ЖУРНАЛ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ, 2021, том 76, № 4, с. 369–379

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

УДК 543

КАКИЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ПРОИЗВОДЯТ В РОССИИ?

© 2021 г. Г. И. Цизин[a], Ю. А. Золотов[a, b, *]

[a] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет Ленинские горы, 1, стр. 3, Москва, 119991 Россия*

[b] *Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук Ленинский просп., 31, Москва, 119991 Россия*

**e-mail: zolotov.32@mail.ru*

Поступила в редакцию 23.09.2020 г.
После доработки 19.10.2020 г.
Принята к публикации 29.10.2020 г.

Сделана попытка собрать и систематизировать информацию об измерительных аналитических приборах, производимых в России на рубеже второго и третьего десятилетия XXI в. Большая часть приборов выпускается крупными и среднего размера компаниями, возникшими в 1990-е годы. Рассмотрены приборы для разных областей спектрального анализа, масс-спектрометры, хроматографы, электрохимические приборы, аналитические весы и др.

Ключевые слова: производство аналитических приборов, анализаторы, спектрометры, рентгеновские аналитические приборы, масс-спектрометры, приборы ионной подвижности, электроаналитические приборы, аналитические весы.

DOI: 10.31857/S0044450221040137

Исчерпывающий ответ на поставленный в заголовке вопрос дать трудно, однако и паллиативная, фрагментарная информация будет, вероятно, полезна.

Российское аналитическое приборостроение в целом не занимает лидирующих позиций в отношении номенклатуры выпускаемых приборов, масштабов их производства и нередко технического уровня, однако состояние дел сильно отличается для приборов разных групп. Существовавшие в Советском Союзе крупные государственные приборостроительные организации и предприятия (Ленинградское оптико-механическое объединение, Государственный оптический институт, “Буревестник”, “Госметр”, “Химавтоматика” и многие другие) понесли в 1990-е годы большие потери. На их базе силами, как правило, их же сотрудников во многих случаях были созданы малые предприятия, некоторые из которых не только удержались на ногах, но и стали внушительными компаниями. Надо также вспомнить, что часть существовавших в СССР организаций и производственных предприятий, выпускавших аналитическую технику, оказались за пределами России – в Украине (Сумский завод электронных микроскопов, Северодонецкий филиал “Химавтоматики” и др.), в Белоруссии (Гомельский завод, специализировавшийся на электрохимическом оборудовании) и других сопредельных государствах. Косвенно развитие отечественного аналитического приборостроения тормозилось и возросшими у ряда потребителей возможностями приобретать технику зарубежного производства.

В настоящее время само понятие “российские приборы” нельзя считать однозначным. Возможна ситуация, когда прибор сконструирован в России и целиком изготовлен из отечественных материалов и комплектующих. На другом полюсе – “отверточное” производство, если изделие собирают из импортных составляющих. Во многих случаях, если не в большинстве, мы имеем промежуточный вариант: что-то российское, что-то покупается за границей (так работают и многие зарубежные производители). В этой статье мы не проводим указанного деления, за исключением немногочисленных очевидных случаев.

Рассмотрим теперь нынешнюю ситуацию с производством конкретных приборов.

Атомно-эмиссионные спектрометры. В современных атомно-эмиссионных спектрометрах используют различные способы атомизации пробы – дугу постоянного и переменного тока, искру, пламена, лазерное возбуждение, индуктивно связанную плазму (**ИСП**). В большинстве приборов для атомно-эмиссионной спектрометрии (**АЭС**) атомизацию в настоящее время осуществляют с помощью ИСП; достоинства этого метода – широкий диапазон определяемых содержаний, линейность градуировочных графиков, большое число

определяемых элементов. Ограничение метода – необходимость растворения пробы; есть приставки для искрового пробоотбора, лазерной абляции, позволяющие анализировать твердые объекты, но они не всегда решают задачи. Между тем анализ металлов, сплавов, геологических объектов подчас удобнее проводить без растворения. Этой цели хорошо служат спектрометры с традиционными способами атомизации.

В России выпускается довольно много приборов с дугой постоянного и переменного тока, с искровым разрядом, в том числе в инертном газе. Еще со времен СССР накоплен опыт создания и использования искровых и дуговых генераторов для атомно-эмиссионных спектрометров, создан и внушительный банк методик под такие приборы, есть приборы хорошего качества (табл. 1).

Концепции большинства приборов достаточно традиционны. Это спектрометры по схеме Пашена-Рунге, иногда одинарные, иногда сдвоенные. Во всех случаях используются диспергирующие элементы (вогнутые обычные и голографические дифракционные решетки) высокого класса. В качестве детектора почти везде (за исключением отдельных приборов) применяют ПЗС-линейки; с точки зрения оптической схемы для многоэлементного спектрального анализа они, вероятно, оптимальны. Уровень оптической части спектрометров соответствует мировому.

