

УДК 543.42 + 543.51

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ РАСПЫЛИТЕЛИ С ПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ПОТОКАМИ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

В.Т. Суриков

*Институт химии твердого тела УрО РАН
620990, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91
surikov@ihim.uran.ru*

Поступила в редакцию 24 августа 2010 г.

На основании литературных данных рассмотрены и систематизированы сведения об устройстве, особенностях и использовании пневматических распылителей с пересекающимися потоками жидкости и газа, предназначенных для аналитической спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

Ключевые слова: перекрестные распылители, аэрозоль, индуктивно связанная плазма, матричные влияния

Суриков Владимир Трофимович – старший научный сотрудник Института химии твердого тела УрО РАН.

Область научных интересов: атомно-эмиссионная и масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, газовый и рентгенофлуоресцентный анализ, аналитическое приборостроение.

Автор и соавтор более 240 научных публикаций.

1. Введение

Важными отличительными признаками разновидностей пневматических жидкостных распылителей (генераторов аэрозоля, небулайзеров, пульверизаторов) являются, во-первых, направления, с которыми исходящие из внутренних каналов распылителей жидкостные и газовые потоки (струи) двигаются к заданной точке их встречи для осуществления диспергирующего взаимодействия, во-вторых, расстояния между этой точкой и выходными отверстиями каналов. Распылители, у которых эти направления составляют прямой (или близкий к нему) угол, а названные расстояния минимальны, в зарубежной литературе называют Cross-Flow Nebulizers (CFN), подразумевая пересекающееся (поперечное, перекрестное, скрещенное) взаимодействие исходящих потоков [1-22]. В отечественной литературе их именуют угловыми (угловыми) [2, 23], поперечно-потоковыми [22, 23], поперечными [24] и перекрестными [25, 26]. Автор данного обзора остановился на последнем определении из-за его краткости и достаточной смысловой близости к зарубежному.

По своей популярности и распространенности эти распылители находятся в лидирующей группе устройств введения жидких образцов в индуктивно связанную плазму (ИСП, ICP), служащую источником света и ионов для

инструментальных методов элементного и изотопного анализа: преимущественно оптического атомно-эмиссионного (ИСП-АЭС, ИСП-ОЭС, ICP-AES, ICP-OES) и масс-спектрометрического (ИСП-МС, ICP-MS), реже атомно-флуоресцентного (ИСП-АФС, ICP-AFS).

Общая схема, поясняющая устройство этих (как правило, двухканальных) распылителей, приведена на рис. 1.

Обычным условием работы перекрестных распылителей является значительное превосходство исходящей газовой струи над жидкостной по линейной и объемной скоростям. Это необходимо для эффективного распыления жидкостей, обеспечения формы, требуемых направления и скорости движения аэрозольной струи. Скорости струй обычно задают параметрами соответствующих наружных питающих устройств, а также внутренними диаметрами выходных отверстий сопел питающих каналов. Высокую скорость газовой струи обеспечивают применением повышенного давления газа и малого внутреннего диаметра газового сопла. Жидкость, как значительно более плотное и вязкое, чем газ, вещество, поддается диспергированию в обсуждаемом распылителе относительно медленно. Поэтому для эффективного использования в распылителе высокая скорость ее подведения к струе распыляющего газа не требуется. К тому же, вследствие ука-

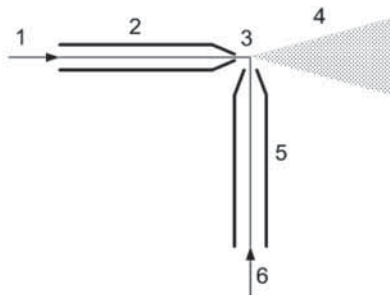


Рис. 1. Общая схема двухканальных распылителей с пересекающимися струями жидкости и газа: 1 – распыливающий газ (обычно аргон); 2 – газовый канал распылителя; 3 – точка встречи, исходящих из распылителя потоков; 4 – аэрозоль; 5 – жидкостной канал распылителя; 6 – распыливаемая жидкость. Стрелками показаны направления движения жидкости и газа. Выходные участки каналов называют соплами. Их внутренний диаметр может быть таким же или меньше, чем у питающих каналов

занного различия свойств, жидкость нуждается в более просторном канале для своего прохождения через распылитель. Это особенно важно для жидкостей с высокой концентрацией растворенных веществ и содержащих взвешенные частицы.

Если расстояние между соседними выходными отверстиями распылителя ничтожное, то разрежение, создаваемое исходящей газовой струей вблизи выходного отверстия жидкостного канала, может быть достаточным для инициации самостоятельного движения жидкости к зоне распыления (эффект Вентури). При этом распылитель работает не только диспергирующим устройством, но и жидкостным насосом. Эта возможность ослабевает или исчезает [3] по мере вынужденного увеличения межсоплового расстояния у некоторых распылителей, вызванного конструктивными обстоятельствами. В любом случае питание современных перекрестных распылителей жидкостями выполняют нагнетательными насосами (обычно перистальтическими), расширяющими эксплуатационные возможности.

Работа подобных распылителей зависит от различных параметров, их величины и др. обстоятельств [1, 2, 5, 17, 18]:

- угла между направлениями взаимодействующих потоков;
- расстояния между выходными отверстиями газового и жидкостного каналов;
- степени «погруженности» жидкостного сопла внутрь газовой струи;
- формы, внутренних диаметров и внешних размеров сопел;

- образования тонкой жидкой пленки на выходе из своего канала;
- состава и свойств распыливаемых жидкостей;
- расходов жидкостей и газа;
- способа жидкостного питания;
- конструктивных особенностей распылителей, материалов, использованных для их изготовления и т.д.

Создание и модернизация перекрестных распылителей, пригодных для вышеназванных спектрометрических методов анализа, было вызвано появлением и развитием последних, начатым с ИСП-АЭС в первой половине 70-х годов прошлого века.

В процессе соответствующей адаптации известных ранее перекрестных распылителей были разработаны различные конструкции с фиксированными или регулируемыми параметрами, выявлены их особенности и возможности, достоинства и недостатки. При этом были учтены важные для ИСП ограничения по расходным характеристикам: не более 1-3 мл/мин для жидкостей и 0,7-2 л/мин для аргона. По мере роста чувствительности аналитических методов и приборов, возникла и постепенно удовлетворялась потребность в распылителях с еще более экономным расходом анализируемых жидкостей.

К общим достоинствам перекрестных распылителей относят:

- толерантность к значительному изменению концентраций растворенных химических элементов в жидкостях, их вязкости и засоренности;
- производство в общем распыле достаточной для анализа фракции тонкодисперсных частиц;
- приемлемую стабильность работы;
- универсальность применения;
- возможность самоаспирации в случае минимального межсоплового расстояния;
- простоту и надежность конструкции, ее долговечность, доступность и относительную дешевизну, удобство эксплуатации, возможность использования в составе дополнительных устройств.

В числе недостатков называют значительную полидисперсность распыла, невысокую долю тонкоразмерных частиц и низкую эффективность использования аэрозоля.

Как известно, достоинства индуктивно связанной плазмы, как источника света и ионов, реализуются при условии максимального испарения в ней аэрозольных частиц, что возможно, если их размер составляет 10 мкм и менее [1, 2, 5, 13, 17, 27, 28]. Поэтому обсуждаемые распылители работают в сочетании с аэрозольными сепараторами различной конструкции [18] (например, популярная двухпроходная камера Скотта [29]), в значительной мере освобождающими

получаемый распыл от крупных капель. Совокупность распылителя с любой аэрозольной камерой называют распылительной системой. В спектрометрах распылители с цилиндрическими аэрозольными камерами устанавливают с наклоном, обеспечивающим свободное стекание неиспользованной жидкости в дренажный канал.

В последовательной цепи устройств, образующих аналитический тракт в составе ИСП-спектрометров и последовательно обеспечивающих извлечение информации из анализируемых образцов различными средствами, распылительная система находится в начале и может быть определена как простейший входной инструментальный интерфейс между исследуемой жидкостью и плазменной горелкой.

2. Регулируемые распылители

Согласно [1, 2], первый разборный перекрестный распылитель, использованный в ИСП-АЭС, был разработан в 1973 г. в Эймской лаборатории Айовского университета (США). «Эймский» распылитель (см. рис. 2) состоял из тефлонового корпуса с воронкообразной внутренней полостью и встроенными в нее под прямым углом друг к другу жидкостным и газовым каналами, выполненными из миниатюрных стеклянных трубок (капилляров), защищенных от механических повреждений в соединительных устройствах надетыми снаружи стальными трубками [10]. Устройства соединения и герметизации этих трубок в корпусе обеспечивали возможность регулирования и фиксации их пространственного взаимоположения и межсоплового расстояния. Горловину корпуса, снабженную уплотнительным кольцом, натягивали на цилиндрический входной порт аэрозольной камеры. При этом корпус фиксировал рабочее положение распылителя относительно камеры и служил ее герметизирующей крышкой. Прототипом распылителя послужил аналог, использованный ранее совместно с электродуговым плазмотроном [30].

Выходные отверстия газового и жидкостного капилляров, ориентированных под прямым углом друг к другу, имели внутренний диаметр 0,23–0,25 мм, межсопловое расстояние составляло 0,078 мм. Распыляющий аргон проходил через газовый капилляр со скоростью 0,8–1,0 л/мин при давлении 172 кПа. Расход жидкости достигал при этом 3 мл/мин. Эффективность распылителя вместе с аэрозольной камерой оценена авторами в ~5 %.

Этот распылитель сразу пригодился для анализа растворов [29], природных пресных и соленых вод [31], руд и растений [32], биологических жидкостей и тканей [33, 34], смазочных масел [35], органических растворителей [36] ме-

тодом ИСП-АЭС, а также стал средством и объектом исследования и модернизации [11, 14, 15, 36–55].

В частности, в 1977 г. в Национальной лаборатории (Окридж, Теннесси, США) был создан его аналог, свободный от металлических корродируемых деталей, в котором крепежная часть стеклянных капилляров защищена плотно облегающими тефлоновыми втулками [11]. Кроме того, предусмотрена возможность установки в корпусе этого распылителя дополнительных жидкостных каналов для увеличения количества однотипных или разных (например, вода – керосин) жидкостей, распыляемых одновременно единой газовой струей. Однако применение этого новшества ухудшало стабильность измерений.

В том же году исследовательской лабораторией Philips (Эйндховен, Голландия) предложен боковой окуляр в соответствующем окне корпуса (закрываемом пробкой после настройки) для визуального контроля правильности взаимоположения выходных концов капилляров [36, 51]. В 1981 г. там же был выпущен перекрестный распылитель, капилляры и корпус которого были тефлоновыми [36, 52].

В университете штата Колорадо (США, 1984 г.) пробовали улучшить качество «Эймского» распылителя путем замены стеклянных капилляров карбид-вольфрамовыми (WC) [53–55]. Однако этот твердый материал не стоек к действию смеси плавиковой и азотной кислот, часто применяемой в аналитической химии для растворения проб.

В 1981–1982 гг. испытывали перекрестные распылители с соплами из более инертных к агрессивным средам материалов: сапфира [56] и платино-иридиевого сплава [57]. В 1981 г. распылитель с тефлоновыми капиллярами выпу-

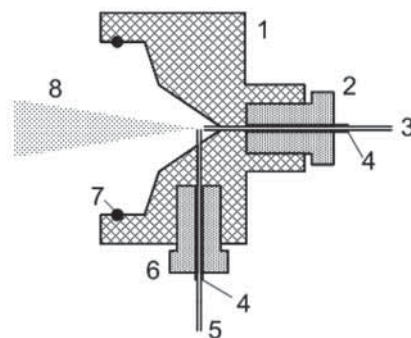


Рис. 2. Схема перекрестного распылителя с регулируемым положением стеклянных газового и жидкостного капилляров [10]: 1 – тефлоновый корпус; 2 – соединительный узел газового капилляра; 3 – газовый капилляр; 4 – защитные стальные трубки; 5 – жидкостной капилляр; 6 – соединительный узел жидкостного капилляра; 7 – уплотнительное кольцо; 8 – аэрозоль

стила корпорация Baird [46]. В США применение полностью тефлонового распылителя датировано 1983 г. [58, 59].

Другим вариантом адаптации прототипа [30] к ИСП-методам (и наиболее близким к нему) явился разборный распылитель (см. рис. 3), созданный в Японии в 1983 г. [12]. Его главные отличия – использование нержавеющей стали для изготовления газового и жидкостного каналов и их сопел, а также не прямой угол встречи взаимодействующих струй.

