

ЛАБОРАТОРИЯ СОРБЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИНСТИТУТА ГЕОХИМИИ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ ИМ. В.И.ВЕРНАДСКОГО

Хамизов Р.Х., д.х.н., Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН

УДК 543.544.43,
543.544.6
БАК 02.00.02

В центре внимания история лаборатории сорбционных методов, созданной и возглавляемой в течение 22 лет проф. М.М.Сенявиным. Разбираются вопросы, связанные с приоритетом открытия метода газожидкостной хроматографии. Подробно обсуждаются результаты в области ионообменной хроматографии, полученные в лаборатории, и их практическое использование: от ликвидации последствий техногенных катастроф до методов опреснения морской воды и добычи из морской воды полезных минеральных компонентов.

ОБ ОСНОВАТЕЛЕ ЛАБОРАТОРИИ

Лаборатория сорбционных методов ГЕОХИ РАН была организована в 1967 году М.М.Сенявиным (рис.1), она короткое время носила название лаборатории физической химии водных растворов, а впоследствии получила известное всем специалистам название лаборатории сорбционных методов. Сенявин руководил лабораторией до своей смерти в 1989 году.

Невозможно рассказать о лаборатории, основных направлениях ее работы и ее вкладе в развитие теории и практики хроматографии без рассказа о судьбе ее основателя – М.М.Сенявина.

М.М.Сенявин родился 9 мая 1917 года в Москве. После окончания в 1940 году химического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова он был распределен в Научно-исследовательский химический институт Красной Армии (НИХИ РККА). В начале войны работники НИХИ РККА не подлежали призыву на фронт и в обязательном порядке оставались на своих рабочих местах. С 13 августа 1941 года вступил в силу приказ №0066 о реорганизации управления военно-химической защиты в Главное военно-химическое управление Красной Армии, которому НИХИ был передан в прямое воинское подчинение для бесперебойного обеспечения армии "средствами химической защиты, химическим вооружением и боевыми химическими веществами". В течение всей войны группа, в которую входил М.М.Сенявин, занималась вопросами совершенствования противогазовой техники, в том числе противогазов для конницы. Эту программу курировал лично маршал С.М.Буденный. После расформирования группы, занимавшейся, как говорил Сенявин, "лошадиными" противогАЗами, он был включен в небольшой коллектив, который занимался новыми перспективными разработками для обычных противогАЗов, а именно процессами адсорбции газовых смесей на различных адсорбентах. Впоследствии НИХИ РККА был преобразован в ЦНИВТИ, затем в 33 ЦНИИИ МО, а впоследствии (после 1960 года) передислоцирован на военно-химический полигон на Волге. Теперь по адресу, где в годы войны размещался НИХИ РККА (Москва, Богородский вал, д.3), находится Научно-исследовательский институт химических реактивов

