

ИСТОРИЯ ИОННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ В СССР

Е.Рыбакова, Представительство Abacus GmbH в Москве
rybakova_elena@list.ru

УДК 543.544.14; ВАК 02.00.02

Представлен краткий экскурс в общую историю метода. Описаны события, сыгравшие ключевую роль в возникновении и становлении ионной хроматографии в СССР. Подробно освещены история развития метода, приборостроения для ионной хроматографии, синтеза и исследований ионообменных сорбентов, обсуждается применение для анализа различных объектов.

Появлению ионной хроматографии как метода аналитической химии предшествовали теоретические и практические научные изыскания в ионообменной хроматографии, достижения хроматографического приборостроения и синтеза ионообменников. История ионной хроматографии в СССР – это поучительный пример того, как усилиями нескольких выдающихся личностей и за очень короткий срок решались грандиозные задачи конструирования и производства сложной аналитической техники, разработки уникальных сорбентов, а также внедрения нового метода в повседневную практику сотен лабораторий боль-

шой страны. И решались эти задачи не бездумным копированием, не отверточной сборкой и не переклеиванием этикеток. Автору повезло быть свидетельницей некоторых из описанных здесь событий, а также знакомой со многими из перечисленных действующих лиц. Факты и подробности событий собраны в том числе из интервью с этими людьми.

Прежде чем изложить историю ионной хроматографии в СССР, начнем с рассказа о появлении этого метода в аналитической химии. Официально считается, что метод ионной хроматографии возник в 1975 году в США, когда в журнале *Analytical Chemistry* появилась первая публикация группы ученых (Small H., Stevens T.S. и Bauman W.O.) – "Новый метод ионообменной хроматографии с использованием кондуктометрического детектирования" [1]. В том же году в США только что созданная компания Dionex стала выпускать ионные хроматографы серийно. Однако автор метода – Хемिश Смолл (Hamish Small) ведет историю становления метода с 1955 года, с первых работ в этом направлении, которые и привели к появлению сначала подходящих сорбентов, потом оборудования, что и позволило заявить научной общественности о новом методе [2]. А тогда, в пятидесятые годы, группа инженеров, работающих в области ионообменной технологии в лаборатории физических исследований компании Dow (Мидленд, США), задумала распространить аналитическую хроматографию на неорганические соединения, отталкиваясь от предвидения, что хроматографический анализ смесей ионов когда-нибудь заменит множество методов "мокрой химии". Они полагали, что идеальным элюентом будет вода, а электропроводность – идеальной основой детектирования и измерения, поскольку она является универсальным свойством всех ионов в растворе. Однако сорбента, имеющего средство



Автор метода ионной хроматографии Х.Смолл

к воде, не нашлось, и исследования затихли на какое-то время, но не прекратились совсем.

По словам Хемиша Смолла, вместе с коллегами он предложил в конце 1971 года простое и гениальное решение, как кондуктометрическому детектору "разглядеть" ионы на фоне элюента. Ионообменный сорбент требует в качестве элюента растворы кислот или щелочей, которые обладают большой электропроводностью. Если перед детектором поставить другую колонку, которая удержит сильнопроводящие ионы элюента и превратит элюент в слабодиссоциированное соединение, то на его фоне становится возможным кондуктометрическое детектирование аналитов. Такую колонку назвали "подавитель" (suppressor), его задача – удалить ионы элюента перед детектором. Подавитель стал ключом концепции ионной хроматографии и, одновременно, компонентом ионного хроматографа; функциональность и емкость подавителя влияет на воспроизводимость и чувствительность ионохроматографического определения. В конце семидесятых появился альтернативный вариант ионной хроматографии для разделения анионов без подавителя: ионообменная колонка напрямую соединялась с ячейкой кондуктометрического детектора. Однако из-за низкой чувствительности определения этот вариант не получил развития. В 1982 году Х.Смолл предложил использовать косвенное фотометрическое детектирование. В дальнейшем в ионной хроматографии стали также применять импульсное амперометрическое и другие варианты детектирования. В общей сложности Х.Смоллом лично или в сотрудничестве с коллегами сделано большое число инженерных изобретений для ионной хроматографии, он придумал новое направление – безреагентную ионную хроматографию, и даже способ, как сделать воду элюентом для ионной хроматографии. Личность и изобретения Х.Смолла достойны отдельного рассказа. Но про развитие ионной хроматографии за рубежом подробнее будет другая публикация, а теперь определимся с некоторыми понятиями.

