возникает желание рассказать о том, как рождаются приборы. Совсем недавно, осенью 2016 года, на 2-ой Международной конференции "Инновации в масс-спектрометрии: приборы и методы" один из известных российских масс-спектрометристов был изрядно удивлен, узнав, что в России, оказывается, существует серийное производство квадрупольных масс-спектрометров. И это через 14 лет после того, как компания СКБ "Хроматэк" занялась их разработкой и производством. Такое незнание не вызывает удивления, поскольку российские ученые работают либо на зарубежные компании, либо на импортных приборах по своим узкоспециализированным темам и грантам. Исследователи не следят за развитием российского аналитического приборостроения, и лишь единицы пытаются сдвинуть с мертвой точки

работы по созданию масс-спектрометров в нашей стране. Попробуйте выполнить поиск в Интернете по запросу "производство масс-спектрометров", и вам хватит пальцев одной руки, чтобы пересчитать российские фирмы, в то время как в мире масс-спектрометрическим оборудованием занимаются сотни компаний.

Рассказ о создании и развитии направления масс-спектрометрии в СКБ "Хроматэк" поможет хотя бы частично восполнить этот пробел в отечественной истории производства масс-спектрометрического оборудования в период с 90-х годов прошлого века. А возможно, и привлечет интерес более широкого круга специалистов к проблемам отечественного аналитического приборостроения в целом.

### ПЕРВЫЕ ШАГИ

Во второй половине 90-х годов прошлого века СКБ "Хроматэк" участвовал в одном из семинаров по газо-

вой хроматографии в Институте общей и неорганической химии им. Н.С.Курнакова РАН. Именно там Александр Разяпович Мусин, заместитель генерального директора "Хроматэк" впервые предложил представителю Agilent Technologies сотрудничество по созданию tandemного прибора – хроматографа "Кристалл" с масс-селективным детектором Agilent Technologies. В то время ясного представления о практической пользе масс-спектрометрического детектора, как и какого-либо анализа соответствующего рынка в России у нас еще не было и в помине. Было лишь интуитивное стремление прибегнуть к производству приборов данного класса. Тем не менее, предложение было сделано.

Позже варианты такого сотрудничества обсуждались с компанией "Интерлаб" – официальным представителем Agilent Technologies в России. Совместно со специалистами "Интерлаба" мы оценивали возможность сопряжения масс-селективного детектора Agilent Technologies с газовым хроматографом "Кристалл". Чтобы снизить вероятность получения отрицательного результата такого тандема, рассматривался также и вариант установки на хроматограф "Кристалл" системы подготовки газов вместе с испарителем компании Agilent Technologies. Но по многим причинам сотрудничество в тот момент не состоялось. И к этому вопросу мы вернулись только в начале 2000-х.

### **ОТ ЗАМЫСЛА К СЕРИЙНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ**

Нельзя не упомянуть, что с самых первых шагов неосценимый вклад в развитие масс-спектрального приборостроения в СКБ "Хроматэк" внес генеральный директор компании Вениамин Федорович Загайнов. Неординарность и дар предвидения Вениамина Федоровича, его талант руководителя позволили не просто создать и развить данное направление, но и довести разработанный квадрупольный масс-спектрометр до уровня серийного коммерческого продукта.

2 июня 2003 года по заданию руководства СКБ "Хроматэк" Александром Геннадьевичем Слепневым, ведущим инженером методической лаборатории, было составлено первое "Техническое задание на разработку масс-селективного детектора типа квадруполь". При подготовке документа мы учли мнение ведущих специалистов в области масс-спектрометрии Юрия Яковлевича Ефремова, Ильдара Хамидовича Ризванова и Альфреда Гильмановича Абульханова (г. Казань). На тот момент нам уже стало ясно, что наиболее востребованным на российском рынке будет масс-анализатор именно квадрупольного типа.