Оптимальные размеры составили (мм): внутренние диаметры сопел 0,3 для газа и 0,25 для жидкости, просвет между ними 0,1. Распылитель обеспечивал эффективность диспергирования ~1,5 % при жидкостном расходе 1-3 мл/мин и расходе аргона 0,7-1,0 л/мин. Его недостатки – низкая стойкость каналов к химически агрессивным жидкостям и плохая воспроизводимость взаимоположения сопел.

В модернизационном отношении «Эймский» распылитель [10] оказался более плодотворным. Усилия, затраченные на совершенствование его жидкостных и газовых трубок, средств и узлов их крепления, регулирования и фиксации положения в корпусах, а также на выбор и испытание новых конструкционных материалов, форм корпусов и внешних разъемов, закончились выпуском относительно небольших серий распылителей лабораториями Philips [36, 51, 52, 60, 61], Plasma Therm [13, 49, 62-73] и Jarrell-Ash [15, 42, 60, 62, 74-97].

Практика показала, что начальные результаты модернизации оказались недостаточными

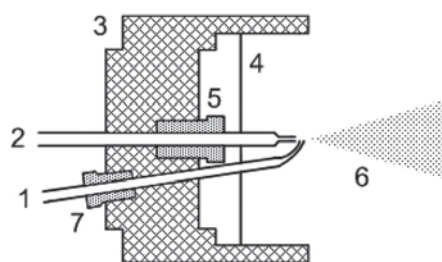


Рис. 3. Схема перекартного распылителя с регулируемым положением газового и жидкостного каналов и непрямым углом встречи взаимодействующих струй [12]: 1 – канал для жидкости; 2 – канал для распыляющего аргона; 3 – чашевидный корпус распылителя, надеваемый на цилиндрический входной порт аэрозольной камеры; 4 – силиконовый вкладыш; 5 – соединительный узел газового канала; 6 – аэрозоль; 7 – соединительный узел жидкостного канала. Узлы 5 и 7 обеспечивали также герметизацию, регулирование и фиксацию позиций каналов 1 и 2

для преодоления так называемой долговременной нестабильности работы разборных распылителей первых поколений. Это характерное для них свойство связано с несовершенством и сложностью фиксирующих систем, подверженностью взаимоположения сопел и расстояния между ними влияниям температуры, состава и свойств жидкостей. Периодически это вызывало необходимость подстройки распылителей, что осложняло работу из-за появления дополнительных затрат труда и времени, а также неудобства выполнения данной процедуры. Поэтому предпочтение пользователей и производителей обсуждаемых устройств постепенно было отдано в пользу более простых в эксплуатации нерегулируемых распылителей с фиксированными формой и взаимоположением сопел.

3. Нерегулируемые распылители

Эволюция представителей этого семейства шла по пути геометрической и функциональной оптимизации конструкций и применения новых материалов с улучшенными свойствами. Среди них известны неразборные, полуразборные и разборные модели. Для ступенчатого изменения производительности распылителей в ряде моделей предусмотрено применение сменных сопел с разными внутренними диаметрами.

3.1. Первые модели

Один из первых (1979 г.) распылителей нерегулируемого типа [13, 98, 99] показан на рис. 4. Это неразборное стеклянное изделие, выполненное с помощью стеклотрувной технологии, разработано в Технологическом институте (Алабама, Джорджия, США).

Фактически данное изделие является распылительной системой, поскольку включает в себя не только распылитель, но и аэрозольную камеру. Система отличается малым объемом аэрозольной камеры и наличием шарикового импактора, очищающего распыл от крупных капель путем отбрасывания их на боковые стенки камеры. Для соединения системы с плазменной горелкой использовали гибкую пластиковую (Tygon) трубку длиной 10 см. Технические характеристики системы: внутренние диаметры сопел: для газа – 0,13 и для жидкости – 0,3 мм; расход аргона 0,6-1,2 л/мин при давлении 138 кПа; расход жидкости 1,2 мл/мин; преобладающий размер капель аэрозоля на выходе из камеры 1-4 мкм. В эксперименте показана устойчивая работа системы в течение 1 ч при распылении раствора, содержащего 20 % NaCl. Описана также рециркуляционная модель такой системы, снабженная емкостью для накопления и повторного

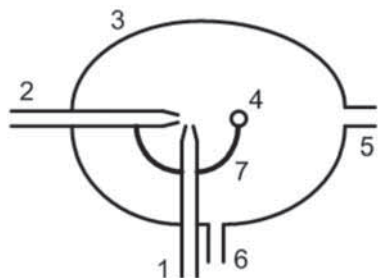


Рис. 4. Схема перекрестного стеклянного распылителя с фиксированным взаимоположением и размерами сопел [13]: 1 – канал введения жидкостей; 2 – канал распыляющего аргона; 3 – овалный корпус; 4 – шариковый импактор; 5 – канал выведения аэрозоля в плазменную горелку; 6 – канал удаления жидкостных остатков в дренаж; 7 – изогнутый стеклянный пруток диаметром 2 мм, соединяющий сопла и импактор друг с другом

использования жидкостных отходов [13] вместо их отвода в дренаж. К недостаткам системы (кроме хрупкости и плохой ремонтпригодности) можно отнести сложность, трудоемкость и длительность ее изготовления ручным способом (пайку тонкостенных трубок при сборке деталей, точную фиксацию их требуемой позиции), что затрудняет получение стандартизованных высококачественных экземпляров, особенно для серийного производства. Систему критиковали также за недостаточную долговременную стабильность работы, предположительно вызываемую вибрацией стеклянных каналов (капилляров) и дрейфом величины межсоплового промежутка (например, при изменении температуры деталей) вследствие недостаточной жесткости изделия.

От большинства этих недостатков избавлена полуразборная распылительная система МАК производства фирмы Sherritt Gordon Mines Ltd., разработанная в 1979 г. и серийно выпускаемая в 1982-1995 гг. [1-3, 16] (см. рис. 5). Свое название система получила от начальных букв фамилий ее разработчиков (Medding, Anderson и Kaiser) [1, 100, 101].

Стеклянный распылитель МАК собран из толстостенных, заостренных на выходе капилляров (один из которых согнут под прямым углом) соединенных между собой коротким толстым стержнем 5. Такое изделие отличается повышенной прочностью, позволяющей поднимать давление распыляющего газа, и увеличенной жесткостью, препятствующей эксплуатационным вибрациям. Для соединения распылителя с корпусом 3 использован шлифовый разъем 4, внутренняя часть которого закреплена на

средней части газового капилляра 2. Шлифовый разъем 6 увеличенного размера соединяет корпус 3 распылителя с аэрозольной камерой 8, отличающейся наличием направляющей (фокусирующей) трубы 9 и стакана с внутренним донным импактором 10, отбрасывающим крупные капли распыла от центра. Этот стакан обеспечивает также двойное изменение траектории мелкодисперсного аэрозоля на периферии выходной части камеры 8, увеличивая тем самым эффективность сепарации капель.

Востребованность МАК ограничилась методом ИСП-АЭС. В частности, им комплектовали спектрометры фирмы Jarrell-Ash ICAP [23, 101]. Распылитель эксплуатировали с расходами жидкости 1,4-2,3 мл/мин и аргона ~0,5-0,9 л/мин при давлении последнего 1400-2070 кПа (на порядок более высоком, чем у обычных распылителей). Эффективность МАК по оценке [63] составила ~2,2 %. Значительных преимуществ по пределам обнаружения эта система не имела. Дополнительные сведения о свойствах и применении МАК приведены в [17, 39, 61, 63, 90, 100-110].

Известно также о другом стеклянном перекрестном распылителе, производимых в те же годы для ИСП-АЭС-спектрометров фирмы Philips [111-115].

Дальнейшее развитие перекрестных распылителей преследовало цели конструкционного, технологического и эксплуатационного

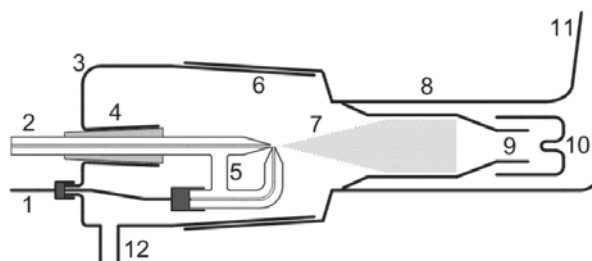


Рис. 5. Схема распылительной системы МАК [1-3, 16, 101]: 1 – жидкостной канал, состоящий из гибкой питающей трубки, толстостенного стеклянного изогнутого капилляра и вспомогательных (соединительных и герметизирующих) деталей; 2 – газовый канал, выполненный из толстостенного стеклянного капилляра; 3 – корпус; 4 – шлифовый конусный разъем распылителя; 5 – толстый стеклянный стержень, связывающий жидкостной и газовый капилляры; 6 – шлифовый конусный разъем аэрозольной камеры; 7 – первичный аэрозоль; 8 – аэрозольная камера; 9 – направляющая труба; 10 – стакан-импактор; 11 – канал выведения мелкодисперсного аэрозоля в плазменную горелку; 12 – канал удаления жидких отходов в дренаж

упрощения, унификации и совершенствования возможностей, специализации по расходным параметрам, повышения прочности и долговечности изделий, использования прогрессивных конструкционных материалов.

3.2. Современные модели

Модернизированный распылитель фирмы Perkin-Elmer существенно отличался от однотипного «Эймского» распылителя [10] исключением стеклянных капилляров, изменением формы и размеров сопел и корпуса, способом их соединения, а также применением нового конструкционного материала – электропроводящего, коррозионностойкого, механически прочного полифениленсульфида с углеродным наполнителем (**Ryton**), использованного для изготовления названных деталей и камеры Скотта. Соплами служили короткие пластиковые трубки-вкладыши (почти одинаковые для жидкости и газа), заостренные на выходе и снабженные кольцевыми выступами на тыловой стороне. Внутренний диаметр заостренной части сопел составлял 0,225 мм [14]. Эти трубки фиксировали в соответствующих по форме и размерам гнездах корпуса усилиями резьбовых фитинговых разъемов, служащих также для присоединения к распылителю гибких шлангов, подводящих жидкость и газ. Для герметизации соединений предусмотрены эластичные кольца, располагаемые по обе стороны кольцевых выступов сопловых трубок. Этот относительно дешевый, простой и надежный распы-

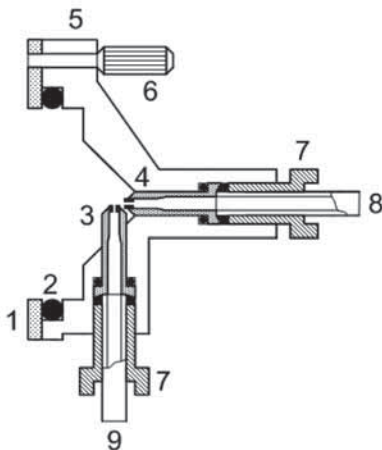


Рис. 6. Схема перекидного распылителя GemTip производства Perkin-Elmer: 1 – прижимное кольцо; 2 – уплотнительное кольцо; 3 – сопловая трубка с сапфировым наконечником для жидкости; 4 – сопловая трубка с рубиновым наконечником для аргона; 5 – корпус с внутренней полостью в виде воронки; 6 – один из двух, симметрично расположенных винтов, прижимающих кольцо 1 к корпусу 5; 7 – фитинг с осевой полостью для размещения питающего шланга; 8 – шланг для подведения аргона; 9 – шланг для подведения жидкости

литель, именуемый Ryton, производили серийно с начала 80 годов прошлого века [14, 116-140]. Его дальнейшее совершенствование завершилось установлением керамических наконечников (снабженных калиброванными осевыми отверстиями) на выходных концах сопел и прижимного кольца с уплотнением на горловине открытой части корпуса. Материалом наконечников для аргонового сопла служил рубин, а для жидкостного – сапфир. Диаметры отверстий составляли: в рубине 0,23, а в сапфире 0,3-0,34 мм. Упомянутое наружное кольцо корпуса с уплотнением, зажимаемым двумя симметрично расположенными винтами, предназначено для облегчения соединения-разъединения распылителя с двухпроходной цилиндрической аэрозольной камерой. Такой распылитель, производимый с начала 90-х годов прошлого века по настоящее время под именем GemTip (см. рис. 6), получил большое распространение в составе ИСП-спектрометров фирмы Perkin-Elmer [141-220]. Новые разновидности этого распылителя получили названия GemTip Cross-Flow II (1996 г.) и GemClean Cross-Flow II (1998 г.). Между собой они отличаются применением пластика **PEEK** (полиэтилэфиркетон) в первом и Ryton во втором случаях для изготовления сменных сопловых трубок. При этом PEEK дает некоторое преимущество в коррозионной стойкости, а Ryton обеспечивает снижение концентрационного фонового эквивалента в методе ИСП-МС. Кроме того, в распылителях упрощен способ присоединения питающих шлангов к сопловым трубкам.