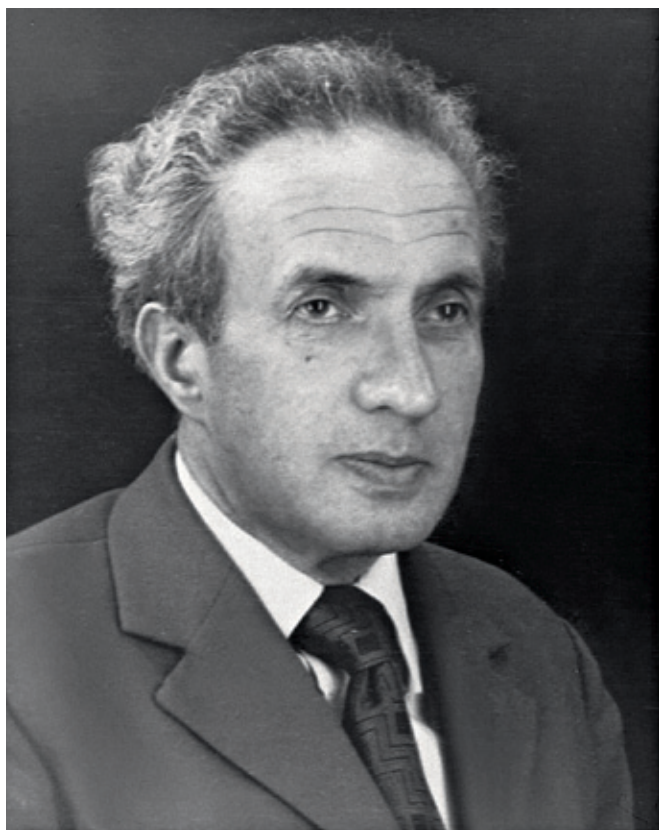


Рис.1. Основатель лаборатории и ее заведующий в 1967–1989 годы профессор Марк Моисеевич Сенявин (1917–1989)

и особо чистых химических веществ (ИРЕА), вошедший в структуру НИЦ "Курчатовский институт".

М.М.Сенявин всегда мечтал заниматься наукой, и сразу после войны, в 1946 году, ему удалось уйти из оборонного учреждения и устроиться сотрудником Физико-химического института им. Л.Я.Карпова (НИФХИ) Минхимпрома СССР, где он проработал до 1948 года. В течение последующих полутора лет, с 1948 по 1949 год, он работал преподавателем в вузе – ассистентом кафедры физической химии Института стали и сплавов (МИСИС). В 1948 году им была защищена кандидатская диссертация по работам, проведенным им в Карповском институте и в МИСИС под научным руководством проф. А.А.Жуховицкого. Наконец в 1949 году Марк Моисеевич окончательно определился с местом работы: он был приглашен на должность старшего научного сотрудника в Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского (ГЕОХИ) АН СССР руководителем научной группы в лаборатории проф. Д.И.Рябчикова. В ГЕОХИ он проработал более 40 лет, т.е. всю свою оставшуюся жизнь.

О ПРИОРИТЕТАХ В ОТКРЫТИИ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Академик Ю.А.Золотов в выступлении на одном из заседаний ученого совета ГЕОХИ РАН, посвященном юбилею М.М.Сенявина, отметил, что имеются основания полагать, что адсорбционная газовая хроматография впервые была открыта советскими учеными, возможно, даже Сенявиным и коллегами раньше, чем кем-либо в мире. К сожалению, предпринятые Юрием Александровичем поиски архивов НИХИ РККА, которые к настоящему времени должны быть рассекречены, оказались безуспешными. Установление фактического приоритета ни к чему бы формально не привело, но для восстановления истинной истории развития хроматографии имело бы важное значение. Этому посвящены две статьи с участием Ю.А.Золотова. Одна из них, написанная группой авторов, вышла в *Journal of Chromatography* [1]. Вторая, написанная им совместно с профессором И.А.Ревельским, вышла в *Журнале аналитической химии* под заголовком "К вопросу о первых работах по газовой хроматографии в Советском Союзе" [2]. Авторы показали, что практически параллельно с западными учеными первые работы в области аналитической газовой хроматографии (в наиболее важном ее элюативном варианте) выполнили в 1940-е годы советские исследователи М.М.Сенявин, Н.М.Туркельтауб, А.А.Жуховицкий и Д.А.Вяхирев. Это были работы по газоадсорбционному разделению, выполненные задолго до широко известной статьи

А.Джеймса (A.James) и А.Мартина (A.Martin), опубликованной в 1952 году [3], от которой официально отсчитывается история газовой хроматографии. В работах английских авторов впервые описан получивший наибольшее распространение газо-жидкостный способ хроматографического разделения веществ. В то же время не следует забывать и о вкладе советских ученых в развитие газовой хроматографии.