В старых добрых традициях после появления первого технического задания специалисты "Хроматэка" обратились к анализу мирового опыта по квадрупольным



*В.Ф.Загайнов, генеральный директор ЗАО СКБ "Хроматэк" с 1990 по 2014 гг.*

масс-спектрометрам и поиску партнеров в этой области. Поиски велись как в России, так и за рубежом. Предложения по сотрудничеству в 2003-м и в начале 2004 года были разосланы в компании Thermo Electron, Agilent Technologies, Varian, Waters и их российские представительства.

На переговорах мы зачастую получали такие ответы: "Компания заинтересована в увеличении объема продаж исключительно собственного оборудования. Укажите нам те дополнительные рынки сбыта в России, которые мы сможем освоить с Вашей помощью".

И только Михаил Исаакович Токарев, директор "МС-Аналитики" – российского представительства компании Thermo Electron – поверил в перспективность нашей совместной работы и приложил все силы, чтобы наше сотрудничество состоялось. Во второй половине 2003 года Михаил Исаакович предложил "состыковать" наш газовый хроматограф "Хроматэк Кристалл" с масс-спектрометром DSQ компании Thermo Electron. Идея попала на хорошо подготовленную почву и дала всходы. Начатые в 2004 году работы по сопряжению газового хроматографа "Хроматэк Кристалл 5000" с масс-спектрометром DSQ увенчались успехом, и уже в конце года был продан первый российско-американский хромато-масс-спектрометр.

Но если бы вы только знали, сколько трудностей пришлось преодолеть, чтобы довести параметры российско-американского ГХ/МС до параметров его американского собрата. Первые ГХ/МС-комплексы выходили

**Вениамин Федорович Загайнов** (1939–2014) – один из первых организаторов современного производства российских газовых хроматографов и масс-спектрометрических детекторов, основатель и бессменный генеральный директор СКБ "Хроматэк" вплоть до 2014 года.

Вениамин Федорович родился в 1939 году в с. Шулка Марийской АССР. Его трудовая биография началась с работы трактористом на машинотракторной станции, после службы в рядах Советской Армии и учебы в Поволжском лесотехническом институте им. М.Горького он работал на заводе полупроводниковых приборов в Йошкар-Оле.

В 1978 году Вениамин Федорович был приглашен на должность начальника отдела по разработке аналитических приборов для контроля окружающей среды в Опытно-конструкторское бюро приборов контроля и автоматики Главного управления микробиологической промышленности при Совете Министров СССР в Йошкар-Оле. Коллектив отдела под руководством В.Ф.Загайнова в кратчайшие сроки разработал и внедрил в производство анализатор состава газовых смесей для мониторинга атмосферы. По результатам этой работы отделу предложили заняться одним из важнейших для страны направлений аналитического приборостроения – газовой хроматографией. Разработки коллектива В.Ф.Загайнова всегда отличались новизной и опережали свое время. Так, например, в газовом хроматографе "Кристалл 2000" впервые в России был применен микроконтроллер и электронное управление газовыми потоками.

В 1991 году группой единомышленников под руководством В.Ф.Загайнова было создано Специальное конструкторское бюро "Хроматэк", которое во многом благодаря энергии, таланту и организаторским способностям Вениамина Федоровича заняло ведущее место в России по производству газовых хроматографов с развитой периферией, ЯМР-анализаторов и оборудования для анализа нефти.

В 2003 году под руководством В.Ф.Загайнова в СКБ "Хроматэк" было создано новое направление – разработка и производство хромато-масс-спектрометров. Первоначально это был совместный с компанией "МС-Аналитика" проект по продвижению на российский рынок нового хромато-масс-спектрометра с газовым хроматографом СКБ "Хроматэк" и масс-спектрометрическим детектором Thermo Finnigan. Проект оказался успешным, и на российский рынок была поставлена не одна сотня конкурентоспособных приборов.

В 2006–2008 годы совместно с коллективом лаборатории Л.Н.Галль в СКБ "Хроматэк" был разработан первый в России квадрупольный масс-спектрометр для газовой хроматографии.