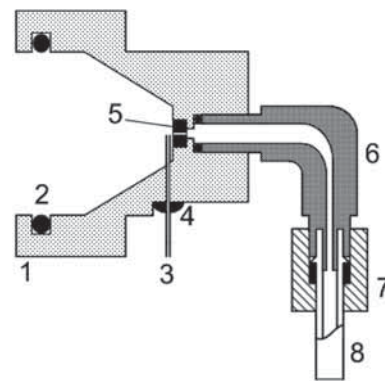


Рис. 7. Схема перекидного распылителя с разнотипными соплами: 1 – пластиковый корпус с воронкообразной внутренней полостью; 2 – уплотнительное кольцо; 3 – металлический жидкостной капилляр; 4 – затвердевшая капля синтетического клея, фиксирующая положение капилляра; 5 – сапфировая таблетка с осевым отверстием; 6 – изогнутая газоподводящая соединительная трубка с наружной резьбой на концах; 7 – колпачок с внутренней резьбой; 8 – шланг для аргона

Другой популярный современный перекрестный распылитель (см. рис. 7) отличается использованием разнотипных сопел: сапфировой таблетки с осевым отверстием для газа, запрессованной в центре дна конической полости корпуса, и бокового капилляра для жидкости, изготовленного из платины (или сплава платины с иридием). Положение последнего фиксировали, например, клеевым способом.

В горловине корпусе распылителя иногда применяют два уплотнительных кольца.

Производством, модернизацией и распространением таких распылителей занимаются фирмы Precision Glassblowing, SCP Science, QC-Tech, CPI International, AHF analysentechnik AG, Analab, Canadian Life Science и Choice Analytical. Ими комплектуют ИСП-спектрометры различных производителей, например: Agilent Technology, Thermo Electron, Spectro Analytical Instruments [24, 26, 221], Jobin Yvon.

Появившиеся позже конструктивно подобные распылители марки X-Flow, разработанные и производимые корпорацией Savillex, отличаются от предыдущих изготовлением всех деталей из химически инертного и эластичного перфторалкоксиэтилена (PFA), отсутствием уплотнительных колец в соединительной горловине корпуса, а также опциональным каналом для введения вспомогательного газа внутрь конической полости корпуса рядом со входом в аэрозольную камеру. С помощью этого канала можно изменять состав и увеличивать скорость транспортирующего газа, поступающего в инжектор плазменной горелки. Распылители выпускают с разной жидкостной производительностью (1,0; 0,4 и 0,1 мл/мин), изменяемой применением сменных сопловых капилляров с разным внутренним диаметром.

Рассмотренные выше перекрестные двухканальные распылители, использующие внешнее воздействие газа на жидкость, как правило, относят к классу стандартных, подразумевая традиционные, наиболее распространенные в ИСП-спектрометрии расходные характеристики (0,7-1,2 л/мин для аргона и 1-3 мл/мин для жидкостей), а также их совместимость с обычными аэрозольными камерами, имеющими наружный диаметр в соединительной части 34-35 мм. В большинстве из них угол встречи исходящих струй жидкости и газа является прямым, что позволяет называть их прямоугольными (ортогональными).

В настоящее время доминирующими среди всех стандартных серийных перекрестных распылителей для ИСП-методов являются изделия, конструктивно близкие к показанным на рис. 6 и 7. Их отличие и возможная модернизация касаются только отдельных деталей, соединительных узлов или конструкционных материалов.

4. Другие разработки

Среди других разработок следует выделить поиск и опробование новых конструкционных схем и миниатюризацию распылителей.

4.1. Распылитель с параллельными внутренними каналами и прямоугольным изгибом жидкостного сопла

В 1987 г. в Австрии предложена новая схема двухканального распылителя с фиксированной сопловой геометрией (см. рис. 8), отличающаяся ствольной формой корпуса, содержащего параллельные газовый и жидкостной каналы, а также прямоугольным изгибом жидкостного сопла в сторону выходного газового отверстия [222]. К сожалению, этот (вызывающий теоретический и практический интерес) экспериментальный распылитель не стал объектом исследований и оптимизации.

Авторы отнесли свой распылитель к Бабингтоновскому [1-8] типу. С этим можно было согласиться в том случае, если бы выходной (направляющий) участок жидкостного канала имел форму просторной щели, открытой не только снизу, но и с боков. К сожалению, подробной геометрической характеристики этого участка в сообщении [222] нет. Однако достаточно реалистичным является предположение, что данный участок имеет форму узкого сопла, например, цилиндрической формы. Тогда, благодаря малости имеющегося междусоплового расстояния и при достаточной узости просвета жидкостного сопла, этот распылитель должен работать как жидкостной насос (за счет эффекта Вентури), что невозможно в схеме Бабингтона. Следовательно, по совокупности главных признаков (предполагаемой способности самостоятельного жидкостного питания и наличия прямого угла между соплами), обсуждаемый распылитель можно считать перекрестным. Существенным преимуществом его конструкции является портативность (соизмеримая с таковой для стандартных концентрических распылителей – Майнхарда и др. [1-3, 223]) и возмож-

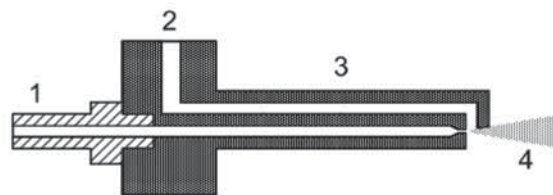


Рис. 8. Схема ствольного распылителя [222]: 1 – газовый канал; 2 – жидкостной канал, 3 – цилиндрический (ствольный) корпус; 4 – первичный аэрозоль

ность присоединения к аэрозольным камерам любого типа благодаря небольшому стандартному диаметру (6 мм) ствола корпуса: его вставляют как пробку в узкие горловины малых камер или в осевое отверстие чашевидного адаптера, надеваемого на вход широкогорлой камеры Скотта. Кроме того, следует отметить простоту конструкции и изготовления, механическую и химическую стойкость, а также долговечность – при использовании подходящей пластмассы в качестве конструкционного материала.

4.2. Распылители для одновременного распыления нескольких жидкостей

Идея одновременного пневматического распыления нескольких жидкостей, подводимых к общей газовой струе под прямым углом посредством группы отдельных сопел или одного общего, была реализована и описана в работах [5, 11, 167, 168, 224-227].

4.2.1. Распылители с несколькими жидкостными соплами

Три варианта многоканальных перекрестных распылителей с двумя или тремя жидкостными соплами описаны в [5, 11, 224-226].

Первый из них, снабженный двумя жидкостными соплами капиллярного типа и предназначенный для одновременного распыления жидкостей с разными свойствами, расходами (0,3-3,0 мл/мин) и целями, работал нестабильно [11].

Опубликованный недавно второй вариант отличался использованием двух жидкостных сопел современного исполнения с внутренним диаметром 0,3 мм, расположенных либо в одну линию (см. рис. 9), либо под прямым углом друг к другу [5, 224, 225]. Внутренний диаметр газового сопла составлял 0,2 мм. Расходные характеристики рас-

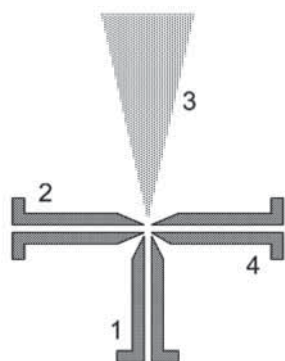


Рис. 9. Схема распылителя с двумя жидкостными соплами, расположенными на одной линии [5, 224, 225]: 1 – газовое сопло; 2 – сопло для введения вспомогательного раствора; 3 – аэрозоль; 4 – сопло для введения анализируемой жидкости

пылителя были близки к стандартным: для аргона 0,7-0,85 л/мин, для жидкостей 0,5-1,1 мл/мин.

Распылитель обеспечивал совместное распыление растворов проб, внутреннего стандарта или добавок для получения градуировочных характеристик. Это уменьшало мешающее матричное влияние проб, в некоторых случаях улучшало точность анализа и упрощало подготовку анализируемых растворов, но не давало превосходства по пределам обнаружения в сравнении с обычным стандартным перекрестным распылителем. Улучшенный дизайн и качество конструкционных материалов данного распылителя обеспечили его преимущество по стабильности работы, например, при анализе растворов масел в керосине.

Третий вариант, отличающийся применением трех капиллярных жидкостных сопел, расположенных в одной плоскости в виде символа Γ (см. рис. 10), нашел применение для генерации гидридов [226].

Капилляры обеспечивали одновременное подведение к газовому соплу трех водных растворов со скоростью 0,5 мл/мин: анализируемого, щелочного гидрирующего (2 г/л NaBH_4 + 0,2 г/л NaOH) и соляной кислоты (0,4 моль/л). Образование гидридов происходило при этом в аэрозольной среде в непрерывном режиме. Приведенные здесь значения расходов и концентраций получены в результате предварительной оптимизации. Воспроизводимость работы данного генератора была не хуже, чем у стандартных концентрического или перекрестного распылителей, а пределы обнаружения были соизмеримы с таковыми для других известных генераторов, в частности [74]. Исследовано также влияние вида кислот (азотной, соляной, серной и уксусной) на качество работы генератора. Плохие результаты, полученные в случае серной кислоты, обусловлены ее высо-

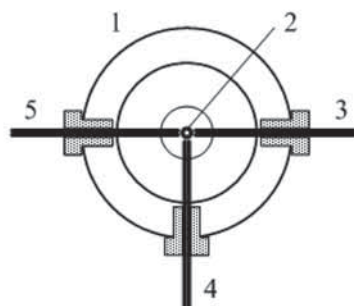


Рис. 10. Схема распылителя с тремя жидкостными соплами [226]: 1 – корпус; 2 – отверстие газового сопла (расход Ar 0,6 л/мин); 3, 4 и 5 – жидкостные сопла с крепежными устройствами

кой вязкостью, а также химическим влиянием. Показано, что присутствие в растворенных пробах L-цистеина снижает мешающее влияние некоторых переходных макроэлементов на процесс гидридообразования.

4.2.2. Распылитель с общим жидкостным соплом

Одновременное распыление двух жидкостей посредством одного сопла описано в работах [167, 168, 227]. Такой распылитель входил в состав генератора гидридов, работающего в стационарном режиме и отличающегося двухканальным потоко-смесительным питанием жидкостного сопла и модифицированной распылительной камерой. Питание жидкостного сопла стандартного перекрестного распылителя GemTip осуществляли посредством системы, составленной из двух концентрических тонких тефлоновых трубок, встроенных в соответствующий канал корпуса (см. рис. 11).

Наружный и внутренний диаметры этих трубок составляли, соответственно, у периферийной – 1,8/1,2 мм, у центральной – 0,88/0,58 мм. Центральная трубка и зазор между ней и окружающей служили индивидуальными каналами для введения двух водных растворов с одинаковой скоростью (0,8 мл/мин): кислого (1 моль/л HCl) анализируемого и щелочного боргидридного (10 г/л NaBH_4 + 1 г/л NaOH), соответственно. По мнению авторов, для смешения и химического взаимодействия каждой порции этих растворов было достаточно небольшой полости (объемом

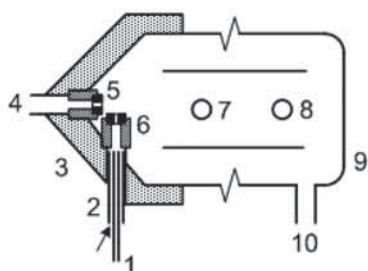


Рис. 11. Схема гидридного генератора с двухканальным питанием жидкостного сопла и модифицированной распылительной камерой [167, 227]: 1 – центральная трубка жидкостного канала; 2 – периферийная трубка жидкостного канала, обеспечивающая образование зазора между ней и трубкой 1; 3 – корпус распылителя; 4 – канал введения распыляющего аргона; 5 – газовое сопло; 6 – жидкостное сопло; 7 – наружный канал выведения гидридов и аэрозоля в плазменную горелку; 8 – наружный канал для введения в генератор вспомогательного аргона; 9 – модифицированная камера Скотта; 10 – канал удаления жидких отходов. Стрелкой показан концентрический зазор между трубками 1 и 2

1,6 мкл), имеющейся перед входом в сопло, и 60 мс времени. Получаемую смесь распыляли аргоном в модифицированную камеру Скотта, отличающуюся наличием смещенного к ее входной горловине канала для выведения содержимого в плазменную горелку и дополнительного канала для введения аргона в камеру, используемого в качестве вспомогательного средства управления ее транспортирующим потоком. Оптимизированные расходы аргона составили: в распылителе 0,2 и в дополнительном канале камеры 0,5 л/мин. При этом генерирование гидридов происходило быстрее образования аэрозоля, поэтому газообразные аналиты более эффективно отделялись от жидкости. Пределы обнаружения As, Se, Sn и Sb методом ИСП-МС с помощью данного генератора составили 0,005-0,01 мкг/л. Рассмотрены также возможности его применения для получения летучих гидридов переходных и благородных химических элементов, а также совмещения с проточно-инжекционным устройством [167, 168, 227].