В статье [1] приведен подробный обзор различных периодов истории газовой хроматографии, из которого следует, что все известные из литературы работы вплоть до 1941 года относятся к использованию фронтального разделения или сочетанию фронтального и витеснительного режимов. В 1941–1942 годах появились работы Г.Гессе (H.Hesse) [4], который считается первым, кто использовал газ-носитель. В обзорной статье Ю.А.Золотова и соавт. [1] упоминаются работы Г.Дамкелера (G.Damkohler) и Г.Тиле (H.Theile) [5, 6], "посвященные хроматографическому разделению метанола и этанола, а также бензола и циклогексана на носителе из измельченного кирпича с адсорбированным глицерином. Работы были опубликованы в малоизвестных изданиях. Кроме того, авторы работали в промышленных и, скорее всего, секретных лабораториях и не собирались разрабатывать газо-жидкостную хроматографию как таковую".

Интересна история работ Эрики Кремер (E.Cremer). В 1944 году в ее лаборатории были проведены эксперименты по газовой хроматографии. Был сконструирован газовый хроматограф, система которого стала использоваться во многих лабораториях к концу 1950-х годов. Статья Кремер была принята в журнал *Naturwissenschaften* в ноябре 1944 года, но здание издательства было разрушено при бомбежке. Статья была опубликована только через 30 лет [7].

Если сравнивать перечисленных выше ученых по приоритету в области газовой хроматографии, то нам кажется, что фигуру Марка Моисеевича Сенявина следует выделить отдельно. Авторы [1] пишут: "М.М.Сенявин был первым или одним из первых ученых, которые проводили хроматографические исследования в СССР в 1947–1949 гг." Эти годы указаны потому, что у Сенявина именно тогда появилась возможность публикации некоторых полученных ранее научных результатов и защиты диссертации.

В этих работах берут начало исследования в области газовой хроматографии в нашей стране. Некоторое время полученные результаты были запрещены для публикации. Не случайно в обзорной статье Марка Моисеевича, опубликованной в 1949 году в журнале "Успехи химии" [8], он очень осторожно пишет о газо-



Рис.2. Сенявин М.М. Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ. М.: Химия, 1980

хроматографическом разделении бензола и циклогексана с использованием азота в качестве газа-носителя, приведя в том числе прекрасно разделенные пики и сравнивая времена удерживания компонентов смеси и чистых веществ. Эту осторожность и невозможность публикации более детальных комментариев заметили и Ю.А.Золотов с И.А.Ревельским [2]. Многие помнят слова самого Марка Моисеевича: "В СССР я, пожалуй, был первым, кто начал заниматься газовой хроматографией". Поскольку М.М.Сенявин был хорошо знаком с проводившимися еще с 1930-х годов работами М.М.Дубинина и его коллег, также занимавшихся противогазами, посвященными фронтальной газовой хроматографии, он, конечно, имел в виду свои ранние исследования по аналитической хроматографии.

РАЗДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (РЗЭ) И ПРЕПАРАТИВНАЯ ИОНООБМЕННАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ

Сейчас хорошо известно, что в рамках Манхэттенского проекта в США работали две группы специалистов по ионному обмену и хроматографии. Через три года после окончания Второй мировой войны им

разрешили опубликовать свои работы по разделению сильнорадиоактивных, а также редкоземельных элементов. Благодаря этим публикациям мы узнали о ранних работах Г.Бойда и Дж.Маринского (J.Marinsky) [9], посвященных ионообменной хроматографии, о градиентном режиме элюирования в хроматографии с применением комплексообразующих реагентов, о препаративном методе "неразрывающихся полос" Ф.Спеддинга (F.Spedding) [10] для разделения близких по свойствам элементов. Предложенный метод позволил получать растворы с концентрациями чистых компонентов, которые были приемлемы технологически. К сожалению, мы не всегда можем прочесть в открытой печати работы советских ученых, которые "переоткрыли" эти методы. Что касается работ М.М.Сенявина, достаточно сказать, что только с использованием части своих результатов по ионообменной хроматографии он смог в 1966 году защитить докторскую диссертацию, посвященную созданию технологии ионообменного разделения редкоземельных элементов. До этого, уже в 1958 году он был соавтором книги, посвященной работам по разделению РЗЭ [11]. Из более поздних доступных сейчас книг [12, 13] (рис.2), видно, что советские химики владели уже к началу 50-х годов прошлого столетия всем арсеналом методов, перечисленных выше. Работы М.М.Сенявина в области ионного обмена с комплексообразованием, проводившиеся на системах с редкоземельными элементами (РЗЭ), способствовали созданию технологии сорбционного разделения РЗЭ: они были внедрены в п/я №12 (г. Подольск). Именно такая технология использовалась на начальной стадии во время становления отечественной редкоземельной промышленности. Впоследствии, в 1972 году, М.М.Сенявин в числе других работников был удостоен Государственной премии СССР.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ДОСТИЖЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ В "СЕНЯВИНСКИЙ" ПЕРИОД