Хотя высокоэффективная жидкостная хроматография включает и ионообменную и ионную хроматографию, существует ряд отличий в практике этих методов. По механизму разделения ионообменная, и ионная хроматографии основаны на различиях в сродстве ионов к ионообменному сорбенту (ионообменнику). Оба метода служат для разделения веществ ионной природы. И во избежание путаницы с терминологией, следует пояснить, что по действующей классификации IUPAC [3] ионной хроматографией принято называть ионообменную хроматографию на высокоэффективных колонках с частицами сорбента малого диаметра. Современное определение ионной хроматографии, принятое в научных кругах, звучит так: ионная хроматография – это раздел высокоэффективной жид-



Ю.А.Золотов

костной хроматографии для разделения и идентификации веществ, способных при определенных условиях образовывать ионы или реагировать с другими веществами, образуя соединения ионного характера. Ионная хроматография применяется для определения анионов неорганических и органических кислот, катионов щелочных и щелочноземельных металлов, аммония, а также ряда неорганических и органических соединений ионного характера, таких как анионные и катионные комплексы, амины, углеводы, аминокислоты и др.

С чего же все началось в СССР? Несмотря на железный занавес между Советским Союзом и Западом, научные связи и обмен идеями между ними не прерывались: не все, но некоторые выдающиеся советские ученые имели возможность выезжать за границу на международные конференции, посещать выставки и общаться с научной общественностью всего мира. Так, в 1979 году в Питсбургской конференции (Pittcon), которая проходила в Кливленде (США, штат Огайо), участвовал Юрий Александрович Золотов, заместитель директора Института геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского (ГЕОХИ), профессор Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова (МГУ), доктор химических наук, в будущем академик. На этой конференции был представлен один из первых докладов по ионной хроматографии. Этот метод показался Ю.А.Золотову перспективным и интерес-



О.А.Шпигун

ным, и он решил развернуть работы по этому направлению в СССР. Он организовал группу по ионной хроматографии в МГУ, поручив развивать новый метод Олегу Алексеевичу Шпигуну, в будущем профессору, доктору химических наук. Фактически Ю.А.Золотов привез с Питсбургской конференции две папки с собранными им материалами по методам ионной хроматографии и проточно-инжекционному анализу – на выбор О.А.Шпигуну. Олег Алексеевич выбрал ионную хроматографию и, по его словам, не жалеет об этом. О том, что буквально "влюбился в этот метод, как только узнал", говорят все, кто, так или иначе, связан с ионной хроматографией. В том же году в МГУ появился первый ионный хроматограф – это был прибор фирмы Dionex (США). Так с конца 1979 года в Московском университете была развернута научная и методическая работа по ионной хроматографии. Поначалу основным препятствием было отсутствие в СССР эффективных ионообменных сорбентов для аналитической хроматографии. Но в 1980 году Ю.А.Золотов, будучи в США, посетил фирму Dionex, получил сорбенты для разделения анионов, на которых и начались первые научные исследования по ионной хроматографии.

Но Ю.А.Золотов не ограничился только организацией нового научного направления на кафедре аналитической химии МГУ. Как человек, мыслящий государственно, он справедливо полагал, что метод ионной хроматографии нужно внедрять в лаборатории, а для этого необходимо наладить производство приборов. Для успешного развития и распространения инструментального хроматографического метода требовалось создать комплекс из оборудования, сорбентов и теоретического сопровождения. В тот момент для ионной хроматографии в СССР практически

ничего из перечисленного, кроме, разумеется, теоретических изысканий, не было. Но было самое главное – люди, способные оценить возможности метода и его востребованность в аналитической практике и создать все необходимое для его применения и совершенствования.

Чтобы перейти к следующему поворотному моменту, сделаем отступление и расскажем об аналитическом приборостроении в СССР, поскольку без серийного производства отечественных ионных хроматографов дальнейшей истории просто не было бы.