4.3. Распылители с внутренним введением газа в жидкость

Работа всех рассмотренных выше распылителей основана на внешнем воздействии исходящей из своего сопла газовой струи на подводимую жидкость. Однако известны две конструкции двухканальных перекрестных распылителей с фиксированной геометрией сопловой зоны, отличающиеся внутренним введением газа в жидкость благодаря расположению выходного отверстия газового сопла внутри жидкостного канала вблизи одной из его боковых стенок. Эти распылители описаны в работах [222, 228-230] и схематично показаны на рис. 12.

В случае распылителя А газовое сопло в виде узкой трубки внедрено внутрь и поперек

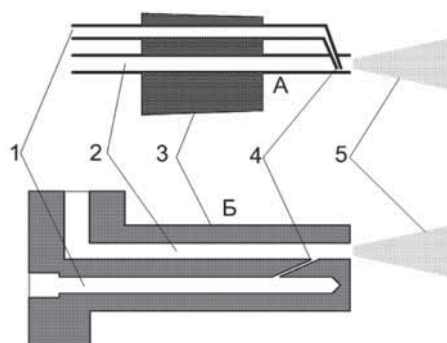


Рис. 12. Схемы перекрестных распылителей с внутренним введением газа в жидкость (соотношение размеров условное): А – распылитель Москаленко [228-230]; Б – австрийский распылитель [222]; 1 – газовый канал; 2 – жидкостной канал; 3 – корпус; 4 – газовое сопло; 5 – аэрозоль

жидкостного канала через его боковую стенку. Выходящий из отверстия сопла (внутренний диаметр $\sim 0,1$ мм) газ направлен на расположенную рядом внутреннюю поверхность стенки жидкостного канала с последующим движением вдоль нее к выходу. В случае распылителя Б газовое сопло представляет собой узкое отверстие (внутренний диаметр $0,15$ мм), соединяющее параллельные газовый и жидкостной каналы. При этом газ стремится от одной внутренней стенки жидкостного канала к противоположной, а затем к выходу. В обоих случаях взаимодействие газа с жидкостью начинается раньше их выхода наружу. В отличие от большинства обычных перекрестных распылителей угол между осями жидкостного и газового сопел здесь не является прямым. Внутренние диаметры жидкостного канала распылителя А (2 мм) и распылителя Б (1 мм) существенно больше обычных. Последнее обеспечивает пригодность данных распылителей для продолжительного диспергирования жидкостей с высокой концентрацией солей (до ~ 200 г/л NaCl [228]). Их другими достоинствами являются простота конструкции и изготовления, компактность и совместимость с аэрозольными камерами разных типов.

4.4. Микрораспылители

Необходимость повышения экономичности обсуждаемых диспергаторов (особенно востребованная в методе ИСП-МС) привела к разработке в Японии в 2000 г. высокоэффективного перекрестного микрораспылителя, обозначенного аббревиатурой **HECFMN** (High-Efficiency Cross-Flow MicroNebulizer) [5, 20, 231, 232]. Этот разборный распылитель, построенный по схеме «Эймского» прототипа [10], отличается следующим. Использован более массивный корпус (с уменьшенным объемом выходной полости), менее подверженный слу-

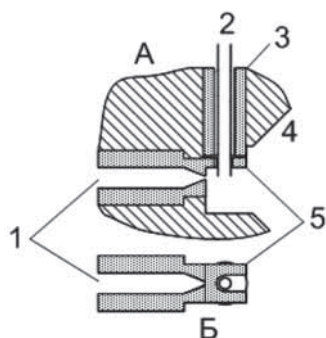


Рис. 13. Устройство дополнительной фиксации взаимоположения сопел распылителя HECFMN [20, 231]: А — вид сбоку; Б — вид снизу; 1 — газовая трубка; 2 — жидкостной капилляр; 3 — защитная трубка; 4 — участок корпуса; 5 — U-образная вилка

чайным колебаниям размеров. Жидкостной капилляр изготовлен из плавящегося кварца и защищен снаружи плотно облегающей плаستيковой (PEEK) трубкой почти на всей длине. Возможность замены капилляра позволяет изменять его внутренний диаметр в пределах $0,03$ - $0,2$ мм. Изготовленная из PEEK газовая трубка в сопловой части имеет необходимое внутреннее сужение. Ее сменное исполнение позволяет менять внутренний диаметр газового сопла в пределах $0,05$ - $0,075$ мм. Жидкостной капилляр и газовая трубка центрируются и удерживаются в соответствующих цилиндрических гнездах корпуса, благодаря надлежащему подбору диаметров, а снаружи зажимаются колпачками, снабженными резьбой. Дополнительным средством фиксации правильного пространственного взаимоположения сопел служит U-образная вилка, расположенная на газовой трубке (см. рис. 13), в значительной мере уменьшающая возможность случайных отклонений жидкостного сопла от правильного положения.

При внутреннем диаметре газового сопла $0,05$ мм и расходе аргона $0,8$ - $1,0$ л/мин распылитель обеспечивал очень экономную жидкостную производительность в пределах $0,005$ - $0,12$ мл/мин. По сравнению со стандартным перекрестным распылителем, HECFMN создавал значительно большую долю мелкодисперсных и однородных по размеру капель, что способствовало значительному повышению транспортной эффективности, достигающей 24 - 95 %. Однако преимущество по чувствительности, пределам обнаружения и стабильности работы при этом было меньше ожидаемого. Собственная жидкостная всасывающая способность распылителя (эффект Вентури) составила для деионизованной воды $\sim 0,009$ мл/мин. Авторы указали на пригодность HECFMN в качестве подключаемого к ИСП-масс-спектрометру интерфейса (с превосходным собственным мертвым жидкостным объемом ~ 65 нл) для микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии и капиллярного электрофореза. Последнее экспериментально подтверждено в работе [232].

Недавно описаны два новых прямоугольных перекрестных микрораспылителя с высокой транспортной эффективностью [233, 234], приспособленные для совместной работы с жидкостными микропоточковыми чипами в качестве интерфейса ИСП-спектрометров и предназначенные для тех же целей, что и в предыдущем случае.

К микрораспылителям относят также изделия X-Flow корпорации Saville с жидкостной производительностью $0,1$ мл/мин.

5. Распылители в качестве объекта и средства исследований

Общие и частные вопросы устройства и работы перекрестных распылителей, образование капель аэрозоля, поведение последних при дальнейшем транспортировании, роль матричных компонентов, а также феноменологическое и формализованное описание главных и сопутствующих процессов и эффектов частично или подробно рассмотрены в многочисленных работах [1-8, 12-20, 28, 35-44, 49-55, 60-70, 78, 79, 84, 89, 90, 95, 99-102, 104-109, 111-113, 116, 118, 119, 121, 122, 127, 132, 135, 141-146, 152-164, 167-170, 177, 197, 202, 224-227, 235-267 и др.]. Обращено внимание на важную роль правильного взаимоположения газового и жидкостного сопел, их внутренних диаметров, размера и формы зоны взаимодействия потоков и их скоростей, состава и свойств распыляемых жидкостей, а также жидкой пленки, образующейся на выходном срезе жидкостного сопла. Все это существенно влияет на спектр размеров получаемых капель аэрозоля, форму аэрозольной струи, а также на стабильность и производительность распыления.

5.1. Образование аэрозоля

Особенности взаимодействия жидкости и газа в перекрестном распылителе упрощенно показаны на рис. 14 [17].

Согласно [17], в точке стагнации 2 происходит резкое торможение части газовой струи прилегающим краем жидкостного сопла, вызывающее там локальное повышение давления и ударную волну, распространяющуюся в исходящих распыляемых порциях жидкости. При этом на противоположной стороне (зона 4) возникает разрежение. Последнее может образовываться также на срезе жидкостного сопла при малом межсопловом расстоянии за счет эффекта Вентури. Судьба капель, показанных на рис. 14, различна и определяется их местонахождением. Повышенное давление вблизи точки 2 вынуждает нижерасположенные капли, оказавшиеся на стенке жидкостного сопла, бесполезно скатываться вниз. Низкое давление на тыловой стороне сопла (зона 4) может притягивать часть подобных капель вверх к жидкой пленке 5, заставляя их участвовать в повторном распылении. Капли, оказавшиеся на газовом сопле, в своем большинстве обречены на постепенное высыхание и образование солевых отложений. Только малая их часть случайно может участвовать в повторном распылении.

Распад исходящей жидкости на мелкие капли (образование первичного аэрозоля) в пневматических распылителях объясняют либо ее колебательным [5, 17], либо трибологиче-

ским [236] поверхностным разрушением газовой струей. При этом жидкость должна поглощать часть кинетической энергии струи и переходить в неустойчивую форму [235], поддающуюся диспергированию вследствие ослабления поверхностного натяжения и уменьшения вязкости.

Первая точка зрения предполагает возникновение в исходящей пленке жидкости хаотических нестабильных волн (длиной ~20 мкм [5]), оканчивающихся соответствующими гребнями, разбиваемыми газовой струей на мелкие капли [17]. В зависимости от величины кинетической энергии струи степень разрушения гребней может быть полной или частичной. В последнем случае аэрозоль образуется только из тонкоразмерных (нитевидных и др.) отщепляющихся фрагментов гребней.

Согласно другому мнению [236], главную роль здесь должно играть трение газовой струи по распыляемой жидкости, достаточное для вытягивания из нее тончайших нитей, распадающихся затем на аэрозольные частицы.

Образование тонкой плоской пленки 5 жидкости (см. рис. 14) вместо выпуклого мениска на выходе из сопла 3 возможно подтверждает и доказывает наличие такого трения, а смещение пленки в направлении движения газа может быть вызвано как трением, так и разни-

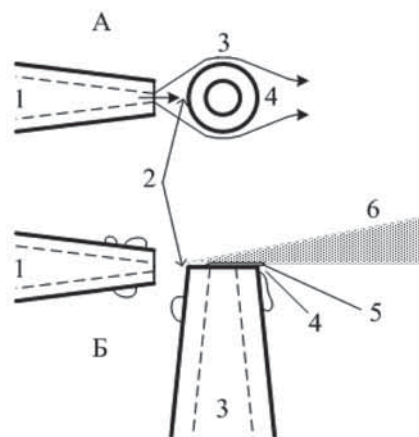


Рис. 14. Схема газо-жидкостного взаимодействия в перекрестном распылителе [17]: А — вид сверху; Б — вид сбоку; 1 — газовое сопло; 2 — точка стагнации (указана стрелками); 3 — жидкостное сопло; 4 — зона пониженного давления и образования вихрей; 5 — тонкая жидкостная пленка на поверхности среза жидкостного сопла, смещаемая в направлении движения газовой струи и постоянно обновляемая из жидкостного канала по мере расходования; 6 — первичный аэрозоль. На виде Б показаны также несколько жидких капель случайного происхождения, оказавшиеся там вследствие сопутствующих вихревых процессов

цей давления на противоположных сторонах жидкостного сопла.

При наличии эффекта Вентури в любом варианте развития событий усматривается важная роль атмосферного разрежения, создаваемого газовой струей на срезе жидкостного сопла, ослабляющего поверхностное натяжение исходящей жидкости и облегчающего тем самым образование аэрозоля.

Эффект Вентури порождает силу, достаточную для движения жидкости внутри соответствующего канала перекрестного распылителя к зоне распыления. Экспериментально установлено, что возникающее при этом падение давления Δp внутри жидкостного канала связано с линейной скоростью распыляющего газа V_g в действующем распылителе простой зависимостью [53]:

$$\Delta p = a + bV_g, \quad (1)$$

где a и b – коэффициенты регрессии.