Фронтальная ионообменная хроматография и водоподготовка.

Задача, для решения которой была организована лаборатория М.М.Сенявина, звучала так: "Для решения крупномасштабных проблем, связанных с очисткой поверхностных вод, в том числе в особый период".

Результаты многолетних исследований М.М.Сенявина и его сотрудников, в том числе В.А.Никашиной и В.А.Новиковой, по комплексной очистке питьевой воды с использованием доступных природных сорбентов, например природных цеолитов, были использованы для решения ряда практических задач, в том числе при ликвидации последствий ава-

рии в 1986 году в Чернобыле. Эти работы были отмечены высокими правительственными наградами.

М.М.Сенявин был одним из первых специалистов, который понял значение развития теории ионного обмена и возможностей компьютерного расчета для решения сложных задач динамики процессов массопереноса в колоннах. С этой целью он наладил тесное сотрудничество с такими известными учеными, как академик А.Н.Тихонов (МГУ им. М.В.Ломоносова) и член-корреспондент АН СССР М.Г.Слинько (НИФХИ им. Л.Я.Карпова), а впоследствии создал в лаборатории специальную математическую группу, которой руководил Е.В.Веницианов. Большую роль в развитии работ в области моделирования многокомпонентной ионообменной фронтальной хроматографии, как и моделирования и оптимизации многостадийных ионообменных процессов, направленных на решение задач водоподготовки для тепловых и атомных станций, сыграли Р.Н.Рубинштейн, Н.К.Галкина, И.В.Комарова. За период с 1975 по 1983 год этими авторами были опубликованы 3 монографии [14–16] и 3 атласа технологических зависимостей (совместно с СоюзТехЭнерго), превосходивших, по оценке некоторых крупнейших профильных компаний, соответствующие зарубежные аналоги. Они и сегодня являются незаменимым инструментом для экономии времени и материальных ресурсов в процессах проектирования, наладки и эксплуатации схем водоподготовки, очистки конденсата и очистки сточных вод. Полученные в лаборатории результаты по моделированию, расчету и оптимизации ионообменных процессов, помимо большого научного значения, способствовали решению крупных народно-хозяйственных задач в области подготовки воды для тепловых и атомных станций. Результаты были внедрены на многих промышленных объектах, в том числе на Калининской АЭС, Ленинградской АЭС, Волгоградской ТЭЦ-2, Нижнекамской ТЭЦ-1, Новочеркасской ГРЭС, Сыктывкарской ТЭЦ.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ИОННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

В последнее десятилетие жизни Марка Моисеевича лаборатория сконцентрировала свои усилия на решении двух задач, как иногда говорили сотрудники, "двух любимых" задачах Сенявина.

1. Создание сорбентов, колонок и отечественных приборов для хроматографии, а также развитие теории и практики этого метода.
2. Разработка технологий извлечения ценных компонентов из природных вод, главным образом из океанской воды.