Наибольшее число моделей спектрометров для АЭС производит ЗАО “Спектральная лаборатория”. Компания осуществляет сопровождение и модернизацию приборов, в том числе приборов производства прошлых лет. Неплохо отработан прибор “Папуас-4”, выпускаемый в семи модификациях ООО “Спектроприбор-2”. Подавляющее большинство спектрометров, указанных в табл. 1, сертифицированы – внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Единственная модель спектрометра с ИСП – прибор “Эридан-500”, выпускаемый в четырех модификациях ООО “Мониторинг”. Характеристики этого прибора соответствуют среднему прибору зарубежного производства, однако мы не располагаем сведениями о его использовании в промышленности и науке.

Надежные и современные спектрометры разрабатывает и выпускает ООО “ВМК Оптоэлектроника”. Возникнув как малое предприятие на базе Сибирского отделения Академии наук, эта компания стала мощным и авторитетным производителем аналитической техники, с широким кругом заинтересованных потребителей (которых, кстати, компания ежегодно собирает на большой семинар). Используются оригинальные многоканальные анализаторы эмиссионных спектров МАЭС. Компания выпускает ряд приборов и комплексов серии “Грант”, например “Гранд-Поток” для анализа порошковых проб методом просыпки–вдувания. Приборы этого производителя широко применяются в промышленности, особенно для анализа металлов и сплавов.

Атомно-абсорбционные спектрометры. Атомно-абсорбционная спектроскопия (**ААС**) была на пике внимания аналитиков в 1960–1980 гг., однако метод используется и в настоящее время. Компании производят соответствующие приборы и с пламенной, и особенно с электротермической атомизацией, появился отечественный спектрометр для многоэлементного анализа с источником непрерывного спектра (Гранд-ААС, разработан “ВМК Оптоэлектроника”). Приборы для ААС выпускают “Кортэк” (Москва), “Люмэкс” (С.-Петербург) и некоторые другие производители. В табл. 2 перечислены основные производимые в России спектрометры.

Приборы для рентгеноспектрального анализа. Приборостроение для рентгеноспектрального анализа имеет в нашей стране давнюю историю. Ленинградское НПО “Буревестник” в течение длительного времени частично обеспечивало внутренние потребности страны в рентгенофлуоресцентных спектрометрах. Недостатками были медленное внедрение в серию новых разработок, частое применение устаревших зарубежных подходов (при наличии вполне оригинальных перспективных отечественных разработок), отставание в области использования вычислительной техники. Это привело со временем к тому, что не только научные учреждения, но и промышленные предприятия стали переходить на импортное оборудование (прежде всего производства Philips, ARL и др.). Относительно медленно развивался рентгеноспектральный микроанализ, несмотря на то, что метод был создан параллельно во Франции и СССР (Ильин, Боровский, 1951), а первый промышленный прибор появился в конце 1950-х годов (МАР-1, Красногорский механический завод). Усилия НПО “Орион” (Москва) и Завода электронных микроскопов (Сумы) не смогли обеспечить развитие этого направления в соответствии с мировыми тенденциям, большинство научных учреждений и промышленных предприятий использовали импортное оборудование. Сохранялось серийное производство достаточно старых по конструкции приборов в НПО “Буревестник” и на предприятии “Научприбор” (Орел). В плане перспективных разработок также наблюдалось существенное отставание.

Развитие новых направлений в рентгеновском приборостроении началось с распадом СССР и появлением (прежде всего в Петербурге) ряда небольших предприятий, ориентированных на производство рентгеноспектральной аппаратуры. Основные модели производимого ныне рентге-