Зависимость Δp от объемной скорости газа Q_g являются аналогичной. Согласно [53, 54], объемная скорость распыляемой жидкости Q_f связана с линейной V_g или объемной Q_g скоростями распыляющего газа подобными уравнениями:

$$Q_f = a - b/V_g = c - d/Q_g, \quad (2)$$

где a , b , c и d – коэффициенты регрессии.

В 1939 г. Нукияма и Танасава вывели эмпирическое уравнение, связывающее размер получаемых капель аэрозоля со свойствами распыляемых жидкостей и скоростями взаимодействующих потоков [1, 2, 4, 5, 17, 54, 62, 63, 69, 79, 99, 170, 236-240]:

$$d_s = (585/V)(\sigma/\rho)^{0.5} + 597[\eta/(\sigma\rho)^{0.5}]^{0.45}(10^3 Q_f/Q_g)^{1.5} \quad (3)$$

где d_s – средний диаметр капель по Заутеру, выражаемый через отношение объема частицы к ее поверхности [4, 17, 99, 240, 241]; V – разность линейных скоростей потоков газа V_g и жидкости V_f ; σ – поверхностное натяжение; ρ – плотность; η – вязкость; Q_f и Q_g – объемные скорости (расходы) жидкости и газа, соответственно.

Из него следует, что для уменьшения размера частиц первичного аэрозоля полезно увеличение скорости распыляющего газа и плотности жидкости, а также уменьшение ее вязкости и поверхностного натяжения. Уравнение было опробовано в экспериментальных работах [2, 5, 54, 62, 99, 240, 241], показавших его ограниченную применимость для перекрестных распылителей, предназначенных для ИСП, из-за несоответствия расчетных и экспериментальных данных [17, 240, 241]. Например, в работе [240] расчетные d_s оказались намного выше измеренных для любых жидкостей. При этом у спиртов, обладающих низким поверхностным натяжением, d_s получились существенно большими, чем у воды, что противоречит реальности. Это объясняют тем, что уравнение (3) вывели для

других геометрических, размерных и расходных параметров распылителей, в частности, для скорости распыляющего воздуха, существенно меньшей, чем скорость звука, тогда как скорость диспергирующего аргона у ИСП-распылителей близка к звуковой или превосходит ее [17].

Несмотря на попытки создания и усовершенствования [5] математических способов, предпочтение для исследования качества распылов (спектр и величина размеров аэрозольных частиц, их концентрация) чаще отдают экспериментальным методам [17, 54, 55, 62, 64, 99, 240-242].

Дальнейшая судьба первичного аэрозоля, транспортируемого аргоном через сепарационную камеру, зависит от действия множества факторов, рассмотренных в [1, 2, 5, 17, 18, 64, 66, 99, 241]: концентрации частиц, их кинетической энергии, химического состава, размера, массы и электрического заряда; инерции и гравитации, турбулентностей, геометрии и размеров камеры; окружающей температуры, соударений различного типа, нуклеации, коалесценции, распада и испарения капель. При этом главными целями являются не только максимальное устранение крупных капель из аэрозольного потока, но и его стабильность, малозумность и «бесследность» пребывания (минимизация эффекта «памяти»), что существенно зависит от перечисленных факторов, конструкции и материала камеры, а также от свойств аэрозоля.

5.2. Матричные влияния и другие вопросы

Очень актуальными явились исследования, касающиеся матричных спектральных и неспектральных влияний состава, свойств и концентрации распыляемых жидкостей на условия аналитических измерений и их оптимизацию, тесно связанные с практической областью применения перекрестных распылителей и изменением условий их работы при анализе различных жидкостей, эмульсий или суспензий [5]. Объектами исследований были различные растворители, естественные и искусственные растворы различных веществ. Многочисленные работы, выполненные в этой области, позволили выделить наиболее важные аспекты, касающиеся матричных влияний: их тип, количество, происхождение, совместное или индивидуальное, ослабляющее или усиливающее действие, способы изучения, учета, ослабления (устранения) и коррекции. Вклад перекрестных распылителей в эти влияния зависит от степени их чувствительности к различию свойств анализируемых жидкостей, отражающейся в соответствующем изменении качества диспергирования и спектра размеров получаемых аэрозольных частиц.

Влияние минеральных кислот (наиболее распространенных растворителей для множества твердых веществ) на интенсивность сигналов, получаемых в методах ИСП-МС и ИСП-АЭС рассмотрены в [1, 2, 5, 38, 39, 60, 78, 96, 119, 132, 137, 141-144, 170, 242-248]. Это влияние относится к разряду матричных в случае достаточно высокой концентрации кислот в водных растворах и проявляется в ослаблении интенсивности аналитических сигналов. Такое ослабление характеризуется следующим сравнительным рядом: $\text{HCl} < \text{HNO}_3 < \text{HClO}_4 \ll \text{H}_3\text{PO}_4 < \text{H}_2\text{SO}_4$ [2, 60]. При этом рост депрессирующего влияния кислот может сопровождаться ухудшением стабильности сигналов [2]. Кислотное влияние объясняют существенным изменением условий распыления, переноса аэрозоля и его термического преобразования в плазме. Это связывают с повышением вязкости и плотности растворов, содержащих кислоты, а также с более высокой (относительно воды) энергией атомизации кислотных молекул. В результате происходит падение количества аэрозоля, поступающего в плазму, ее температуры, а также концентрации атомов и ионов аналитов. Снижение температуры плазмы подтверждено вычислениями и падением интенсивности сигнала аргона при распылении минеральных кислот [60]. Различие величины эффектов для указанных кислот обусловлено индивидуальностью их свойств. Спектральные помехи, вызываемые кислотами в ИСП-МС, частично рассмотрены в [96].

Значительное внимание уделено условиям анализа множества органических растворителей (солювентов, разбавителей, экстрагентов и элюентов), растворов на их основе, а также соответствующему матричному влиянию. В экспериментах с перекрестными распылителями испытывали метанол [69, 70, 104, 105, 107, 108, 111, 112, 192, 220, 240, 241, 255-259], этанол [69, 104, 111, 112, 146, 147, 239, 249, 250, 255, 259], пропанол [69, 70, 105, 109, 111, 112, 255, 259], изопропанол [71, 156], бутанол [69, 70, 111, 112, 240, 241, 252, 259], пентан и пентанол [69, 70], ацетон [69, 70, 104, 111, 112, 249], ацетонитрил [69, 259], ксилол [56, 69, 70, 72, 79, 104, 105, 107, 111, 112, 115, 251-254], бензол [69, 70, 104, 111, 112], нитробензол [69, 70, 111, 112], хлорбензол [69], толуол [69, 79, 104, 111, 112], керосин [11, 71, 113, 116, 225, 254], тетрагидрид углерода [69, 104, 105, 109, 111, 112], хлороформ [69, 104-108, 115, 155, 156, 252], диэтиловый эфир [69], октан [111, 112], изооктан [69, 104], гептан [69, 70], декан, гексан и циклогексан [69, 70, 111, 112], диоксан [249], дихлорметан [155, 156, 252], этилацетат [69], бутилацетат, метилэтилкетон и метилгексилкетон [111, 112], метилизобутилкетон [35, 36, 69, 71, 104, 260], диметилформамид [69, 104], этиленгликоль [249], глицерин [245, 249,

259], трибутилфосфат [254], уксусную кислоту [104, 111, 112, 243, 259-262] и др.

Обнаружена сильная зависимость поведения этих жидкостей в ИСП от их свойств: поверхностного натяжения, вязкости, плотности и, особенно, летучести [5, 69, 70, 79, 104-108, 111, 112, 240, 241, 249]. С точки зрения последнего свойства достаточно традиционно ведут себя органические жидкости, имеющие температуру кипения $t_{\text{кип}} \geq 118-125^\circ\text{C}$ [111, 112] и выше. Однако из-за меньшего (по сравнению с водой) поверхностного натяжения, получаемый при их распылении аэрозоль отличается пониженным размером частиц (например, в случае уксусной, муравьиной и пропионовой кислот [5, 261]).

Распыление наиболее летучих жидкостей ($t_{\text{кип}} < 100^\circ\text{C}$), отличающихся самым малым поверхностным натяжением, может вызывать нестабильность, неоднородное свечение, падение температуры и гашение плазменного разряда. При этом падает крутизна концентрационных зависимостей, ухудшаются пределы обнаружения. Причиной является генерирование и эффективный перенос в факел плазмы только тонкодисперсного аэрозоля, обогащенного очень большим количеством собственных паров, что создает слишком высокую нагрузку на высокочастотный разряд [5, 111, 112]. Для преодоления этих трудностей рекомендуют следующее: десольватирование первичного аэрозоля [5, 69, 79, 105, 111, 192], повышение мощности плазменного разряда [2, 5, 35, 36, 104, 106, 111, 221, 254], увеличение расходов плазмообразующего и промежуточного потоков аргона [36, 104, 106, 254], ограничения скорости [5, 36, 105, 116, 221, 251] и давления [252] распыляющего аргона, концентрации летучих солювентов в растворах [5, 36, 141, 142, 249, 250] и скорости их введения в распылитель [5, 36, 69, 104, 111], использование проточной инжекции [27, 192, 256, 260] и генераторов ИСП с плавающей частотой вместо фиксированной [7, 250].

Источниками матричных влияний могут быть также растворы (иногда эмульсии и суспензии) других (твердофазных и вязких) органических веществ различного происхождения и назначения, получаемые без деструкции образцов: синтетических и природных комплексообразователей, [72, 103, 135, 155, 163, 164, 216, 218, 244, 263-272], поверхностно-активных веществ [14, 114, 126, 127, 170, 199, 270-276], элементоорганических соединений [277-286], медикаментов [219], дезинфектантов [126], витаминов, сахара и белков, нефти и ее тяжелых фракций [79, 104, 287-289], смазочных [11, 35, 65, 71, 221, 225] и пищевых [169, 220] масел и т.п. К ним можно отнести также естественные биологические жидкости (моча и кровь [15, 33, 34, 72, 126-128, 135, 138, 159, 177, 187, 188, 205,

212, 213, 259, 290-317], молоко [135, 247, 269, 318, 319]), напитки (включая вино [320-330], настойки, чай, кофе [129, 331-333]), водную суспензию полимерных сорбирующих микрочастиц (0,2 мкм) [334]. Наиболее вязкие и плотные жидкости такого типа, во избежание проблем с распылением, целесообразно предварительно разбавлять.

Близким к обсуждаемым является случай анализа чистоты газообразного этилена C_2H_4 [130], вводимого в центральный поток плазменной горелки вместе с аэрозолем градуировочного раствора контролируемых элементов. При этом, как и при распылении органических жидкостей, происходит углеводородное питание аргоновой плазмы, вызывающее аналогичные матричные влияния.

Фоновые помехи, создаваемые в ВЧ разряде органическими жидкостями зависят от их состава и свойств. Молекулярный спектр продуктов плазменного разрушения сольвентов и их интенсивность в ИСП-АЭС характеризуют следующим рядом: $CN \geq C_2 \gg CS > OH > NO > CH > NH \geq CCl$ [69]. В фоновых спектрах ИСП-МС возможно появление мешающих ионов, производных от главных элементов органосодержащих проб (C, H, N, O, S, P, Cl, B, Br, Na, Ca, Mg и др.), и соответствующих матричных влияний [5, 130, 135, 179, 182, 245, 259, 295, 300, 305, 310, 312, 335].

Неспектральное влияние органических веществ тоже зависит от ее состава и концентрации в растворах и проявляется, кроме изменений эффективности распыления и внешнего вида плазмы, в ослаблении или усилении аналитических сигналов [305]. Обнаружена связь этой зависимости с соотношениями числа атомов H:C и C:O в молекулах органических жидкостей [5, 79, 105]. Кроме того, происходящее при этом горение органического вещества сопровождается выделением углерода в виде сажи, оседающей на промежуточной и центральной трубках плазменной горелки [104, 105], а также на поверхности и в канале сэмплера в случае ИСП-МС [256, 258]. Для окислительного избавления от этой сажи используют добавление кислорода в главный или распыляющий поток аргона [5, 36, 104, 105, 130, 221, 258]. В ИСП-МС количество добавляемого O_2 не должно быть большим - во избежание повреждения поверхности сэмплера и роста интенсивности мешающих термостойких оксидных ионов [5]. Другими средствами борьбы с сажой могут быть ускорение главного и вспомогательного потоков аргона в горелке, увеличение мощности высокочастотного разряда [36, 104, 106, 254].