Рис.3. Долгоносов А.М., Сенявин М.М., Волощик И.Н. Ионный обмен и ионная хроматография. М.: Наука, 1993

Следует более подробно остановиться на первой из них. Основную роль в работах по ионной хроматографии сыграли исследования А.М.Долгоносова, который начал их с создания сорбентов нового типа для ионной хроматографии: анионообменных с малой емкостью и локализацией емкости не в тонком поверхностном слое гранул, а в их центре, а также катионообменных сорбентов. Разработанные материалы обладали рядом преимуществ перед своими аналогами. Например, они достаточно устойчивы к механическим и другим воздействиям на поверхность сорбента. Сорбенты типа КанК использовались для обеспечения первых отечественных приборов для ионной хроматографии. Усилиями группы А.М.Долгоносова были разработаны новые подходы к моделированию хроматографических процессов, созданы программы ИонХром для оптимизации ионохроматографического анализа. Впоследствии вклад лаборатории сорбционных методов в развитие ионной хроматографии был высоко оценен, и Марк Моисеевич в 1988 году оказался в списке лауреатов Государственной премии РСФСР в области науки и техники. Уже в 1992 году А.М.Долгоносав обобщил результаты исследований по ионной хроматографии и опубли-



Рис.4. Пилотная установка по извлечению из морской воды Li, K, Cs и Sr. Сахалинская ГРЭС, 1986 год

ковал монографию [17] (рис.3), которую М.М.Сенявин, к сожалению, уже не увидел. Сегодня А.М.Долгонос является одним из признанных в мире специалистов в области теории адсорбции и хроматографии, и он автор ряда монографий. В его группе проводятся экспериментальные работы по созданию новых высокоэффективных сорбентов, например нанокмозитов, разрабатываются новые схемы анализа сложных объектов. Несколько его учеников защитили кандидатские диссертации. Один из его сотрудников – А.Г.Прудковский защитил диссертацию по теории хроматографии на соискание степени доктора ф.-м. наук.

Работы в области извлечения ценных компонентов и морские экспедиции – большая самостоятельная страница из жизни лаборатории сорбционных методов и ее руководителя. Все было организовано по-сенявински, с большим размахом. Во-первых, в рамках научно-технического проекта "Мировой океан" ГКНТ СССР была создана специальная программа "Океанская вода", впоследствии – "Минеральные ресурсы океанской воды", под руководством М.М.Сенявина. К выполнению этой программы были привлечены сотрудники многих вузов, академических и отраслевых институтов, включая ГЕОХИ как ведущую организацию, МГУ им. М.В.Ломоносова, РХТУ (МХТИ) им. Д.И.Менделеева, Институт химии ДВО АН СССР, Институт Механообр Минцветмета, Южно-Сахалинский педагогический институт. Во Владивостоке был создан Дальневосточный сектор ГЕОХИ АН СССР. Помимо лабораторных работ, осуществляемых в Москве, проводились пилотные испытания на трех объектах: на Черном море, вблизи пос. Кацивели, на морской платформе была установлена конвейерная лента из селективного сорбционного материала, которая сначала контактировала с морской водой для сорбции микрокомпонентов, а затем прохо-

дила через регенерационный раствор; на Японском море на ТЭЦ-2 Владивостока проводились натурные испытания по сорбции урана группами из двух лабораторий, в том числе лаборатории академика Б.Ф.Мясоедова; на Охотском море в цехе химводоподготовки Сахалинской ГРЭС был установлен и в течение нескольких лет успешно эксплуатировался пилотный комплекс, где отрабатывались технологии и были получены образцы солей стронция, лития, рубидия и брома (рис.4). Была спроектирована первая в мире опытно-промышленная установка для переработки морской воды на 270 м³/ч, изготовлена одна из крупнейших в мире противоточных ионообменных колонн и начато строительство объекта на ТЭЦ-2 Владивостока. Результаты исследований теоретических и практических аспектов поведения сложных массообменных процессов были опубликованы в работе [18]. Что касается практического продолжения работ по минеральным ресурсам океанской воды, может быть, и хорошо, что Марк Моисеевич не застал начало 1990-х годов, развал Советского Союза и прекращение финансирования государственных научно-технических программ.