Шестидесятые-восьмидесятые годы прошлого столетия можно считать "золотым веком" аналитического приборостроения и автоматизации в СССР. Именно тогда разрабатывали и производили серийно отечественные хроматографы. Уникальность этого факта – возможно, не очевидная молодому поколению – в том, что производство сложных аналитических приборов в большом ассортименте и небольшими сериями было чрезвычайно трудной задачей для планового хозяйства. Советская промышленность ориентировалась в основном на масштабное производство. Уникальные приборы разрабатывали в конструкторских бюро или в службах КИПиА предприятий, но до широкого потребителя доходили чрезвычайно редко, поскольку изготавливали их для своих нужд и часто в единственном экземпляре. Поэтому серийное аналитическое приборостроение было сконцентрировано в нескольких научно-производственных объединениях, среди которых важное место принадлежит НПО "Химвавтоматика" [4]. Созданное в 1949 году как КБ автоматики и впоследствии ставшее НПО "Химвавтоматика", оно с 1965 года находилось в ведении Министерства химической промышленности и включало несколько опытно-конструкторских бюро (ОКБА), одним из которых было Дзержинское ОКБА (ДОКБА). Этот филиал занимался автоматизацией технологических процессов химических производств, созданием и обеспечением предприятий химической промышленности специальными средствами автоматизации. Благодаря высококвалифицированным специалистам, инженерам и ученым, ДОКБА играло ключевую роль в отечественном приборостроении для всех видов хроматографии. Длительное время и на разных должностях в ДОКБА работал Владимир Ильич Калмановский, доктор технических наук, профессор, член Научного совета РАН по аналитической химии. Владимир Ильич – талантливый изобретатель, метролог, методист и педагог, много сделавший для газовой хроматографии и метрологического обеспечения хроматографических измерений. К сожалению, в прошлом году его не стало. Начиная с 1959 года в ДОКБА под руководством и при непосредственном участии Якова Ивановича Яшина были разработаны десятки моделей сначала газовых, а позднее жидкостных и ионных хроматографов, изготовлены и вне-

дрены десятки тысяч этих приборов в разных отраслях промышленности, науки и техники. Сегодня Я.И.Яшин – доктор химических наук, профессор, член бюро Научного совета РАН по аналитической химии, Лауреат Государственной премии СССР и Государственной премии РСФСР, награжден орденом Дружбы народов. И это, разумеется, далеко не полный список выдающихся сотрудников ДОКБА.

Вернемся к идее Ю.А.Золотова внедрить метод ионной хроматографии "в массы". Ключевую роль в этом сыграл один в своем роде уникальный семинар, чья история может быть интересна молодым ученым и инженерам. С 1981 года стали проводить ежегодные совместные семинары ГЕОХИ и НПО "Химавтоматика". Идея таких встреч приборостроителей и ученых принадлежала одному из сотрудников НПО "Химавтоматика", в будущем профессору Александру Александровичу Попову. Семинары продолжались до распада Советского Союза. Открывали их директор ГЕОХИ и Юрий Михайлович Лужков, который до 1986 года был директором НПО "Химавтоматика". Вот на первом таком семинаре, в феврале 1981 года, который проходил в пионерском лагере "Березка" под Загорском (ныне Сергиев Посад), Ю.А.Золотов предложил создать отечественный ионный хроматограф. Там же было принято решение и подготовлена межотраслевая программа развития ионной хроматографии в СССР. Программа включала: разработку ионного хроматографа (НПО "Химавтоматика"), получение сорбентов (ГЕОХИ) и научные исследования (Химический факультет МГУ). И работа "закипела" уже в трех направлениях [5].

Дзержинскому ОКБА поручили сделать опытный образец ионного хроматографа. Поначалу он был далек от совершенства – собирали "из того, что было", некоторые ключевые элементы пришлось буквально изобретать: были созданы головки насоса и ячейки кондуктометрического детектора уникальной конструкции; что-то позаимствовали. Нельзя не отметить роль талантливых инженеров-конструкторов ДОКБА Михаила Ивановича Ткачева и Владимира Александровича Уланова. Технические проблемы решали как внутри ДОКБА, так и в сотрудничестве с другими участниками программы. И с поставленной задачей справились – первой серийной моделью стал ионный хроматограф "Цвет-3006". Дальнейшая модернизация насоса позволила сделать самый компактный на тот момент в мире, к тому же переносной, ионный хроматограф ХПИ-1. В общей сложности в советское время специалисты ДОКБА разработали несколько моделей ионных хроматографов: "Цвет-3006", "Цвет-3007", ХПИ-1. Позднее появились "Цвет-3006М" и двухканальный ионный хроматограф "Цвет-403". Все модели проходили государственные приемочные испытания и выпускались серийно [6]. В первых же публикациях Я.И.Яшина, В.И.Орлова с коллегами о технических характеристиках отечественных ион-



Я.И.Яшин

ных хроматографов отмечались широкие возможности метода для экологических исследований природных вод, воздуха и осадков, для применения на химических производствах, в энергетике, медицине, пищевой промышленности, агрохимии и других отраслях. Но в качестве разделяющих колонок и подавителей поначалу использовали колонки зарубежного производства за неимением подходящих отечественных сорбентов [7].