Поступление органического или неорганического (карбонатного) углерода в плазму может порождать соответствующие спектральные

наложения (например, $^{40}Ar^{12}C^+$ на $^{52}Cr^+$ [312, 335], $^{16}O_2^{12}C^+$ на $^{44}Ca^+$ [258]), увеличивать интенсивность ионных (As^+ и Se^+ [258, 259], Be^+ и B^+ [127, 155, 159], $^{79}Br^+$ [293]) и эмиссионных сигналов (Se [245]). Не последнюю роль играют при этом [155, 258] концентрация углерода, скорость распыляющего аргона и мощность высокочастотного разряда. Некоторые сольвенты (особенно бутанол) способны увеличивать летучесть и интенсивность эмиссионного излучения Mo [252]. При распылении растворов кремния в ксилоле, наблюдаемое усиление его эмиссионного сигнала зависит от молекулярной формы Si [251].

Хорошим способом устранения органических помех при анализе соответствующих объектов с широким диапазоном свойств является предварительная, по возможности полная деструкция проб, осуществляемая различными средствами [34, 88, 91, 94, 126, 135, 182, 184, 248, 312, 336-384], а также (в допустимых случаях) испарение сольвентов [385] с последующим кислотно-водным растворением остатков. Полноту устранения органических веществ можно контролировать методом ИСП-АЭС по остаточному количеству углерода в растворах [135].

Важное место среди органоматричных веществ, вводимых в анализируемые растворы и не подлежащих при этом деструкции, занимают сурфактанты (поверхностно-активные вещества) [14, 17, 111, 114, 126, 127, 162, 169, 170, 187, 188, 199, 270-276, 290, 319, 386-389] различного типа: анионные, катионные, неионные и высокомолекулярные. Целями их применения являются: освобождение условий распыления от возможных побочных влияний и их унификация за счет стабилизации вязкости и особенно поверхностного натяжения анализируемых жидкостей [111, 114]; освобождение жидкости, поступающей в распылитель по питающей трубке, от мешающих пузырьков воздуха [14]; обеспечение однородности и стойкости суспензий и эмульсий [162, 169, 276, 386, 387]; использование в качестве матрицы растворов [388]; разбавительное уменьшение вязкости жидкостей [126, 270, 290]; повышение поверхностной смачиваемости деталей (питающих трубок, стенок распылительных камер), контактирующих с жидкостями и аэрозолем [14]; эффективное промывание распылительных систем [126, 127].

Другим важным источником матричных влияний является высокая концентрация солей одного или нескольких элементов [5] в растворах твердых неорганических веществ (металлов, сплавов, керамики, геологических проб и пр.) [13, 32, 37, 39-41, 44, 46, 51, 66, 78, 84, 86, 93, 94, 110, 118-120, 140, 153, 170, 199, 201, 202, 224, 390-411], морских [73, 94, 123, 171, 218, 257, 334, 375, 412-419], минеральных, жестких и шахтных водах, рассолах [31, 419, 420], промышлен-

ных стоках [215, 421-426] и т.п. Неизбежное при этом усложнение эмиссионных спектров дополнительными линиями и соответствующее усиление помех зависит от количества матричных элементов и их индивидуальных свойств. Усложнение спектров ИСП-МС происходит за счет добавления однозарядных ионов изотопов матричных элементов и их малоинтенсивных производных, среди которых главными являются ионы типа CeO^+ и Ce^{2+} [82, 217, 427-429]. Неспектральные матричные солевые эффекты заключаются в преимущественном уменьшении величины сигналов аналитов и возможном ухудшении эффективности распыления [32] как в ИСП-МС, так и в ИСП-АЭС. Простейшим средством борьбы с ними является разбавление жидкостей до приемлемого уровня солевых концентраций (порядка 0,1 г/л для ИСП-МС и 1-10 г/л для ИСП-АЭС). При матричном сочетании солевых и органических компонентов (моча, кровь, молоко, бульоны, отвары, бытовые стоки и т.п.) целесообразно предварительное разложение органических составляющих.

Влияние солевой матрицы в растворах на размер получаемых аэрозольных частиц замечено в работах [54, 55]. Возможной причиной этого называют соответствующее изменение условий транспорта аэрозоля через распылительную камеру [5]. Предсказано уменьшение размера частиц, выходящих из распылительной камеры, в случае роста концентрации солей в растворах [5, 18].

Установлено, что заметная часть различных информационных шумов, появляющихся при работе спектрометров с индуктивно связанной плазмой [2, 46, 49, 50, 52, 95, 105, 108, 132, 152, 358, 430-432], приходится на долю перекрестных распылителей. Эти низкочастотные шумы, возникающие из-за неравномерности прохождения жидкостей (суспензий) через распылители, вибраций жидкостного капилляра, непостоянства геометрии области взаимодействия жидкостей и газа, обратного заброса в эту область капель из аэрозольной струи (вследствие образования вихрей) и их повторного распыления [2, 17], зависят от устройства и качества распылителей, условий их эксплуатации, состава и концентрации жидкостей и могут возрастать при росте концентрации матриц и неоднородности суспензий [2]. Дополнительные шумы могут возникать от пульсаций насосов, обеспечивающих жидкостное питание распылителей.

Еще одной проблемой является нестабильность и дрейф измеряемых сигналов [77, 152, 154, 158, 170, 172, 328, 433, 434], вызываемые иногда ухудшением работы распылителей, особенно при анализе растворов с повышенными

ми концентрацией солей и вязкостью [2, 11-13, 46, 90, 435].

Особую проблему в ИСП-МС составляет аномальное задерживание в распылительных системах с перекрестными распылителями некоторых химических элементов (или их соединений) анализируемых жидкостей (эффект «памяти» [170]), существенно медленнее других поддающихся обычному аэрозольно-жидкостному отмыванию. В результате сигналы этих элементов при распылении чистых растворов долго и значительно превышают слабые фоновые значения, характерные для чистых распылительных систем. В число проблемных элементов входят бор [26, 127, 156, 157, 182, 197, 223, 353], торий [160, 436], селен [259], йод [160, 262, 359, 437], кремний [203], ртуть [126, 130, 177, 209, 438], литий [26], осмий [439], платина и золото [146]. Выполнена оценка этого эффекта для технеция и рения [272], урана [146, 301, 440] и молибдена [252].

В перечисленных здесь публикациях рассмотрены возможные пути борьбы с этим эффектом. Обычно выясняют природу и место локализации эффекта, затем находят подходящее средство для его устранения, например, для подавления излишней летучести аналита или ускорения его отмывания со стенок распылительной системы. В частности, «память» кремния ослабляли предварительной нейтрализацией его плавиковокислых растворов гидроксидом тетраметиламмония [203]. «Память» ртути ослабляли посредством ее амальгамирования золотом, добавляемым к распыляемым растворам в количестве 5 мг/л [438].

Обращено внимание на опасность вирусного инфицирования распылительных систем при анализе зараженных клинических образцов, во избежание которой рекомендовано добавление в распыляемые жидкости специального реагента Virkon [126].

Диагностику и исследование влияний различных матриц и операционных параметров осуществляют,

- во-первых, контролем за совокупными или отдельными изменениями следующих параметров: формы, размеров, структуры и цвета плазменного факела [36, 66, 105-107]; состава спектров [36, 69, 105, 107, 254, 396], в том числе вакуумных ультрафиолетовых, наблюдаемых через сэмплер в ИСП-МС [44]; шумов [2, 17, 49, 50, 105]; сигналов аналитов и неаналитов [36, 40, 41, 44, 68, 69, 78, 79, 82, 83, 110, 116, 118, 132, 147, 170, 201, 202, 245, 249, 252, 258, 259, 300, 305, 396, 441, 442]; отношения интенсивностей ионных и атомных линий в эмиссионных спектрах [79, 106, 107, 202, 251, 443]; размеров аэрозольных частиц [5, 18, 54, 55, 70, 79, 89, 111, 170, 240, 241]; температур, энергий и электрон-

ной плотности в плазме [29, 66, 115, 239, 250]; распределения плазменного потенциала перед сэмплером в ИСП-МС [83];

- во-вторых, с помощью термодинамического моделирования [411].

Накопленный сегодня арсенал средств и способов защиты от индивидуальных и совокупных матричных влияний и проблем, испытанных с помощью перекрестных распылителей, отражен в следующем перечне: правильный выбор наиболее свободных от помех длин волн или изотопов [31, 48, 57, 123, 133, 134, 146, 151, 168, 182, 190, 217, 221, 259, 293, 300, 303-306, 356, 358, 427, 429]; разбавление жидкостей для уменьшения их матричной концентрации, вязкости и поверхностного натяжения [87, 113, 126, 270, 290, 300, 301, 304]; буферирование и стабилизация свойств жидкостей и суспензий [87, 111, 114, 162, 276, 386-388, 444, 445]; уравнивание составов градуировочных и анализируемых растворов [5, 78, 88, 224, 225, 291, 293, 446, 447]; внутренняя стандартизация [77, 78, 130, 132, 151-155, 158, 172, 179, 199, 201, 210, 224, 259, 293, 295, 298, 300, 301, 362, 369, 391, 448, 449]; применение стандартных концентрационных добавок [57, 78, 86, 300, 446, 450]; проточное инжектирование [110, 119, 120, 130, 273, 314, 318, 375, 376, 406, 451-470]; десольватирование аэрозоля [5, 66, 69, 79, 105, 111, 192, 427, 470-474]; применение коллизионно-реакционных ячеек [165, 166, 200, 211, 355, 462, 475-477] и «холодной» плазмы [145, 427, 478]; разделение матриц и аналитов, а также обогащение последних с помощью перевода в летучее состояние [74, 122, 167, 168, 207, 226, 227, 252, 375, 376, 389, 427, 464, 471, 479-495]; устранения матричных компонентов из жидкой фазы растворов [34, 88, 94, 126, 135, 139, 182, 184, 248, 312, 336-384, 460, 496], хроматографии, экстракции, капиллярного электрофореза и других методов [21, 85, 94, 98, 123, 124, 150, 161, 171, 192-196, 207, 209, 218-220, 257, 263, 265-268, 271, 275, 277-286, 297-298, 309, 315, 316, 334-357, 406, 413-417, 468, 497-574]; изотопное разбавление [131, 148, 159, 174, 181, 208, 267, 314, 359, 457, 458, 460, 497, 507, 527, 575-580]; использование спектрометров высокого разрешения [5, 48, 146, 217, 270, 302, 427, 581-585]; согласованная оптимизация мощности высокочастотного разряда и условий работы распылителя [5, 12, 36, 37, 42, 45, 51, 53, 54, 78, 80, 82, 89, 104, 105, 117, 141, 145, 198, 251-254, 258, 261, 269, 295, 306, 358, 405, 432, 443, 456, 457, 478, 586-588]; питание плазменного разряда азотом [43, 67] или смесями аргона с азотом [67, 295, 358], водородом [589], метаном [306], аммиаком [157, 160], кислородом [5, 36, 104, 105, 130, 221, 258]; коррекция спектральных и неспектральных матричных влияний [132, 151, 179, 190, 217, 224, 295, 396, 400, 429, 441, 442, 590, 591].

Режим «холодной» (600 Вт) плазмы, нуждающийся в некотором увеличении (до 1,0-1,1 л/мин) расхода распыляющего аргона, обеспечивает ослабление спектральных помех Ag^+ , ArO^+ и ArH^+ (мешающих определению К, Са и Fe методом ИСП-МС), но находит ограниченное применение, т.к. ухудшает условия одновременного определения трудноионизуемых и слабоионизируемых элементов, способствует образованию мешающих термостойких оксидных ионов и усиливает депрессирующее матричное влияние [145, 427, 478].

Применение азотной или азот-аргоновой плазм сопряжено с необходимостью увеличения мощности высокочастотного разряда и скоростей газовых потоков в горелке, включая распыляющий [43, 67, 295, 358]. Главным положительным эффектом добавления небольшого количества азота в распыляющий аргон явилось улучшение пределов обнаружения и точности измерений аналитов $^{51}\text{V}^+$, $^{53}\text{Cr}^+$, $^{67}\text{Zn}^+$, $^{68}\text{Zn}^+$, $^{75}\text{As}^+$ и $^{77}\text{Se}^+$ в матрицах, содержащих хлор, за счет подавления помех $^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}^+$, $^{37}\text{Cl}^{16}\text{O}^+$, $^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}_2^+$, $^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}^{17}\text{O}^+$, $^{40}\text{ArCl}^{35+}$ и $^{40}\text{ArCl}^{37+}$ в ИСП-МС [295, 358]. Добавление метана (10 мл/мин) во внешний поток аргона плазменной горелки улучшало пределы обнаружения Ge, As и Se тем же методом в моче и сыворотке крови [306]. Введение газообразного аммиака в транспортирующий поток аргона ослабляло эффект «памяти» бора [157], тория и иода [160]. Добавление небольшого количества водорода в аргон стабилизировало плазменный разряд и улучшало пределы обнаружения Fe, Cd, Cr, V, Ni, и Be методом ИСП-АЭС [589]. Роль кислородной добавки к аргону рассмотрена выше и заключается в устранении углеродных влияний и сажевых налетов.