Таблица 1. Атомно-эмиссионные спектрометры российского производства

Производитель, город	Наименование (марка) эмиссионного спектрометра	Способ возбуждения спектра	Назначение, метрологические характеристики
ООО “ВМК Оптоэлектроника” (Новосибирск)	Гранд-Поток	Дуга переменного и постоянного тока	Анализ порошковых проб методом просыпки–вдувания (геологич. образцы, порошковая металлургия). Пределы обнаружения благородных металлов: <0.001 г/т для Au и Pd, <0.1 г/т для Ag
	Гранд-Глобула (комплекс)	Дуга и искра	Анализ порошковых проб, металлов и сплавов
	Гранд-Эксперт (комплекс)	Два спектрометра – вакуумный и воздушный. Возбуждение искровое в аргоне	Анализ металлов и сплавов. Диапазоны определяемых содержаний, %: C 0.002–3.0; S 0.001–0.2; P 0.001–0.2; Si 0.002–5.0
ЗАО “Спектральная лаборатория” (С.-Петербург)	Титан СЛ (для определения водорода в титане, алюминии и их сплавах)	Искра 8–50 Дж	Предел обнаружения по водороду 0.001%
	МСА (8 модификаций)	Низковольтная искра в аргоне, дуга переменного тока, пульсирующая дуга постоянного тока	Пределы обнаружения по C 0.004%, по Cr и Mg – 0.0005%
	ДФС-51 СЛ		Определяемые элементы: C, P, S, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, Al, Ti, Mo, V, W, Nb, B, Co, Zr, Pb, Zn, As. Диапазон определяемых содержаний от 0.0001 до десятков процентов
	Минилаб СЛ (переносной)	Низковольтная искра	Определяемые содержания от 0.0004% (Be)
	МФС 8 (3 модификации)	Низковольтная искра, дуга переменного и постоянного тока	Пределы обнаружения по Fe 0.008%, по Cr и Ni 0.005%
ООО “Мониторинг” (С.-Петербург)	Эридан-500 (4 модификации)	Индуктивно связанная плазма, частота 27.12 МГц (опция 40.68 МГц), 0.2–2.0 кВт	Пределы обнаружения (в сталях) Mn 1, Fe 4, Zn 4 мкг/дм^3
ООО “Спектроприбор-2” (Подольск)	Папуас-4 (7 модификаций)	Искра, дуга	Пределы обнаружения 0.1–0.05%
ООО “Актив” (С.-Петербург)	Спас-0,2 (вакуумная и воздушная модификации)	Низковольтная униполярная искра в аргоне	Предел обнаружения (при анализе сталей) 0–0.01%
ООО “Промоптоэлектроника” (С.-Петербург)	Искролайн-100, Искролайн-300, Искролайн-500	Искра	Предел обнаружения (при анализе сталей) 0.0001%

носпектрального оборудования представлены в табл. 3.

Долгое время НПП “Буревестник” было ведущим предприятием как по разработке новой рентгеноспектральной аппаратуры, так и по ее производству. По кристалл-дифракционной схеме были созданы различные приборы, в частности квантометры для промышленных лабораторий с предустановленными каналами на определенные элементы. Примерами таких приборов являются спектрометр рентгеновский многоканальный СРМ-35, разработанный специалистами НПП и производимый ЗАО “Научприбор” в Орле. Этот прибор может быть настроен на

Таблица 2. Атомно-абсорбционные спектрометры

Производитель (город)	Наименование (марка) прибора	Способ атомизации	Характеристики прибора
“Кортэк” (Москва)	Квант-2А	Пламя	–
	Квант-2М	Пламя	–
	Квант Z	Электротермическая	–
	Квант Z1	Электротермическая	–
“Люмэкс” (С.-Петербург)	МГА-1000	Электротермическая	Зеемановская коррекция неселективного поглощения
ООО “ВМК Оптоэлектроника” (Новосибирск)	Гранд-ААС	Электротермическая	Прибор позволяет одновременно определять 30–40 элементов

16 элементов в диапазоне от B до U, реализован диапазон определяемых содержаний от 1 ppm до 100%. По этим характеристикам аппарат вполне соответствует мировому уровню, но его недостатки (низкая надежность узлов, несколько устаревшая схема обработки данных) приводят к тому, что предприятия предпочитают импортные аналоги. Среди других разработок НПП “Буревестник” следует выделить прибор ВРА-135F – универсальный рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный спектрометр. В каталоге предприятия сохраняется потоковый анализатор пульп АР-35, предназначенный для горно-обогатительных комбинатов. Среди производимых НПП “Буревестник” приборов необходимо также отметить приборы, ориентированные на определение серы в нефтепродуктах (энергодисперсионный и волнодисперсионный анализаторы серы в нефтепродуктах). В этих приборах реализован ряд оригинальных технических решений, они в полной мере соответствуют требованиям определения серы в нефтепродуктах по существующим стандартам. Большинство приборов НПП “Буревестник” сертифицированы и внесены в Госреестр средств измерений. Выпуск приборов указанного профиля в НПП “Буревестник” невелик.

Наиболее успешной компанией такого профиля является ООО “НПО “Спектрон”, работающее с 1989 г. В его разработках был успешно использован опыт отечественного приборостроения в области рентгеновских кристалл-дифракционных спектрометров. Оригинальная схема Анисовича-Литинского позволила создать компактные настольные приборы, составившие впоследствии семейство “Спектроскан” (табл. 3). Данные приборы, объединив высокое разрешение кристалл-дифракционной схемы и большую светосилу, оказались конкурентоспособными по отношению к энергодисперсионным приборам зарубежного производства по своим техническим характеристикам, при этом они существенно дешевле импортных. На предприятии осуществляется серийный выпуск данных аппаратов. Приборы поставлены в Казахстан, Армению, Белоруссию, Алжир, Сьерра-Леоне, Иран, ОАЭ, Чехию и другие страны.