В СССР промышленную ионообменную хроматографию широко применяли для водоподготовки. Однако соответствующие ионообменники не подходили для использования в аналитических целях – разделение длилось часами и не было достаточно эффективным. Поэтому первичной задачей для массового производства ионных хроматографов и их применения стала разработка высокоэффективных сорбентов низкой емкости. Напомним, что ГЕОХИ было поручено разработать ионообменники для отечественных ионных хроматографов. Ответственность за эту работу взяла лаборатория сорбционных процессов под руководством доктора химических наук, профессора Марка Моисеевича Сенявина. Главным направлением научной деятельности М.М.Сенявина были исследования закономерностей ионного обмена (равновесия, кинетики и динамики) для одно- и многокомпонентных систем. Впоследствии его разработки в области ионного обмена легли в основу теории ионной хроматографии. М.М.Сенявин поддержал идею Ю.А.Золотова по развитию ионной хроматографии и поручил заняться этим методом, в первую очередь сорбентами, Анатолию Михайловичу Долгоносову, в будущем доктору химических наук, профессору. Поначалу А.М.Долгоносов исследовал и отобрал из опытных и серийных отечествен-



Переносной ионный хроматограф ХПИ-1

ных сорбентов, в том числе и неорганических, наиболее подходящие для аналитической ионной хроматографии. К сожалению, они оказались не пригодны из-за большой ионообменной емкости и малой эффективности разделения. Но работа была не напрасна, поскольку Анатолию Михайловичу пришла идея не синтезировать сорбент с нуля, а уменьшить емкость серийного сорбента, "вытравливая" избыточные функциональные группы. Добиться от сорбента необходимой для аналитической хроматографии эффективности разделения можно, только уменьшив долю функциональных групп на его поверхности и сосредоточив их в малом объеме. В результате экспериментов с отечественными сорбентами, а также математического моделирования процессов их деструкции, А.М.Долгоносков предложил и, по его словам, в 1982–83 годах создал первые центрально-локализованные сорбенты САВ (сульфированный анионит высокоосновный). Он отработал способы синтеза таких сорбентов из анионообменников на полимерной основе с использованием матриц с разной степенью сшивки [8]. Позднее появились сорбенты, которые стали выпускать серийно (анионообменники и катионообменники марки КанК), их поставляли пользователям в комплекте с отечественными ионными хроматографами. На базе исследования равновесий и кинетики ионного обмена на различных сорбентах А.М.Долгоносков разработал математическую модель и программу для моделирования и оптимизации хроматографического анализа смесей ионов на фабричных сорбентах разной структуры как зарубежных, так и отечественных производителей. Также был создан ряд высокоселективных методик определения

анионов и катионов, основанных на биполярности сорбентов КанК. Впоследствии, в 1993 году, А.М.Долгоносковым, М.М.Сенявиным и И.Н.Волощиком была опубликована монография. В ней обобщена современная теория ионного обмена и ионной хроматографии, представлены принципы математического моделирования условий проведения ионохроматографического разделения, описаны центрально-локализованные сорбенты и многочисленные способы их применения [9].

Примерно в то же время (начало восьмидесятых) независимо от ГЕОХИ в Эстонии, в Тартуском государственном университете, под руководством доктора химических наук Юло Леховича Халдна уже разрабатывали ионообменные сорбенты. Патент на способ получения ионита для хроматографии был опубликован в 1982 году, но приоритет заявлен в 1980-м, видимо, тогда началась разработка технологии получения анионообменников низкой емкости. Примечательно, что, по описанию патента, за основу сорбента была взята рыболовная капроновая нить, на поверхность которой приклеивали тонкодисперсную фракцию ионита АВ-17 [10]. В Эстонии было организовано серийное производство сорбентов, и вскоре один из этих анионообменников – ХИКС-1 – стал самым популярным в ионной хроматографии. Ю.Л.Халдна и его коллеги в Тартуском университете разрабатывали и регулярно публиковали большое число методик для ионной хроматографии. Они же впервые ввели в практику применение ионной хроматографии для санитарного контроля. Так в СЭС Тарту с 1983 года стали использовать ионную хроматографию для определения анионов в воде и пищевых продуктах и с 1984 года