Показано, что применение иона $^{31}\text{P}^{16}\text{O}^+$ вместо $^{31}\text{P}^+$ для определения следов фосфора в тантале методом ИСП-МС может обеспечивать выигрыш в пределе обнаружения, но только при отсутствии азотной кислоты в растворе (во избежание ее помех в форме ионов $^{14}\text{N}^{16}\text{O}^{17}\text{O}^+$ и $^{14}\text{N}^{16}\text{O}_2^+ \text{H}^+$) [558].

Перекрестные распылители пригодились также для исследований работы следующих компонентов ИСП-спектрометров: плазменного факела [51, 66, 75, 83, 109, 115, 239, 250, 592, 593], плазменных горелок [31, 36, 51, 68, 75, 80, 104, 117, 594, 595], индуктора [82], 2-конусного интерфейса [44, 581, 596, 597], детекторов [68, 210, 253, 586, 598], распылительных камер [98, 599, 600] и, наконец, для сравнения альтернативных (конкурирующих) средств введения проб в ИСП [600-619 и др.] (см. табл.) и аналитических методов [2, 5, 9, 19, 20, 41, 45-47, 65, 76, 131, 139, 141, 142, 185, 197, 203, 207, 208, 214-216, 283, 287, 288, 294, 317, 321, 331-333, 342, 343, 349, 350, 352, 354, 359, 365, 366, 370, 372, 377, 379, 388,

Сравнение перекрестных распылителей с альтернативными устройствами

Альтернативное устройство, литература	Главные отличия перекрестных распылителей от альтернативных устройств
Пневматический концентрический распылитель [1-8, 13, 18-21, 32, 39, 42, 49, 53, 61-63, 65, 68, 69, 87-90, 117, 126-128, 142, 146, 153, 156, 170, 197, 200, 207, 211, 222, 223, 240, 245, 251, 264, 271, 277, 284, 288, 343, 388, 412, 422, 428, 430, 437, 473, 498, 500, 505, 544, 571, 576, 595, 598, 601, 602, 607, 616-619, 631, 633, 644, 659, 687]	Менее чувствительны к вариациям скорости транспортирующего аргона, что обеспечивает более устойчивые уровни сигналов и фона. Проигрывают по тонкодисперсности аэрозоля и пределам обнаружения. Немного уступают по расходу распыляющего аргона. Менее уязвимы к засорениям.
Распылитель Бабингтона [1-8, 18, 19, 39, 42, 61, 65, 84, 89, 101, 118, 128, 170, 210, 215, 223, 332, 388, 392, 422, 428, 430, 473, 505, 557, 561, 584, 596, 600-604, 614, 616, 619, 687]	Уступают по максимальной концентрации солей и размеру пропускаемых через сопло взвешенных частиц в растворах, при малом межсопловом расстоянии могут работать без нагнетательных жидкостных насосов. Обеспечивают более тонкодисперсный аэрозоль, превосходят по стабильности работы.
Ультразвуковой распылитель [1-8, 18, 19, 37-39, 44, 49, 65, 73, 193, 202, 210, 223, 251, 277, 351, 360, 361, 390, 424, 449, 481, 498, 505, 545, 584, 601, 602, 605, 632, 684, 687]	Менее зависимы от концентрации солей и жидкостной нагрузки на плазму, проще устроены, более дешевы, не требуют электропитания и десольватации. Менее уязвимы к эффекту «памяти». Уступают по пределам обнаружения. Более экономны по расходу растворов и распыляющего газа.
Высокоэффективный микро-распылитель [19, 20, 223, 277, 606, 618]	Устроены проще, более универсальны, дешевле и долговечнее, менее уязвимы к засорениям и засолениям.
Обычный и высокоэффективный микро-распылители прямого ввода [19-21, 223, 231, 277, 299, 308, 422, 423, 505, 616, 688]	Устроены проще, более универсальны, удобнее в работе, дешевле и долговечнее. Не требуют изменения конструкции плазменных горелок и соединительных адаптеров.
Прочие микрораспылители [6, 19-21, 134, 147, 223, 277, 302, 308, 392, 422-424, 501, 502, 527, 595, 612, 613, 615, 616]	Устроены проще, более универсальны, дешевле.
Электротермический испаритель [207, 223, 276, 307, 333, 372, 421, 464, 488, 492-494, 515, 555, 609-611, 616, 684, 687]	Проще устроены, не требуют электропитания, более дешевы, пригодны для генерации непрерывных сигналов.
Генератор гидридов или других летучих форм [74, 122, 167, 168, 223, 226, 227, 257, 375, 376, 389, 470, 479-491, 684]	Проще по устройству и эксплуатации, дешевле, не требуют дополнительных реагентов для перевода аналитов в летучую форму, не ограничивают число определяемых элементов.
Распылитель Бердженера [20, 223, 277, 600]	Проще по устройству и изготовлению, не нуждаются в повышенном давлении распыляющего газа, уступают по дисперсности распыления, могут работать без жидкостных насосов.
Сеточный распылитель [223, 245]	Проще устроены, более доступны.
Стеклопористый распылитель [18, 223, 602]	Проигрывают по дисперсности аэрозоля и пределам обнаружения, менее пригодны для распыления органических сольвентов, менее зависимы от эффекта памяти.
Виброкапиллярный распылитель [20, 21, 223, 277]	Устроены проще, дешевле, не требуют повышенного давления распыляющего газа, уступают по качеству аэрозоля
Ротационный распылитель [223, 607]	Более портативны, проще устроены, дешевле, не требуют электропитания, уступают по дисперсности распыления.

Гидравлический высокого давления [193, 223]	Устроены проще, стоят дешевле, не требуют десольватации и высокого давления распыляющего газа, менее уязвимы к засорениям, уступают по качеству аэрозоля
Термораспылитель [18, 150, 223]	Устроены проще, не нуждаются в электроэнергии, десольватации и в жидкостных насосах повышенного давления, более стабильны, менее зависят от концентрации солей в растворах, уступают по пределам обнаружения.
Лазерный аблятор [175, 176, 199, 223, 612-614, 632]	Устроены проще, намного дешевле и портативнее, не требуют электропитания, меньше зависят от проблемы стандартных образцов.
Искровой аблятор [495]	Проще по устройству, дешевле, не требуют электропитания, универсальнее

389, 402, 412, 421, 445, 494, 498, 505, 506, 514, 516-524, 532, 535, 544, 550, 555, 557, 570, 573, 579, 584, 600, 609, 611, 613, 616, 619-636].

6. Востребованность перекрестных распылителей

Приведенные выше и дополнительные [637-693] публикации отражают период с начала 70-х годов прошлого века (появление первых аналитических ИСП-приборов) по настоящее время. Этот большой массив данных, взятый из главных, преимущественно зарубежных аналитических журналов и книг, не будучи абсолютно полным, является достаточно представительным для оценки востребованности перекрестных распылителей в рамках разных аспектов обсуждаемой темы, отраженной на следующих рис. 15-17.

Как видно из диаграммы на рис. 15, главными потребителями данных распылителей являются ИСП-МС и ИСП-АЭС. Эти же методы являются преобладающими и конкурирующими по своей распространенности и популярности. При этом первый из них ориентирован преимущественно на пониженный, а второй – на повышенный диапазоны концентраций аналитов в жидкостях.

Диаграмма на рис. 16 показывает доминирование прикладного применения ИСП-

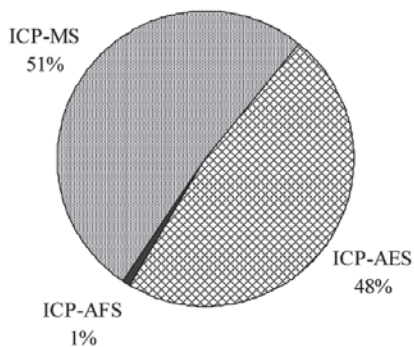


Рис. 15. Востребованность (%) перекрестных распылителей среди ИСП-методов

методов и распылителей (71 %), включая: 57 % – элементный анализ с помощью прямого 1 (48 %) или усложненных 2 (7 %) и 3 (2 %) способов, 4 % – изотопный анализ и 10 % – определение специфических форм элементов (вещественный анализ). Остальное (29 %) приходится на долю научно-технических исследований, отвечающих только потребностям ИСП-методов, связанных с разработкой, модернизацией и работой аппаратуры, распылителей и методик.

Как видно из диаграммы, приведенной на рис. 17, обсуждаемые методы и распылители нашли применение для анализа широкого круга объектов из окружающей среды, флоры и фауны, медицины, геологии, промышленности и быта, представляющих важный интерес для жизни и деятельности человека. Неодинаковая степень внимания к конкретным объектам вы-

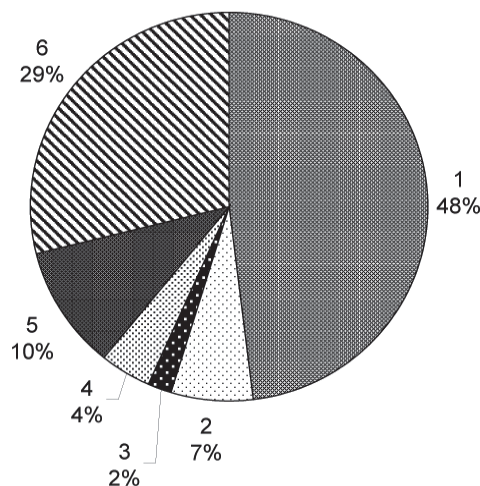


Рис. 16. Востребованность (%) перекрестных распылителей для научных и прикладных целей. Номера секторов обозначают: 1 – элементный анализ, 2 – тоже с предварительным обогащением (разделением), 3 – тоже с изотопным разбавлением, 4 – изотопный анализ, 5 – определение «специй» – индивидуальных форм нахождения элементов в пробах (валентной, молекулярной, размерной), 6 – научные, технические и методические исследования

раженная в % на рис. 17, определялась их соответствующей новизной и актуальностью в то или иное время. В числе объектов повышенного интереса последних 15 лет следует выделить определение специфических форм элементов в различных объектах, что потребовало усложнения входных интерфейсов и увеличения роли различных микрораспылителей для поточного (on-line) последовательного фракционного выделения малых порций индивидуальных форм аналитов перед их распылением в ИСП.

В большинстве использованных публикаций, относящихся к анализу конкретных объектов, приведены соответствующие условия пробоподготовки и, где возможно, освобождения от мешающих компонентов и обогащения аналитов, данные по оптимизации условий распыления получаемых растворов и другие важные подробности, а также установленные уровни концентраций различных элементов, изотопов и их индивидуальных состояний («специй»).

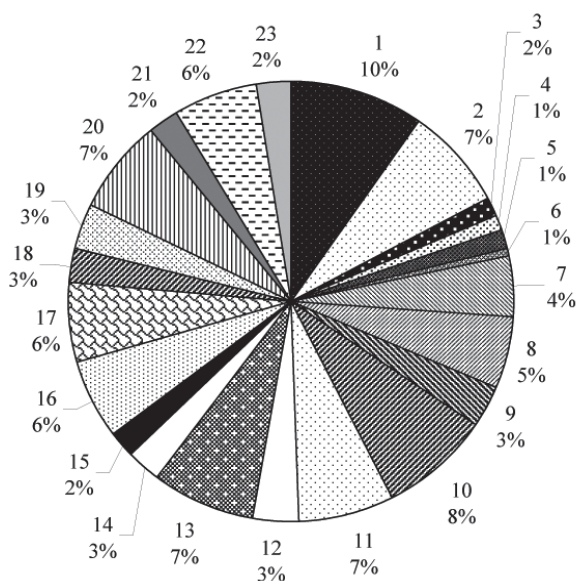


Рис. 17. Участие (%) перекрестных распылителей в анализе различных объектов с помощью ИСП-методов. Номера секторов обозначают: 1 – основные и вспомогательные пищевые продукты, 2 – пресные воды, 3 – молоко, 4 – безалкогольные напитки и сладости, 5 – вино, 6 – фармпродукты, 7 – кровь, 8 – моча, 9 – почвы, 10 – растительные продукты, 11 – биоткани и органы, 12 – морские воды, 13 – геологические пробы, 14 – морские, речные и прочие отложения, 15 – нефтепродукты, 16 – материалы и химпродукты, 17 – металлы и сплавы, 18 – органические кислоты, 19 – минеральные кислоты, 20 – технологические и солевые растворы, 21 – уголь, зола, шлаки и пыль, 22 – органические сольвенты, 23 – стоки, шахтные воды, фекалии

7. Сравнение перекрестных распылителей с альтернативными устройствами

В таблице перечислены публикации, касающиеся применения в каждой из них перекрестных распылителей и альтернативных устройств (АУ) введения образцов в ИСП для анализа одинаковых проб одним или разными методами. Там же даны найденные в литературе важные отличия перекрестных распылителей от АУ, которые в связи с возможной модернизацией сравниваемых устройств могут меняться.