Отдельного внимания заслуживают приборы НПО “Спектрон” для анализа нефти и автомобильного топлива: анализатор серы в нефти и нефтепродуктах “Спектроскан SUL”, анализатор серы в автомобильных топливах “Спектроскан SWD3”, анализатор хлора и серы в нефти и нефтепродуктах “Спектроскан CLSW”. Приборы этой группы не уступают зарубежным аналогам и удовлетворяют требованиям нормативных документов по контролю качества нефти и топлива. Все производимые приборы этого предприятия внесены в Реестр средств измерений РФ.

Выпускается также ручной переносной рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный спектрометр для анализа горных пород. Существенно, что “Спектрон” не только производит приборы, но и обеспечивает потребителя методиками. Доля отечественных комплектующих в приборах предприятия не менее 80%. В настоящее время НПО “Спектрон” – несомненный лидер в области производства оборудования для рентгеноспектрального анализа.

Такое оборудование производят также АО “Научные приборы” (Петербург), ЗАО “Южполиметаллхолдинг” (Москва), ЗАО “Элеран” (Москва), ООО “Предприятие Толоконников” (Москва). Число выпускаемых этими производителями приборов ограничено (от десятков до единиц в год). Во многих случаях производство сводится к сборке из импортных комплектующих, что позволяет понизить общую цену, но не имеет перспектив с точки зрения создания новых приборов. Оценивая качество приборов этой группы, можно констатировать, что они, как правило, находятся на уровне средних аппаратов зарубежного производства; данных об их длительной эксплуатации у нас нет.

Спектрофотометры, фотометры для видимой и УФ-областей спектра. Приборы этой группы очень широко используются в России, поэтому

Таблица 3. Рентгенофлуоресцентные спектрометры и квантометры

Производитель	Наименование (марка) прибора	Способ возбуждения спектра	Способ разложения в спектр	Определяемые элементы	Диапазон определяемых содержаний (предел обнаружения)
НПП “Буревестник” (С.-Петербург)	Универсальный рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный спектрометр ВРА-135 F	Рентгеновская трубка 10 Вт, 50 кВ	Энергодисперсионный полупроводниковый детектор	F–U	От 10^{-2} (Na, Mg); 2×10^{-3} (Al–Cl); 5×10^{-4}(K–U) %
	Энергодисперсионный анализатор серы в нефтепродуктах АСЭ-2	Рентгеновская трубка малой мощности	Энергодисперсионный газовый пропорциональный счетчик	S	5 ppm–5%
	Волнодисперсионный потоковый анализатор пульп АР-35	Рентгеновская трубка	Кристалл-дифракционный с фиксированной настройкой каналов (до 8 каналов)	Ca–U	5×10^{-2}–1×10^{-3}% (в пульпах)
	Специализированный волнодисперсионный анализатор АРФ-7	Рентгеновская трубка БХВ-6, 3–5 кВт, 50 кВ	Кристалл-дифракционный высокого разрешения (схема Кошуа)	Co–U (исключает наложения Rb, Sr, Th)	10^{-4}–100%
	Волнодисперсионный анализатор серы в нефтепродуктах АСВ-2	Рентгеновская трубка	Кристалл-дифракционный	S	3 ppm–5%
ЗАО “Научприбор” (Орел)	Спектрометр рентгеновский многоканальный СРМ-35	Рентгеновская трубка 4 кВт	Кристалл-дифракционный с фиксированными каналами (16 каналов)	B–U	10^{-4}–100%
АО “Элеран” (Электросталь)	Спектрометры рентгенофлуоресцентные универсальные Clever A-17, Clever B-23, Clever C-31	Рентгеновская трубка 50 Вт, 50 кВ (программа управляемая), Rh	Энергодисперсионный, SDD детектор	Na–U	10^{-4}–100%
ЗАО “Южполиметаллхолдинг” (Москва)	Анализатор рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный “Призма–М(Au)”	Рентгеновская трубка	Энергодисперсионный	Au, Ag, Pt, Pd, Rh, In, Ir, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Sn	0.1–100%
	Автоматизированный диагностический комплекс “АДК-призма”	Рентгеновская трубка	Энергодисперсионный	Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Sn, W, Pb	0.2–500 г/т