ЛАБОРАТОРИЯ СОРБЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПОД РУКОВОДСТВОМ Б.А.РУДЕНКО

Привыкшая к решению крупных задач под руководством выдающегося ученого лаборатория после смерти М.М.Сенявина нуждалась в крупном руководителе, и руководство Института искало ученого соизмеримого масштаба и такую же яркую личность. В течение целого года тяжкое бремя руководства "кучей непослушных индивидуальностей" в роли исполняющей обязанности взяла на себя Галина Михайловна Колосова, бывший заместитель М.М.Сенявина. В 1990 году на место заведующего лабораторией согласился перейти проф. Борис Антонович Руденко (рис.5), до этого занимавший пост директора института душистых веществ (ВНИИСНДВ). Для нас, сотрудников лаборатории, которые его лично не знали, он был известен как крупный специалист в хроматографии, сыгравший в свое время важную роль в развитии капиллярной хроматографии, которой он посвятил замечательную монографию [19]. Следует также остановиться на биографии этого неординарного человека и ученого.

Б.А.Руденко начал свою трудовую деятельность с 1955 года после окончания Института тонкой химической технологии им. М.В.Ломоносова. С 1955 по 1981 год работал в Институте органической химии им. Н.Д.Зелинского АН СССР, с 1981 по 1984 год заведовал кафедрой аналитической химии 1-го Московского медицинского института им. И.М.Сеченова, в 1984–1990 годы

был директором Всесоюзного научно-исследовательского института синтетических и натуральных душистых веществ. В 1960-х годах Руденко увлекся малоизвестной в то время областью – газовой хроматографией органических соединений, что определило дальнейшую его творческую жизнь. Исследования начинались практически на пустом месте, и Руденко пришлось самому конструировать все основные блоки газового хроматографа. Добиваясь повышения чувствительности определения органических соединений, Б.А.Руденко опробовал для детектирования ионизацию пламенем. Эти эксперименты были предприняты практически одновременно с работами зарубежных исследователей (1958). Не менее остро в то время стояла проблема повышения эффективности хроматографических колонок. Исследования Б.А.Руденко привели к созданию совершенно нового варианта газовой хроматографии (Б.А.Руденко и В.П.Чижков) – препаративной циркуляционной хроматографии, позволяющей разделять с эффективностью до 30 тыс. теоретических тарелок граммовые количества веществ [20]. С помощью этого метода впервые удалось осуществить препаративное разделение ряда изотопно-замещенных соединений, близких по свойствам пространственных и структурных изомеров органических соединений, оптических изомеров ряда аминокислот.

Мы ожидали, что Б.А.Руденко произведет резкие изменения в направлениях работ, и немного боялись этого. Действительно, он принял на работу несколько специалистов в области газовой хроматографии и усилил соответствующую группу. Во всем остальном он проявил себя весьма деликатно и не тронул ничего из наследия М.М.Сенявина. Более того, как один из последних ученых-универсалов, обладавший энциклопедическими знаниями во многих областях, он активно подключился к проводимым в лаборатории исследованиям.

В 2002 году он обратился с просьбой к автору этих строк заменить его на посту заведующего, "так как у него много задумок, и он хочет написать большую книгу по хроматографии – итог своей жизни". Он написал такую книгу в двух томах вместе со своей супругой и верной спутницей в науке Г.И.Руденко [21].

Продолжая рассказ о деятельности Б.А.Руденко, отметим, что он искал возможности продолжения работ по разным направлениям, включая исследования по морской тематике, участвовал в привлечении коммерческих структур, включая фирмы в России, Германии, Швейцарии, Саудовской Аравии и Арабских Эмиратах. Центр натурных исследований переместился на Ближний Восток. Была создана лаборато-



Рис.5. Профессор Борис Антонович Руденко, заведующий лабораторией в 1990–2002 годы

рия пилотных установок в Университете Абдул-Азиза. Одна из небольших пилотных установок по комплексной переработке морской воды из ГЕОХИ РАН была установлена на опреснительной установке в г. Аджман, ОАЭ, где прошли ее успешные испытания по переработке сбросных рассолов после опреснения. После этого установка демонстрировалась на Всемирной выставке WETEX в г. Дубае. Были подготовлены проекты демонстрационных промышленных установок для технопарка г. Дубая, для химического кластера в Актау (Казахстан) и для Украины. Первый проект начал финансироваться арабско-германской совместной компанией, но, к сожалению, продвигался очень медленно.