В.Ф.Загайнов – автор нескольких изобретений и промышленных образцов, защищенных патентами РФ. С момента основания и до 2014 года Вениамин Федорович возглавлял региональное отделение ВМСО Республики Марий Эл. Многолетняя деятельность В.Ф.Загайнова по развитию отечественной газовой хроматографии и масс-спектрометрии отмечена многочисленными государственными и отраслевыми наградами России и Республики Марий Эл.

*По материалам  
журнала "Масс-спектрометрия" (ВМСО. 2014. Т. 11. № 1)*

из производства с трудом. Получение заданной чувствительности достигалось значительными усилиями по поиску и доведению до требуемой чистоты всех газовых узлов и магистралей, участвующих в анализе пробы.

При первом совместном включении мы вообще не увидели полезного сигнала на выходе. Он "потерялся" в сплошном шуме от нашей "грязи". Для ее устранения мы изменили конструкцию системы подготовки газов, переработали капиллярный испаритель, изменили технологию очистки деталей. В результате мы все-таки достигли чувствительности, которая была не хуже, чем у ГХ/МС Thermo Electron.

Однако "Хроматэк" не был бы "Хроматэком" если бы остановился на достигнутом. Мысль о создании собственного масс-спектрометра нас не покидала, и мы продолжили поиск специалистов в этой области.

По нашему приглашению СКБ "Хроматэк" посетила команда из Рязани во главе с Эрнстом Пантелеймоновичем Шеретовым (Рязанская государственная радиотехническая академия – РГТА). К нам приезжали Евгений Яковлевич Черняк ("Шибболет"), Лидия Николаевна Галль и Алексей Георгиевич Кузьмин (Институт аналитического приборостроения РАН). Мы сами побывали в Рязани, посетили Новосибирск и познакомились с Алексеем Леонидовичем Макасом и Михаилом Львовичем Трошковым – разработчиками первого отечественного мобильного хромато-масс-спектрометра из Конструкторско-технологического института геофизического и экологического приборостроения СО РАН. Мы были у масс-спектрометристов Санкт-Петербурга в "Меттек", ЦФТИ "АНАЛИТИК", Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе РАН, ну и, конечно, в лабораториях ИАП РАН у Лидии Николаевны Галль, Николая

Васильевича Краснова и Анатолия Николаевича Веренчикова.

Сейчас трудно вспомнить, но почему-то не сложилось сотрудничество с замечательной командой разработчиков мобильного хромато-масс-спектрометра из Новосибирска, сумевшей довести свои идеи до конечного продукта. Не получилось сотрудничества с командой Э.П.Шеретова. Е.Я.Черняк – большой энтузиаст масс-спектрометрии, он сам успешно продвигает свое дело. Специалисты по промышленным времяпролетным системам из Санкт-Петербурга также имели свои компании и, по нашему мнению, были самодостаточны, к тому же неплохо работали на своем рынке. Времяпролетные масс-спектрометры Веренчикова – Краснова в то время, по нашему мнению, на российском рынке были преждевременны, а квадрупольные масс-спектрометры их тогда не интересовали.

Переговоры с различными группами разработчиков продолжались около двух лет. В конце концов мы остановились на сотрудничестве с коллективом Лидии Николаевны Галль и в начале 2006 года заключили договор на разработку макета квадрупольного хромато-масс-спектрометра. По истечении двух лет изготовили и испытали у себя в "Хроматэке" два экземпляра квадрупольного масс-спектрометрического детектора: один – остался у нас, другой – после испытаний был передан в лабораторию ИАП РАН. К моменту окончания работ по договору мы уже накопили достаточный опыт по эксплуатации, техническому обслуживанию и продажам ГХ/МС совместно с компанией "МС-Аналитика", узнали потребности рынка и поняли, что изготовленные нами масс-спектрометры под эти требования не подходят и что от первых макетных образцов до производства серийной продукции – дистанция огромного размера.