Таблица 3. Продолжение

Производитель	Наименование (марка) прибора	Способ возбуждения спектра	Способ разложения в спектр	Определяемые элементы	Диапазон определяемых содержаний (предел обнаружения)
	Рентгенофлуоресцентный комплекс экологического контроля “Призма-Эко”	Рентгеновская трубка	Энергодисперсионный	P, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, W, Hg	(На фильтрах) 2–5000 мкг
	Портативный рентгенофлуоресцентный анализатор “МетЭксперт”	Рентгеновская трубка	Энергодисперсионный	Na–Am	0.05–100%
ООО “НПО “Спектрон” (С.-Петербург)	Электродисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор для определения серы в автомобильных топливах, нефти, нефтепродуктах “Спектроскан SL”	Рентгеновская трубка	Энергодисперсионный	S	0.0007–5%
	Анализатор хлора и серы в нефти и нефтепродуктах “Спектроскан CLSW”	Рентгеновская трубка Cr, Pd	Кристалл-дифракционный	Cl, S	Cl от 1.5 мг/кг, S от 0.9 мг/кг
	Анализатор серы в нефти и нефтепродуктах “Спектроскан SUL”	Рентгеновская трубка	Энергодисперсионный	S	0.0003–5%
	Анализатор серы в автомобильных топливах “Спектроскан SWD3”	Рентгеновская трубка Cr, Pd	Кристалл-дифракционный	S	1.5–500 мг/кг
	Спектроскан Макс-GVM	Рентгеновская трубка, Pd, 160 Вт, 40 кВ	Кристалл-дифракционный	Na–U	Na от 0.5%, Mg от 0.02%, Al–P от 0.005%, S–U от 2×10^4%
	Спектроскан Макс-G	Рентгеновская трубка, 4 Вт, 40 кВ, Ag (Mo, Cu)	Кристалл-дифракционный	Ca–U	Ca, Mo–Sb 0.15–100%, остальные 0.06–100%

Таблица 3. Окончание

Производитель	Наименование (марка) прибора	Способ возбуждения спектра	Способ разложения в спектр	Определяемые элементы	Диапазон определяемых содержаний (предел обнаружения)
ООО “Предприятие Толоконников” (Москва)	Анализатор состава вещества “Респект”	Рентгеновская трубка 120 Вт, 50 кВ, 2.4 мА, Ag, Ni, Cu, Mo, Re	Энергодисперсионный	Na–U	Предел обнаружения Na–S $1–10^{-2}$%, Cl–U $10^{-2}–3 \times 10^{-4}$%
АО “Научные приборы” (С.-Петербург)	Анализатор рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный “Реан” (модели 0.1К – 0.3 К, 0.1Н – 0.3Н)	Рентгеновская трубка 4 Вт, Ag, Ta, Mo, W, Rh, 10–40 кВ	Энергодисперсионный	Al–U	От 10 ppm
	Спектрометр рентгенофлуоресцентый портативный X-SPEC (модели 40 L, 50 L, 40H, 50H, M)	Рентгеновская трубка 10 Вт, 50 кВ, Ag, Ta, W, Rh	Энергодисперсионный	(Na)–U	Пределы обнаружения, ppm: Cr – 20, Mn – 16, Fe – 14, Cu – 11, Pb – 14, Zn – 11
	Микрозонд-микроскоп рентгеновский аналитический РАМ-30 μ	Рентгеновская трубка 500 Вт, 50 кВ, диаметр рентгеновского зонда 30–1000 мкм	Энергодисперсионный	(Na)–U	Не заявлены

наличие их отечественного производства весьма важно. К счастью, в данной области были неплохие заделы, некоторые российские спектрофотометры применяются в огромном числе лабораторий – производственных, учебных, научных. В табл. 4 указаны основные приборы.

Таблица 4. Спектрофотометры и спектроэлектроколориметры

Производитель (город)	Наименование (марка) прибора	Некоторые сведения о спектрофотометрах
ОКБ “Спектр” (С.-Петербург)	СФ-56	Однократное и многократное измерение на заданных длинах волн, сканирование заданных участков спектра, кинетические измерения, математическая обработка результатов
	СФ-2000	Высокое разрешение, высокая скорость сканирования спектра
“Экросхим” (С.-Петербург)	ПЭ-5400 УФ, ПЭ-5300 ВИ, ПЭ-5400 ВИ	Сертифицированы для использования медучреждениями
Загорский оптико-механический завод (ЗОМЗ) (Сергиев Посад)	КФК-3-01 и модификации	Новая версия КФК-3
ООО “ЮНИКО-СИС” (С.-Петербург)	КФК-3КМ	Однолучевой
“Аквилон” (Москва)	СФ-104	Однолучевой сканирующий, автосамплер на 8 кювет, самотестирование
	СФ-102	Однолучевой сканирующий, автосамплер на 8 кювет, самотестирование