Борис Антонович говорил, что М.М.Сенявин был прав, довольно рано инициировав работы по морской тематике. Были развиты новые теоретические подходы и созданы уникальные процессы разделения, которые оказались актуальными и востребованными для улучшения других, в том числе действующих промышленных процессов. Совместно с Б.А.Руденко был установлен общий характер явления ионообменного изотермического пересыщения [22], получила развитие теория кинетики и динамики массопере-

носа в многокомпонентных многофазных системах, появилось направление "ионный обмен в пересыщенных растворах и коллоидных системах". Большую роль в этом сыграл Н.А.Тихонов с физического факультета МГУ, приглашенный к сотрудничеству с лабораторией еще при жизни М.М.Сенявина и продолжающий с нами работать. Разработаны так называемые самоподдерживающиеся процессы умягчения и опреснения соленых вод. Появились новые модифицированные процессы ситового разделения кислот и солей в концентрированных растворах. Большую роль в этих исследованиях сыграли А.Н.Крачак и А.Н.Груздева [23].

Впоследствии совместно с химическим факультетом МГУ был разработан метод двухтемпературного безреагентного разделения. Было дано физическое обоснование и теоретическое описание методов фронтальной хроматографии, где разделение связано с изменением скорости распространения кон-

центрационных фронтов в колонке, а также методов вытеснительной хроматографии, где температура влияет на расширение или сжатие концентрационных пиков [24]. По прошествии большого количества лет становится понятно, что эти работы на каком-то ином уровне возвращают нас к трудам А.А.Жуховицкого, учителя М.М.Сенявина. По сути, продолжением дальнейшего развития идей, разрабатывавшихся Сенявиным и Руденко, являются современные исследования в области наноразмерных ионообменных материалов [25].

Приходя на работу в кабинет, где работал Марк Моисеевич Сенявин, а позже – Борис Антонович Руденко, автор этих строк нередко смотрит на их портреты, висящие на стене. При этом часто и невольно возникает беспокойство и вопрос, сможем ли мы – сотрудники сегодняшней лаборатории сорбционных методов удерживать уровень, заданный нашими учителями?