15-я Юбилейная международная выставка
лабораторного оборудования
и химических реактивов

11-13 апреля 2017 года
Москва, КВЦ «Сокольники»



Организатор
Группа компаний ITE
+7 (499) 750-08-28
analitikaexpo@ite-expo.ru

Забронируйте стенд на сайте
analitikaexpo.com



А.М.Долгоплов с ионным хроматографом "ЦВЕТ-3006"

совместно с Тартуским университетом регулярно публиковать статьи с новыми методиками. Так, они разработали методику определения кислых газов в воздухе и осадках, методики определения органических кислот в биологических объектах и многие другие [1].

Справедливости ради отметим, что, несмотря на налаженное производство сорбентов для ионной хроматографии, фабричное изготовление готовых колонок так и не было обеспечено. Пользователи получали сорбенты в стеклянных банках и пустые металлические корпуса колонок разной длины вместе с приспособлением для их набивки. В результате качество работы колонки сильно зависело от умения пользователя их правильно набить. Разделение "гуляло" от вкола до вкола и от колонки к колонке. Это серьезно портило репутацию метода и для нормальной работы хроматографов лаборатории часто вызывали "наладчиков". Стала очевидна огромная важность подготовки грамотных хроматографистов для успешного развития метода.

"Штучная" подготовка специалистов по хроматографии проходила по мере поставки ионных хроматографов потребителям и реализации специальных программ внедрения метода на производство, также в Дзержинске действовали курсы повышения квалификации. Поясним смысл, который вкладывали тогда в термин "внедрение" прибора или метода. Это был целый комплекс мероприятий, включающий этапы с загадочными названиями: "пуско-наладочные работы", а также "постановка методики". Прибор не просто включали в сеть и показывали, как на нем работать, а "запускали" и затем "налаживали" его работу. Выполняли такие

задачи "методисты" и "наладчики" – высококвалифицированные инженеры, которые могли не только научить пользователя хроматографии, но и "доработать прибор" под специфические аналитические задачи. "Постановка методики" включала подбор хроматографических условий разделения, отработку процедур отбора и подготовки проб к анализу, даже разработку дополнительных приспособлений к хроматографу, например, пробоотборников, поглотителей газов и т.п. Эти работы могли длиться неделями и даже месяцами. Так, в процессе "наладки" пользователь получал необходимые знания и умения и уже сам активно участвовал в доработке прибора и разработке методик для него. Помнится, тогда шутили по этому поводу, говоря: "запустить прибор в космос", "доработать напильником" и "поставить методику на уши".

Если говорить о системной подготовке специалистов по ионной хроматографии, как говорится, на государственном уровне, то в этом деле самым главным был и остается химический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова.

Немного предыстории про хроматографию в Московском университете. Первые исследования по хроматографии и поверхностным явлениям, лежащим в основе адсорбции, были выполнены в послевоенный период профессором А.В.Киселевым в лаборатории адсорбции кафедры физической химии. Впоследствии здесь в начале 60-х годов развернулись работы по газовой хроматографии. На той же кафедре с середины 50-х годов ионным обменом занимались в лаборатории стабильных изотопов. На кафедре аналитической химии его применяли для разделения и сорбции полупроводниковых материалов. Эти исследования прово-

дила научная группа под руководством академика Ивана Павловича Алимарина. И.П.Алимарин был активным пропагандистом достижений аналитической химии и заражал этим энтузиазмом своих учеников. В 1978 году на кафедре аналитической химии пришел Юрий Александрович Золотов, и И.П.Алимарин передал ему группу О.А.Шпигуна, в тот момент кандидата химических наук. Так была образована группа по ионной хроматографии. В нее также вошел Олег Николаевич Обрезков, в будущем доктор химических наук, и аспирантка Лидия Бубчикова, потом еще Игорь Николаевич Волощик. Со временем, когда добавились другие хроматографические методы, из этой научной группы была образована лаборатория хроматографии, которую возглавил О.А.Шпигун.