Таблица 5. Масс-спектрометры

Производитель (город)	Наименование (марка) прибора	Некоторые сведения о приборах
“Люмэкс” (С.-Петербург)	Люмас-30	Элементный анализатор с импульсным тлеющим разрядом для монолитных тонкослойных и порошковых проб металлов, полупроводников, диэлектриков. Времяпролетный анализатор. Высокая чувствительность
	Люмас-50	Времяпролетный прибор для анализа многокомпонентных газовых потоков в режиме реального времени. Ионизация электронная. Быстродействующий прибор
Институт аналитического приборостроения РАН (С.-Петербург). Экспериментальный завод научного приборостроения (Черноголовка)	MX5310	Настольный времяпролетный масс-спектрометр. Ионизация электрораспылением, разрешающая способность не менее 7000
	MC7-100	Квадрупольный прибор для анализа газовых смесей. Разрешающая способность 1 а. е. м., предел обнаружения 1–5 ppm, можно определять одновременно до 10 примесей
НПО “Спектромасс” (С.-Петербург)	MC-800	Настольный квадрупольный масс-спектрометр. Ионизация электронная. Для анализа газов, предел обнаружения 1 ppm. Диапазон массовых чисел 2–800 а. е. м.
Новоуральский приборный завод (Новоуральск)	МТИ-350 Г, МТИ-350 Т, МТИ-350 ГП	Приборы преимущественно для изотопного анализа урана, особенно его гексафторида. Для определения гексафторида урана в газовой фазе (МТИ-350 Г), анализа солей урана и трансурановых элементов (МТИ-350 Т), определения примесей в гексафториде (МТИ-350 ГП)

Прежние производители (ЛОМО, Загорский оптико-механический и другие заводы) претерпели значительные изменения, но появились компании, в том числе и на базе названных предприятий, которые либо совершенствуют испытанные модели (КФК-3 и др.), либо разрабатывают новые, более современные.

Флуориметры. Широко известны приборы “Флуорат” (Флуорат-02-2М, Флуорат 02-3М) компании “Люмэкс”, они производятся уже много лет и с успехом распространяются во многих странах; на начало 2020 г. выпущено около 10 тысяч приборов. Прибор “Флуорат-02-Панорама” используют в исследовательской работе.

ООО “Европолитест” выпускает флуориметр УФМА; длины волн возбуждающего излучения 365 и 455 нм, спектральный диапазон флуоресценции 400–580 нм для модели В1 и 540–650 для модели В2.

На рынке есть также спектрофотометры Флуоран СФФ-2 (ФГУП “ВНИИОФИ”).

ИК-Фурье спектрометры. Группа компаний “Люмэкс” выпускает ИК-Фурье спектрометры ИнфраЛЮМ-ФТ-12 (модификации), использующие ближнюю область. Приборы предназначены, например, для анализа сельхозпродукции, пищевых товаров. Петербургская компания АО ЛОИП (“Лабораторное оборудование и приборы”) выпускает ИК-Фурье спектрометр ФСМ-1201; “Интерспектр”, тоже Петербург, – приборы ФСМ-2211 (для ближней области спектра) и ФСМ-2203 (с высоким разрешением). Есть и другие, в том числе ИК-Фурье, спектрометры.

Масс-спектрометры. В России небольшими партиями выпускаются масс-спектрометры для изотопного и элементного анализа, а также для определения “малых” молекул в газовой фазе – кислорода, азота, оксидов углерода и серы (табл. 5).

Долгожданным стал начавшийся в России выпуск масс-спектрометрических приборов для анализа смесей органических веществ. ЗАО “СКБ “Хроматэк” (Йошкар-Ола) разработало и серийно выпускает масс-спектрометрический детектор для газовой хроматографии с масс-спектрметрическим детектированием. Заявленные производителем характеристики этого квадрупольного прибора не уступают характеристикам импортного оборудования того же класса (табл. 6), а его цена существенно ниже.

Масс-детекторы с похожими заявленными характеристиками и газовые хромато-масс-спектрометры производит также ООО “Интерлаб”, однако доля импортных комплектующих в этом случае больше, чем в приборах компании “Хроматэк”.

Спектрометры ионной подвижности. Метод существует в двух вариантах: обычная спектрометрия ионной подвижности (СИП; ion mobility spectrometry, IMS) и спектрометрия приращения ионной подвижности (СПИП; increment ion mo-

Таблица 6. Характеристики масс-спектрометрического детектора СКБ “Хроматэк”

Источники ионов	ADVIS – с высокой чувствительностью, устойчивый к загрязнениям; STD – позволяет работать с устройством прямого ввода (опция)
Катод	Два, с программным переключением
Квадруполь	В настоящее время выпускается ЗАО СКБ “Хроматэк”, до недавнего времени – импортный
Диапазон масс	от 1 до 1200 а. е. м.
Ионизация	Электронная Химическая (опция)
Температура источника ионов	До 350°С
Температура переходной линии ГХ–МС	До 400°С
Отношение сигнал/шум	Не менее 2500 : 1 по октафторнафталину
Инструментальный предел обнаружения (IDL)	От 1.68 до 10 фг по октафторнафталину
Форвакуумный насос	Двухступенчатый пластинчато-роторный (основное исполнение), по желанию заказчика возможна поставка безмасляного насоса
Турбомолекулярный насос (импортный)	240 л/с (основное исполнение); 84 л/с (опция); 300 л/с (опция); диффузионный (опция)
Устройство прямого ввода	Доступно по предварительному заказу

bility spectrometry, IMIS). Приборы обоих типов часто используют армии и специальные службы, в нашей стране – таможенная служба, МВД, МЧС, ФСБ и другие. Они применяются для обнаружения взрывчатых и отравляющих веществ, наркотиков, других опасных химических веществ. В США для вооруженных сил разработан и выпускается простой прибор массой 500 г. В России производство налажено в Новосибирске (прибор М-02 и другие). Детекторы “Кербер” выпускает “Южполиметаллхолдинг” в Москве; продолжительность анализа 1–5 с, масса прибора 3.7 кг, он может функционировать в полевых условиях; используется таможенной службой и другими ведомствами. Имеются также разработки Института аналитического приборостроения РАН, в том числе с концентрирующим устройством.