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kolomnikov I.G., Efremov A.M., Tikhomirova T.I., Sorokina N.M., Zolotov Yu.A.** Early Stages in the History of Gas Chromatography // *J. Chromatogr. A*. 2018. Vol. 1537. P. 109–117.
2. **Золотов Ю.А., Ревельский И.А.** К вопросу о первых работах по газовой хроматографии в Советском Союзе // *Ж. аналит. химии*. 2018. Т. 73. №8. С. 646–648.
3. **James A.T., Martin A.J.** Gas-liquid partition chromatography; the separation and micro-estimation of volatile fatty acids from formic acid to dodecanoic acid // *Biochem.J.* 1952. Vol. 50. No.5. P. 679–90.
4. **Hesse G., Tschachotin B.** Adsorptionsanalyse von Gasen und Dämpfen // *Naturwiss.* 1942. Vli. 30. P. 387–392.
5. **Damkohler G., Theile H.** *Chemie*. 1943. Vol. 56. P. 353.
6. **Damkohler G., Theile H.** *Ver. dtsh. Chemiker*. 1944. No.49.
7. **Ettre L.S.** Professor Erika Cremer Ninety Years Old // *Chromatographia*. 1990. Vol. 29. P. 413–414.
8. **Сенявин М.М.** Хроматографический адсорбционный анализ // *Успехи химии*. 1949. Т. 18. №2. С. 183–205.
9. **Marinsky J.A., Glendenin L.E. and Coryell C.D.** The Chemical Identification of Radioisotopes of Neodymium and of Element 61 // *J. Am. Chem. Soc.* 1947. 69 (11). P. 2781–2785.
10. **Spedding F.I., Powell E.** Wheelright. The Separation of Adjacent Rare Earths with Ethylenediamine-tetraacetic Acid by Elution from an Ion-exchange Resin // *J. Am. Chem. Soc.*, 1954. 76, 612.
11. **Виноградов А.П., Рябчиков Д.И., Сенявин М.М.** Редкоземельные элементы / М., Изд-во АН СССР, 1958, 251 с.
12. Редкоземельные элементы / под ред. Д.И. Рябчикова. М.: Наука, 1963. 393 с.
13. **Сенявин М.М.** Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ. М.: Химия, 1980. 272 с.
14. **Сенявин М.М., Рубинштейн Р.Н., Веницианов Е.В., Галкина Н.К., Комарова И.В., Никашина В.А.** Основы расчета и оптимизации ионообменных процессов. М.: Наука, 1972. 174 с.
15. **Сенявин М.М., Рубинштейн Р.Н., Комарова И.В., Смагин В.Н., Ярошевский Д.А., Галкина Н.К., Никашина В.А.** Теоретические основы деминерализации пресных вод. М.: Наука, 1975. 326 с.
16. **Веницианов Е.В., Рубинштейн Р.Н.** Динамика обмена в жидких средах. М.: Наука, 1983. 237 с.
17. **Долгоносков А.М., Сенявин М.М., Волощик И.Н.** Ионный обмен и ионная хроматография. М.: Наука, 1993. 222 с.
18. **Khamizov R., Muraviev D., Warshawsky A.** Recovery of Valuable Mineral Components from Seawater: in Ion Exchange and Solvent Extraction. A Series of Advances, Marcel-Dekker, Inc. New York, 1996. P. 93–148.
19. **Руденко Б.А.** Капиллярная хроматография, М.: Наука, 1978. 222 с.
20. **Руденко Б.А., Чижков В.П., Забокрицкий М.П.** Препаративное разделение близких изомеров и изопроtonнозамещенных соединений методом высокоэффективной газовой хроматографии // *Успехи химии*. 1984. Т. 53. №9. С. 1572.
21. **Руденко Б.А., Руденко Г.И.** Высокоэффективные хроматографические процессы: В 2 т. М.: Наука, 2003. Т. 1. 425 с. Т. 2. 288 с.
22. **Хамизов Р.Х., Мясоедов Б.А., Тихонов Н.А., Руденко Б.А.** Об общем характере явления изотермического пересыщения в ионном обмене // *ДАН*. 1997. Т. 356. №2. С. 216–220.
23. **Хамизов Р.Х., Крачак А.Н., Груздева А.Н., Болотоков А.А., Хамизов С.Х., Смирнов А.Н., Жигулева Т.И.** Сорбционное концентрирование и выделение РЗЭ из экстракционной фосфорной кислоты // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2012. Вып. 1. С. 29–39.
24. **Khamizov R.Kh., Ivanov V.A., Tikhonov N.A.** Dual-temperature Methods of Separation and Concentration of Elements In Ion-Exchange Columns. In Ion Exchange and Solvent Extraction. A Series of Advances, Volume 20 / ed. A.Sen Gupta. 2011. Ch. 5. P. 171–232.
25. **Долгоносков А.М., Хамизов Р.Х., Колотилина Н.К.** Наноиониты – модификаторы хроматографических фаз и источники аналитического сигнала // *Ж. аналит. химии*. 2019. Т. 74. №4. С. 285–296.

**1-4 марта
2022**

**Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»**



**26-я международная
специализированная
выставка**

Интерлакокраска

Салоны:

- «Обработка поверхности»
- «Покрyтия со специальными свойствами»
- «Защита от коррозии»

Организатор: АО «ЭКСПОЦЕНТР»

При поддержке:

- Министерства промышленности и торговли РФ
- ФГУП «НТЦ «Химвест»
- Российского Союза химиков
- ОАО «НИИТЭХИМ»
- Ассоциации «Центрлак»
- Ассоциации качества краски
- Российского химического общества им. Д.И. Менделеева

Под патронатом ТПП РФ

12+ Реклама



www.interlak-expo.ru

 **ЭКСПОЦЕНТР**