В первые годы в этой лаборатории задачи в области ионной хроматографии ставили чисто научные: разделить ионы определенной группы, заряда, одинаковой природы, комплексы ионов различных элементов. А также исследовали механизмы разделения этих ионов, влияние различных факторов (температуры, состава элюента и проч.) на ионохроматографическое разделение. Применяли различные схемы разделения, детектирования, элюирования, использовали дериватизацию, варианты с последовательным и параллельным разделением, предлагали новые элюенты (аминокислоты и др.). Позднее акцент сместился на поиски селективных сорбентов и способов их производства из доступных матриц (силикагеля и полимерных смол), а также на непосредственный синтез ионообменников, изучение их свойств и применение для анализа различных объектов [12].

Возвращаясь к вопросу подготовки хроматографистов, отметим, что на кафедре студенты (спецкурс) и аспиранты слушали лекции по ионной хроматографии, выполняли курсовые, дипломные и аспирантские работы. Позже, когда появились отечественные ионные хроматографы, на них студенты выполняли работы в практикуме. Это был единственный вуз в Советском Союзе, который выпускал специалистов по ионной хроматографии и, уже работая в других организациях, они распространяли и развивали метод, и заражали энтузиазмом других.

Мощным толчком к популяризации метода стала первая статья по ионной хроматографии Ю.А.Золотова и О.А.Шпигуна, вышедшая в 1982 году в журнале "Заводская лаборатория", – "Ионная хроматография – метод быстрого и избирательного определения ионов" [13]. Позже вышла монография Ю.А.Золотова и О.А.Шпигуна "Ионная хроматография в анализе вод" (сначала на английском языке, затем на русском) [14], ставшая настольной книгой для аналитических лабораторий, поскольку содержала и теоретические основы, и описание конструкции и принципы работы ионного хроматографа, а также примеры приме-



Ю.Л.Халдна

нения. С появлением этой книги метод вошел в массовую практику при анализе объектов окружающей среды, а также технологических вод в атомной промышленности. Он остается лучшим для анализа анионов, и ему до сих пор нет конкурентов.

Большую роль в популяризации ионной хроматографии сыграл Я.И.Яшин с коллегами. Они взяли на себя задачу не просто производства ионных хроматографов, но и внедрения их на промышленных предприятиях химического, фармацевтического и военно-промышленного комплексов. Для этого разрабатывались и внедрялись методики анализа различного типа вод, воздуха, выбросов предприятий и т.п.

Активным популяризатором применения ионной хроматографии в атомной промышленности стал Научно-исследовательский технологический институт имени А.П.Александрова (НИТИ им. А.П.Александрова) в лице доктора технических наук Владимира Сергеевича Гурского. Первый ионный хроматограф в НИТИ появился в 1986 году по инициативе доктора химических наук Леонида Николаевича Москвина, в то время – начальника отдела химико-технологических и материаловедческих исследований НИТИ, а впоследствии заведующего кафедрой аналитической химии химического факультета СПбГУ, академика. С этого момента в НИТИ нача-

лась исследовательская работа по оценке возможностей ионной хроматографии для аналитического контроля анионного состава высокочистых технологических сред стендовых ядерных энергетических установок института. В НИТИ был накоплен опыт в области исследований электромембранных методов разделения и концентрирования для анализа высокочистой воды, поэтому сразу появилось несколько идей по совершенствованию техники ионохроматографического анализа. Так как в тот период интенсивно велся поиск использования потенциала оборонных предприятий, к которым относился НИТИ, в гражданской сфере, было решено приложить накопленный опыт аналитического контроля на атомных электростанциях. Так, НИТИ в сотрудничестве с Институтом атомной энергии им. И.В.Курчатова, ВНИИНМ им. А.А.Бочвара и ВНИИАЭС разработал ряд методик для определения анионов, которые вошли в нормативные документы по контролю водно-химических режимов отечественных АЭС. С конца 80-х годов ионные хроматографы "Цвет-3006" начали эксплуатировать на АЭС, а ионная хроматография стала стандартным методом в отечественной энергетике.

В 1989 году МГУ совместно с ГЕОХИ организовал первую Всесоюзную конференцию по ионной хроматографии. На этой конференции были отмечены достижения ионной хроматографии и намечены тенденции ее дальнейшего развития. К сожалению, развал Советского Союза сделал эту конференцию единственной.