Жидкостные хроматографы. Высокоэффективная хроматография (ВЭЖХ) позволяет проводить разделение сложных смесей органических и неорганических (в первую очередь ионизованных) веществ на составляющие их компоненты и одновременное детектирование большинства компонентов с определением концентрации одного или нескольких соединений (в зависимости от конкретных аналитических задач и наличия стандартных образцов). ВЭЖХ широко применяется для целей качественного и количественного анализа сложных веществ: биологических объектов, наркотических, лекарственных, сильнодействующих препаратов, ядов, пищевых продуктов и напитков, взрывчатых веществ, красителей, почв и др. Используется в атомной энергетике, фармацевтической и пищевой промышленности, медицине и многих других областях. Объемы продаж на российском рынке составляют несколько тысяч штук приборов в год.

Жидкостные хроматографы выпускают “Аквилон’, “Эко-Нова”, “Люмэкс”, “Интерлаб” и другие компании. Технические, аналитические и пользовательские характеристики жидкостных хроматографов серии “Стайер” (“Аквилон”) не уступают характеристикам приборов ведущих иностранных производителей. При этом их стоимость в полтора, а иногда в два раза ниже стоимости зарубежных аналогов. Хроматограф “Маэстро”, выпускаемый ООО “Интерлаб”, по своим характеристикам также не уступает импортным аналогам, при этом он тоже в 1.5 раза дешевле. Еще одно предприятие, выпускающее конкурентоспособные жидкостные хроматографы, – ЗАО СКБ “Хроматэк”. Название прибора – Кристалл ВЭЖХ.

Основные производимые в России жидкостные хроматографы представлены в табл. 7, которую составили Я.И. Яшин и А.Я. Яшин.

Газовые хроматографы. Газовая хроматография – универсальный метод разделения смесей разнообразных веществ, испаряющихся без разложения. Это один из самых современных методов многокомпонентного анализа, его отличительные черты – экспрессность, высокая точность, чувствительность, возможность автоматизации. Этот метод

Таблица 7. Жидкостные хроматографы

Компания, город	Модель	Детекторы*
“Интерлаб” (Москва)	Маэстро ВЭЖХ	СПФ, ДМД, РФ, УФ, фотометрический и флуориметрический светодиодный
“Аквилон” (Москва)	Стайер-М	КД, УФ (190–400 нм), СПФ, ДМД, флуориметрический
“Люмэкс” (С.-Петербург)	Люмахром	СПФ, УФ, флуориметрический
“Научприбор” (Орел)	Милихром-6	Уф (190–360 нм), СПФ, флуориметрический
“Медикант” (Орел)	Орлант, модели 121, 321, 122, 322	УФ (190–360 нм), СПФ (380–720 нм), флуориметрический
“Хромос” (Дзержинск)	Хромос	УФ, ЭХД, КД
“Portlab“ (Москва)	Джетхром	КД, СПФ, ЭХД, флуориметрический
“Эконова” (Новосибирск)	Альфахром	УФ (190–360 нм)
“Хроматэк” (Йошкар-Ола)	Кристалл ВЭЖХ	СПФ, ДМД, УФ, флуориметрический

*СПФ – спектрофотометрический, ДМД – диодно-матричный; УФ – ультрафиолетовый, КД – кондуктометрический, ЭХД – электрохимический.

Таблица 8. Приборы для капиллярного электрофореза

Продукт	Капель 105 М/205
Производитель	“Люмэкс” (С.-Петербург)
Цена	$ 15000–25000
Ввод пробы	Гидродинамический или электрокинетический
Детекторы	Спектрофотометрический 190–400 нм; время отклика 0.1 с
Автосамплер	2 карусели по 10 позиций на входе и выходе капилляра или карусель на 59 позиций (в зависимости от модификации)
Напряжение, кВ	от 0 до ±25/30 (в зависимости от модификации)
Минимальная длина капилляра от инжектора до детектора	7 или 8.5 см (короткий конец); минимальная общая длина капилляра 33 см

незаменим в нефтехимии (бензины содержат сотни соединений, а керосины и масла – тысячи), его используют при определении пестицидов, в анализе удобрений, лекарственных препаратов, витаминов, наркотиков и др.