В это же время мы не теряли надежды привлечь к работам по созданию масс-спектрометров государство. В 2008 году в кооперации с компаниями из Москвы и Санкт-Петербурга была сделана первая попытка подать заявку на финансирование в рамках ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы" в части работ, предлагаемых бизнес-сообществом. Темой проекта было "Создание и развитие научной, технологической и производственной базы для разработки и производства линейки современных высокотехнологичных отечественных хромато-масс-спектрометрических комплексов". Но кризис сказал свое веское слово, и попытка закончилась неудачей, по крайней мере, для нас, поскольку конечные документы по заявке оформляли не мы, и о конечном решении нам так и не сообщили. Оно растворилось.



Первые квадрупольные детекторы, изготовленные в ЗАО СКБ "Хроматэк"



Два первых масс-спектрометра на начальном этапе сборки

В 2011 году мы предприняли вторую попытку и обратились к Альберту Тарасовичу Лебедеву, в то время президенту ВМСО, с предложением реализовать в рамках какой-либо ФЦП совместный проект с участием государства "Разработка и изготовление отечественного квадрупольного хромато-масс-спектрометра для обеспечения предприятий и организаций различных отраслей сельского хозяйства, промышленности и науки средствами идентификации и контроля материалов в различных средах". Альберт Тарасович живо откликнулся, но переадресовал ведение организационных работ другому человеку. К сожалению, все сотрудничество на этом и закончилось.

Однако накопленные нами за предыдущие годы знания и опыт даром не пропали. Начав теперь уже самостоятельные работы, мы разработали и затем изготовили сначала два собственных макета масс-спектрометра,



Команда разработчиков хромато-масс-спектрометра "Хроматэк". Верхний ряд, слева направо: В.А.Козаринов, А.В.Мальцев, Н.Ю.Объедков, К.О.Павлов, В.Ю.Васильев, С.М.Канашин; нижний ряд: И.В.Безродный, О.В.Короткова, В.Б.Алмазов

затем три опытных и после этого пять образцов установочной серии. Мы моделировали, изготавливали, испытывали, переделывали и вновь изготавливали и испытывали до тех пор, пока не убедились, что созданный хромато-масс-спектрометр не уступает зарубежным образцам. Мы постарались воплотить в своем приборе все лучшее, что было на тот момент достигнуто в мире. Мы внимательно изучили построение зарубежных квадрупольных масс-спектрометров компаний Agilent Technologies, PerkinElmer, Thermo Fisher Scientific, Shimadzu, DANI Instruments. Мы приняли устоявшуюся к этому времени их концепцию конструктивного исполнения масс-спектрометра и вакуумной камеры. Долго спорили, каким должен быть источник ионов, а какими масс-анализатор и детектирующая система, моделировали прохождение ионов через весь тракт, анализировали достоинства и недостатки различных вариантов реализации. Мы отказались от искривленного префильтра квадрупольного и пошли по классической схеме построения масс-анализатора. Мы несколько раз переделывали источник ионов и детектирующую систему. При этом постоянно думали о потребителе – насколько удобным будет обслуживание вакуумных компонентов в процессе работы.

В итоге мы создали прибор с характеристиками на уровне лучших мировых стандартов:

- диапазон масс от 1 до 1200 а.е.м.;
- разрешение 0,5–0,6 а.е.м. на полувысоте пика;
- чувствительность по отношению сигнал/шум более 2000:1 при вводе 1пг/мкл октафторнафталина при ширине ионограммы 0,1 а.е.м. Если же оценивать чувствительность по методике, предложенной ком-

панией Agilent Technologies в январе 2013 года, то типовое значение инструментального предела детектирования (IDL – Instrument Detection Limit) нашего хромато-масс-спектрометра составляет от 1,6 до 9,8 фг при восьми последовательных инъекциях октафторнафталина концентрацией 100 фг/мкл с помощью нашего же автосамплера.

За эту разработку коллективу СКБ "Хроматэк" в 2013 году была присуждена Государственная премия Республики Марий Эл в области промышленного производства, транспорта и связи имени С.И.Вавилова.