Подведем итоги сделанного за довольно короткий промежуток времени, с 1979 по 1991 годы, выделив следующие ключевые достижения.

- В 1982–83 годах появились первые отечественные высокоэффективные сорбенты для ионной хроматографии, причем один из них – не имеющий аналогов тип центрально-привитых сорбентов.
- Приборостроение для ионной хроматографии сделало мощный рывок. К 1984 году отечественные ионные хроматографы были запущены в серию.
- Были выпущены монографии, позволяющие химикам самостоятельно освоить метод и применять его для анализа различных объектов.
- Были разработаны методики, благодаря которым ионная хроматография стала классическим методом определения анионов для энергетики и для исследований окружающей среды. Эти отрасли до сих пор остаются самыми активными пользователями ионных хроматографов.

Работы по ионной хроматографии были оценены государством в 1991 году присуждением Государственной премии РСФСР в области науки и техники "За развитие ионной хроматографии". Премия была вручена Ю.А.Золотову, О.А.Шпигуну, О.Н.Обрезкову,

М.М.Сенявину (посмертно), Я.И.Яшину, В.И.Орлову, М.И.Ткачеву и М.А.Тюреву. Очень жаль, что в список лауреатов не попали все активные участники этого проекта, разработчики метода, сорбентов и оборудования. Это была последняя премия РСФСР, Советский Союз распался, но история ионной хроматографии на его территории не прервалась. Метод развивается в Российской Федерации, появляются новые отечественные приборы и сорбенты. А главное, метод ионной хроматографии увлекает новых ученых и практиков, публикуются научные статьи, методики и технические разработки, проводятся семинары и конференции.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Small H., Stevens T.S., Bauman W.O.** Novel ion exchange chromatographic method using conductimetric detection // *Analytical Chemistry*. 1975. V. 47. N 11. P. 1801–1809.
2. **Striegel A.M.** Hamish Small: Experimenter Extraordinaire // *LCCG*. 2015. V. 33. Issue 10. P. 776–781.
3. Nomenclature for Chromatography (IUPAC Recommendations, 1993) // *Pure and Appl. Chem*. 1993. V. 65. N 4. P. 819.
4. Антология "Строители России XX–XXI вв.". Том "Химический комплекс". М.: Мастер, 2008.
5. **Золотов Ю.А.** Записки научного работника / 2-е изд. М.: ЛЕНАНД, 2015.
6. **Орлов В.И., Яшин Я.И.** Отечественные ионные хроматографы // *Ученые записки Тартуского государственного университета*. 1989. Вып. 844.
7. **Аратскова А.А., Орлов В.И., Яшин Я.И.** Аналитические возможности ионного хроматографа Цвет-3006 // *Журнал аналитической химии*. 1987. Т. 17. Вып. 2. С. 365–369.
8. **Долгоносков А.М.** Ионная хроматография на центрально-привитом анионообменнике // *Журнал физической химии*. 1984. Т. 58. № 8. С. 1989–1991.
9. **Долгоносков А.М., Сенявин М.М., Волощик И.Н.** Ионный обмен и ионная хроматография. М.: Наука. 1993.
10. А.С. 927820 СССР. Способ получения ионита для хроматографии / Ю.Л.Халдна, А.Э.Аниалы: № 2977388/23-05; заявл. 02.09.80; опубл. 15.05.1982. Бюллетень № 18, 2 с.
11. *Ученые записки Тартуского государственного университета*. 1986. Вып. 743.
12. **Zatirakha A.V., Smolenkov A.D., Shpigun O.A.** Preparation and chromatographic performance of polymer-based anion exchangers for ion chromatography: a review // *Analytica Chimica Acta*. 2016. V. 904. P. 33–50.
13. **Шпигун О.А., Золотов Ю.А.** Ионная хроматография – метод быстрого и избирательного определения ионов // *Заводская лаборатория*. 1982. Т. 48. № 9. С. 4–14.
14. **Шпигун О.А., Золотов Ю.А.** Ионная хроматография и ее применение в анализе вод. М.: МГУ, 1990.



12th

Conference of the
International Society
for Trace Element
Research in Humans
(ISTERH)



16th

International Symposium
of Trace Elements in Man and Animals

...

Saint Petersburg, Russia
June 26-29, 2017



11th

Conference of the
Nordic Trace
Element
Society (NTES)