Основные производители газовых анализаторов в России – ЗАО СКБ “Хроматэк” и ООО “НПФ “Мета-хром” (оба в Йошкар-Оле). Их продукция: хроматографы Кристалл 2000М и Кристалл 5000, Хромас-Кристалл 5000, Хроматэк-МСД, Кристалллюкс-4000М, промышленный потоковый газовый хроматограф Перохром-4000. По своим характеристикам перечисленные приборы успешно конкурируют с аналогичными приборами компаний “Шимадзу” и “Аджилент”. Цена приборов в 1.5–2 раза ниже, чем аналогичных импортных.

Газовые хроматографы специального назначения серии “Эхо” разработаны в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск) и производятся совместно с ПО “Север”. Это – поликапиллярные приборы ЭХО-Аспид, портативные, быстродействующие, очень чувствительные для обнаружения паров взрывчатых веществ; Эхо-Фид-ВВ для анализа выдыхаемого воздуха при диагностике диабета; ЭХО-ДТП, ЭХО-ДЭЗ для экологического контроля с детекторами фотоионизационным, пламенно-ионизационным, по теплопроводности соответственно.

Приборы для капиллярного электрофореза. Прибор “Капель 205” компании “Люмэкс” широко используется, выпущено (на начало 2020 г.) более 220 экземпляров. Ранее выпускалась модель “Капель 105”. Некоторые сведения о приборах см. в табл. 8.

Электрохимические приборы. Приборы этой группы обычно не очень дорогие, некоторые довольно просты в изготовлении. Этот сегмент аналитической техники в России обеспечивается собственным производством лучше многих других. В этой области действует немалое число производителей – “Эконикс”, “Эконикс-Эксперт’,

“Вольта”, “Томьаналит’, “НПЦ Техноаналит” и другие.

pH-метры, ионометры, ионоселективные электроды, кислородомеры. Приборы этой группы изготавливают компании “Эконикс-Эксперт” и НПП “Эконикс” (обе в Москве), “Аквилон”, “Томьаналит” и другие.

Приборы для вольтамперометрического и близких к нему методов анализа. Ранее такие приборы выпускало НПП “Буревестник”, но уже давно этого не делает. В числе компаний, выпускающих устройства для вольтамперометрического анализа, – “Томьаналит”, “Вольта”, “Эконикс-Эксперт”, “НПЦ Техноаналит” и другие. Так, петербургская “Вольта” изготавливает и продает потенциостат-гальваностат ИПС, потенциостаты серии IPC, установку с вращащимся дисковым электродом ВЭД-06, анализатор тяжелых металлов АВС-06, анализатор тяжелых металлов АВС-1.1.

Кулонометры. Одно из предприятий Росатома производит прецизионные потенциостатические кулонометрические приборы для нужд ведомства по разработке Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Есть и другие разработки. Кулонометрические титраторы выпускает “Эконикс-Эксперт” (Москва).

Титраторы. Некоторые массовые анализы успешно осуществляются методом титриметрии, и для решения таких задач серийно производят не очень дорогие приборы. К числу таких задач относится определение концентрации воды по методу Фишера или некоторые анализы молока. Производятся и более универсальные титраторы. Компания “Аквилон”, например, выпускает автоматический титратор АТП-02. “Техноцентр” (Новосибирск) продает титратор “по Фишеру” АТЛ-11-01, “Партнер” (Ростов-на-Дону) – титратор “Фишера” и “Эксперт-007”.

Аналитические весы. Разработка и производство аналитических весов сосредоточены в Петербурге. Научно-производственное предприятие “Госметр” выпускает несколько серий прецизионных весов – ВЛА (ВЛА-220 С, ВЛА-120 С, ВЛА-120 С и другие) и ВЛ (ВЛ-В, ВЛ-120 С, ВЛ-220 С, в последнее время Л-84 В). Другим производителем является ОКБ “Веста”, выпускающее весы серий АВ и ВМ.

Анализаторы. Речь идет об относительно простых в использовании приборах, обычно предназначенных для определения одного вещества в определенной среде. Ограничение возможностей компенсируется компактностью, надежностью и уже отмеченной простотой эксплуатации. В многочисленных устройствах этого типа реализуются самые разнообразные методы анализа, приборы данной группы нацелены на определение большого числа важных аналитов. С точки зрения обеспечения массового анализа за такими приборами большое будущее. Это видно на примере широко применяемых анализаторов – кислородомеров, глюкометров, анализаторов серы в нефти, pH-метров, приборов для определения метана в угольных шахтах и других. Все названные приборы, кроме, кажется, глюкометров, и очень многие другие производятся в России.

Вспомогательное оборудование. В России выпускается много вспомогательного оборудования для химического анализа – микроволновые печи, аналитические автоклавы, устройства для концентрирования аналитов, ионселективные электроды и др., но это направление, возможно, заслуживает отдельной публикации.