Говоря о разработке масс-спектрометра нельзя не упомянуть и о созданном нами специализированном программном обеспечении на русском языке. В то время на российском рынке ни один зарубежный производитель не предлагал для своих приборов русифицированной версии ПО. С помощью нашей программы можно контролировать любой узел и любую выполняемую операцию нашего масс-спектрометра. Три года назад мы перевели нашу программу на английский язык и теперь уже сами продаем за рубеж свои масс-спектрометры с соответствующим ПО.

### ЗАВОЕВАНИЕ РЫНКА

Выполнить разработку и изготовить прибор – это только самое начало пути. Следующей задачей было найти своего потребителя на российском рынке, где в то время безраздельно господствовали продукты Agilent Technologies, Thermo Fisher Scientific, Shimadzu. Другими словами, созданный прибор нужно было суметь продать. А для того чтобы продать, нам было необходимо, чтобы в нас поверили. И мы начали бесплатно раз-

давать наши ГХ/МС для испытаний. Первопроходцами на этом пути были 15 организаций и лабораторий различных ведомств: центры судебно-медицинской экспертизы Министерства здравоохранения, экспертно-криминалистические центры Министерства внутренних дел, лаборатории Федеральной службы РФ по контролю за оборотом наркотиков, центры гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, центры судебной экспертизы при Министерстве юстиции РФ, в которых наши приборы успешно прошли долговременную (от трех до шести месяцев) апробацию на реальных анализах, в том числе и скрупулезные сравнительные испытания с зарубежными аналогами, начиная от стоимости и заканчивая стабильностью результатов измерений.

Вспоминается такой случай. Один из наших давних клиентов, авторитетнейший в своей области специалист, приехал посмотреть на наш хромато-масс-спектрометр. Он познакомился с программным обеспечением, провел анализ привезенных с собой проб, затем надел перчатки, снял источник ионов масс-спектрометра, разобрал, собрал и установил его обратно на место. После этого сказал: "Я удовлетворен, беру прибор на испытания". И с тех пор уже несколько наших ГХ/МС были приобретены им и по его рекомендации. Он поверил в нас и после испытаний отстаивал свое мнение во всех инстанциях на протяжении всех последующих лет.

Надо отметить и такой важный момент: одно дело – изготовить один, пять или десять хромато-масс-спектрометров, и совсем другое – наладить серийное производство и изготавливать их партиями по несколько десятков штук. В последнем случае требуются уже иные технологические процессы и совсем другие ресурсы. Если приборы из первого десятка собирались и доводились до ума специалистами, понимающими как масс-спектрометр "устроен внутри", то приборы из второй сотни собираются и настраиваются производственным персоналом, который занимается выпуском хроматографического оборудования. Словом, отладка технологических процессов изготовления масс-спектрометров – это постоянный и трудоемкий процесс, в котором участвует производственный персонал, а когда он не справляется, то и инженерно-исследовательский.

Качество каждого выпускаемого прибора обеспечивается на всех этапах его производства: от правильного изготовления чистых деталей с требуемыми размерами и допусками до контроля электрических и аналитических характеристик на выходе из производства, перед отправкой потребителю. Только для оценки чувствительности хромато-масс-спектрометра мы используем три различных метода. Каждый, помимо собственно чувствительности, позволяет оценить и другие параметры прибора, в том числе и качество его изготовления.

Еще один очень важный аспект. При разработке программного обеспечения масс-спектрометров обязательно должно быть сопряжение с библиотеками масс-спектров сторонних производителей. Еще в далеком 2006 году мы задумались о поставках библиотек масс-спектров со своими приборами. Они необходимы любому пользователю, а приобретать их в России через посредников – очень дорого. Кроме того, чуть позднее встали технические вопросы о подключении общераспространенных библиотек спектров к нашему программному обеспечению. Поэтому в течение нескольких лет мы провели большую работу с американскими коллегами и стали единственными в России официальными дистрибьюторами библиотеки масс-спектров Национального института стандартов и технологий США (NIST). Хотелось бы отметить открытость американцев, их стремление помочь в решении возникающих вопросов. Все и всегда шли нам навстречу, в том числе и по ценовым вопросам.

Мы договорились о сотрудничестве и с крупнейшим мировым издателем научной и технической литературы и баз данных – европейским представителем американской компании Wiley и теперь можем поставить российским потребителям любую из 13 библиотек спектров Wiley по европейским или американским ценам.

Успешно сотрудничаем мы и с нашими белорусскими партнерами из "Белхард групп" по интеграции с информационно-поисковой системой "АИПСИН АнтиНаркотики". Теперь эта система беспрепятственно обрабатывает масс-спектрограммы, полученные на нашем ГХ/МС.

Наша страна тесно интегрирована в мировое сообщество и "Хроматэк", естественно, тоже. Наше хроматографическое и масс-спектрометрическое оборудование содержит комплектующие со всего мира: от США, стран Южной Америки и Австралии до Китая и стран Юго-Восточной Азии, от Японии до государств Европы. Для того чтобы обезопасить свое производство от непредвиденных остановок, обеспечить бесперебойную работу приборов у наших клиентов и независимость от разного рода форс-мажорных обстоятельств мы постоянно поддерживаем определенный запас комплектующих на наших складах. Мы хорошо наладили процесс логистики. Время на пересечение границы занимает ничтожную часть от времени изготовления комплектующих по нашим заказам за рубежом. Таможенные и финансовые вопросы при прямых поставках решаются очень быстро.

Сегодня наши ГХ/МС успешно работают в судебно-медицинской экспертизе, криминалистике, токсикологии, при производстве и контроле качества различных видов пищевой, парфюмерной, фармацевтической, промышленной и сельскохозяйственной продукции, в наркотическом и экологическом контроле, а также в учебных, научно-иссле-

довательских учреждениях и учреждениях Министерства здравоохранения РФ. На сегодняшний день потребителям поставлено уже порядка 180 ГХ/МС-комплексов производства СКБ "Хроматэк".

К сожалению, среди наших заказчиков совсем мало высших учебных заведений, а вузов из первой десятки, таких как МГУ, МФТИ, МИФИ, или вузов химического направления нет вообще. Стоит ли удивляться, что студенты, которые учатся на зарубежных приборах, порой даже не подозревают о существовании российского масс-спектрометрического оборудования.

### **ДЕНЬ СЕГОДНЯШНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Мы начинали производство масс-спектрометров с небольшой чистой комнаты, переоборудованной под их сборку. Сейчас это целый участок с рабочими местами, оснащенными ламинарными боксами под сборку вакуумных камер и местами для общей сборки. Сегодня мы без особого напряжения можем выпустить до 15 масс-спектрометров одновременно. В планах на будущее – расширение производства и отладка технологических процессов изготовления деталей масс-спектрометра до такой степени, чтобы после сборки он сразу же "мог ехать", как автомобиль с конвейера. Пока такое получается, к сожалению, не всегда.

Кроме того, мы, как и многие другие российские предприятия-производители, испытываем серьезный кадровый дефицит: к сожалению, в российских вузах не готовят специалистов-разработчиков в области масс-спектрального приборостроения. А нам очень нужны молодые, инициативные и самостоятельные инженеры со своими идеями и предложениями. И мы готовы предложить им наилучшие условия.

В заключение хочется отметить: "Спасение утопающих – дело рук самих утопающих". Мы никогда не являлись мастерами в получении грантов и никогда их не получали. Основной расчет всегда был только на собственные силы, собственные руки и собственные заработанные средства. Жизнь заставила придерживаться этого правила. Россия в данный момент тонет в океане импортной масс-спектрометрии, и если кто-то хочет вытащить ее вместе с нами – милости просим в нашу лодку. Будем грести вместе!

*Автор благодарит за помощь в подготовке материала руководителей и специалистов ЗАО СКБ "Хроматэк" Александра Павловича Князева, Александра Разяповича Мусина, Михаила Павловича Чернова, Владимира Сергеевича Устюгова, Виктора Борисовича Алмазова и Александра Геннадьевича Слепнева.*