Количественная оценка участия АУ в данном сравнении, отражающая их популярность, доступность и другие показатели, в сжатом виде приведена на рис. 18.

Из этой диаграммы следует, что среди распылителей здесь доминируют серийные стандартные концентрические (28%), Бабингтоновские (16%) и ультразвуковые (14%) как наиболее распространенные и испытанные, выдержавшие испытание временем, обладающие известными неодинаковыми характеристиками и хорошо подходящие на роль критерия. Общее участие (15%) пневматических микрораспылителей здесь довольно внушительное, но из-за разнообразия подвидов доля каждого из них невелика. Электротермические испарители (7%) и генераторы летучих форм аналитов (10%) применялись реже лидирующих устройств, но чаще остальных устройств (в большинстве экспериментальных), расположенных внизу таблицы.

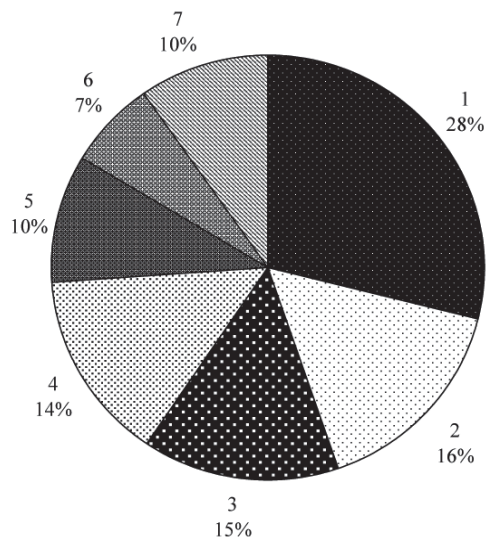


Рис. 18. Участие (%) альтернативных устройств введения проб в ИСП в сравнении с перекрестными распылителями. Номера секторов обозначают: 1 – стандартные концентрические распылители, 2 – распылители Бабингтона, 3 – все виды пневматических микрораспылителей, 4 – ультразвуковые распылители, 5 – генераторы гидридных и других летучих форм аналитов, 6 – электротермические испарители, 7 – прочие устройства (см. таблицу)

8. Заключение

Рассмотрены принципы устройства и работы жидкостных перекрестных распылителей, охарактеризованы их достоинства и недостатки, определены причины их устойчивой популярности, широкой распространенности и высокой востребованности в аналитической спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Обращено внимание на эффективность и полезность применения этих распылителей не только для прикладного анализа, но и для выяснения важных проблемных вопросов, возникающих при использовании ИСП-методов и модернизации соответствующего оборудования.

Работа выполнена при поддержке гранта МНТЦ № 3923.

Автор благодарит Н.И. Москаленко – к.х.н., с.н.с. Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН (Екатеринбург) за обширную информационную помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Inductively coupled plasma mass spectrometry / Ed.: A. Montaser. N.Y.: Wiley-VCH. 1998. 992 p.
2. Чудинов Э.Г. Атомно-эмиссионный анализ с индукционной плазмой. Итоги науки и техники. Сер. Аналит. химия. Том 2. М.: ВИНТИ, 1990. 253 с.
3. Томсон М., Уолш Д.Н. Руководство по спектрометрическому анализу с индуктивно связанной плазмой. М.: Недра, 1988. 288 с.
4. Inductively coupled plasma spectrometry and its applications / Ed.: S.J. Hill. Sheffield: Sheffield Academic Press Ltd. 1999. 372 p.
5. Todoli J.-L., Mermet J.-M. Liquid sample introduction in ICP spectrometry. A practical guide. Amsterdam: Elsevier. 2008. 300 p.
6. Thomas R. A beginner's guide to ICP-MS. Part II: the sample introduction system // Spectroscopy. 2001. V. 16. p. 56-60.
7. Thomas R. Practical guide to ICP-MS. New York: Marcel Dekker. 2004. 317 p.
8. Taylor H.E. Inductively coupled plasma-mass spectrometry: practices and techniques. San Diego: Academic Press, 2001. 295 p.
9. Gaines P. Sample introduction for ICP-MS and ICP-OES // Spectroscopy. 2005. V. 20. P. 17-22.
10. Kniseley R.N., Amenson H., Butler C.C., Fassel V.A. An improved pneumatic nebulizer for use at low nebulizing gas flows // Appl. Spectrosc. 1974. V. 28. P. 285-286.
11. Donohue D.L., Carter J.A. Modified nebulizer for inductively coupled plasma spectrometry // Anal. Chem. 1978. V. 50. P. 686-687.
12. Fujishiro Y., Kubota M., Ishida R. A study of designs of a cross flow nebulizers for ICP atomic emission spectrometry // Spectrochim. Acta. Part B. 1984. V. 39. P. 617-620.
13. Novak J.W., Jr., Lillie D.E., Boorn A.W., Browner R.F. Fixed crossflow nebulizer for use with inductively coupled plasmas and flames // Anal. Chem. 1980. V. 52. P. 576-579.
14. Ivaldi J.C., Slavin W. Cross-flow nebulizers and testing procedures for inductively coupled plasma nebulizers // J. Anal. Atom. Spectrom. 1990. V. 5. P. 359-363.
15. Nixon D.E., Smith G.A. Comparison of Jarrell-Ash and modified Perkin-Elmer nebulizers for inductively coupled plasma analysis // Anal. Chem. 1986. V. 58. P. 2886-2888.
16. Patent US 4344574. Cross-flow nebulizer / Meddings B., Kaiser H. Filed 26.10.1979. Date of patent 17.08.1982.
17. Sharp B.L. Pneumatic nebulizers and spray chambers for inductively coupled plasma spectrometry. A review. Part 1. Nebulizers // J. Anal. Atom. Spectrom. 1988. V. 3. P. 613-652.
18. Sharp B.L. Pneumatic nebulizers and spray chambers for inductively coupled plasma spectrometry. A review. Part 2. Spray chambers // J. Anal. Atom. Spectrom. 1988. V. 3. P. 939-963.
19. Mora J., Maestre S., Hernandez V., Todoli J.L. Liquid-sample introduction in plasma spectrometry // Trend Anal. Chem. 2003. V. 22. P. 123-132.
20. Todoli J.L., Mermet J.M. Sample introduction systems for analysis of liquid microsamples by ICP-AES and ICP-MS // Spectrochim. Acta. Part B. 2006. V. 61. P. 239-283.
21. Kannamkumarath S.S., Wrobel Kat., Wrobel Kaz., B'Hymer C., Caruso J.A. Capillary electrophoresis-inductively coupled plasma-mass spectrometry: an attractive complementary technique for elemental speciation analysis // J. Chromatogr. A. 2002. V. 975. P. 245-266.
22. Музгин В.Н., Емельянова Н.Н., Пупышев А.А. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой – новый метод в аналитической химии // Аналитика и контроль. 1998. № 3-4. С. 3-25.
23. Белянин В.Б., Кудрявцева Т.В. Аналитические приборы на основе индуктивно связанной плазмы // Приборы, средства автоматизации и системы управления. ТС-4. Вып. 5. М.: ЦНИИТЭ-Иприборостр., 1986. 45 с.
24. Шишалова Г.В., Кулакова М.А., Варлашова Е.Е. Опыт применения спектрометра с индуктивно-связанной плазмой *Spectroflame Modula S* для исследования состава реакторных материалов // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7. С. 186-189.
25. Матвеев В.С., Перлина И.Г. Современные методы и технические средства анализа содержания металлов в атмосферном воздухе // Приборы, средства автоматизации и системы управления. ТС-4 «Аналит. приборы и приборы

для научных исследований». М.: ЦНИИТЭИприборостр., 1985. Вып. 2. 53 с.

26. Суриков В.Т., Поляков Е.В. Масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Spectromass-2000: особенности и применение // Аналитика и контроль. 2003. Т. 7. № 2. С. 128-138.

27. Beauchemin D., Gregoire D., Günter D., Karanassios V., Mermet J.-M., Wood T.J. Discrete sample introduction techniques for inductively coupled plasma mass spectrometry. Amsterdam: Elsevier, 2000. 596 p.

28. Slickers K. Automatic atomic-emission-spectroscopy. Giessen: Brühlsche Universitätsdruckerei, 1993. 540 p.

29. Scott R.H., Fassel V.A., Kniseley R.N., Nixon D.E. Inductively coupled plasma-optical emission analytical spectrometry. A compact facility for trace analysis of solutions // Anal. Chem. 1974. V. 46. P. 75-88.

30. Valente S.E., Schrenk W.G. The design and some emission characteristics of an economical dc plasmajet excitation source for solution analysis // Appl. Spectrosc. 1970. V. 24. P. 197-205.

31. Winge R.K., Fassel V.A., Kniseley R.N., DeKalb E., Haas W.J., Jr. Determination of trace elements in soft, hard and saline waters by the inductively coupled plasma, multi-element atomic emission spectroscopic (ICP-AES) technique // Spectrochim. Acta. Part B. 1977. V. 32. P. 327-345.

32. Wemyss R.B., Scott R.H. Simultaneous determination of platinum group metals and gold, in ores and related plant materials by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry // Anal. Chem. 1978. V. 50. P. 1694-1697.

33. Kniseley R.N., Fassel V.A., Butler C.C. Application of inductively-coupled plasma excitation sources to the determination of trace metals in microliter volumes of biological fluids // Clin. Chem. 1973. V. 19. P. 807-812.

34. Lichte F.E., Hopper S., Osborn T.W. Determination of silicon and aluminum in biological matrices by inductively coupled plasma emission spectrometry // Anal. Chem. 1980. V. 52. P. 120-124.

35. Fassel V.A., Peterson C.A., Abercomble F.N., Kniseley R.N. Simultaneous determination of wear metals in lubricating oils by inductively-coupled plasma atomic emission spectrometry // Anal. Chem. 1976. V. 48. P. 516-519.

36. Boumans P.W.J.M., Lux-Steiner M.Ch. Modification and optimization of a 50 MHz inductively coupled argon plasma with special reference to analyses using organic solvents // Spectrochim. Acta. Part B. 1982. V. 37. P. 97-126.

37. Boumans P.W.J.M., De Boer F.J. Studies of a radio frequency inductively coupled argon plasma for optical emission spectrometry-III. Interference effects under compromise conditions for simultaneous multi-element analysis // Spectrochim. Acta. Part B. 1976. V. 31. P. 355-375.

38. Olson K.W., Haas W.J., Fassel V.A. Multielement detection limits and sample nebulization efficiencies of an improved ultrasonic nebulizer and a conventional pneumatic nebulizer in inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry // Anal. Chem. 1977. V. 49. P. 632-637.

39. Fassel V., Bear B.R. Ultrasonic nebulization of liquid samples for analytical inductively coupled plasma-atomic spectroscopy: an update // Spectrochim. Acta. Part B. 1986. V. 41. P. 1089-1113.

40. Larson G.F., Fassel V.A., Scott R.H., Kniseley R.N. Inductively coupled plasma-optical emission analytical spectrometry. A study of some interelement effects // Anal. Chem. 1975. V. 47. P. 238-243.

41. Larson G.F., Fassel V.A. Comparison of interelement effects in a microwave single electrode plasma and in a radiofrequency inductively coupled plasma // Anal. Chem. 1976. V. 48. P. 1161-1166.

42. Maessen F.J.M.J., Coevert P., Balke J. Comparison of pneumatic nebulizers in current use for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // Anal. Chem. 1984. V. 56. P. 899-903.

43. Barnes R.M., Meyer G.A. Low-power inductively coupled nitrogen plasma discharge for spectrochemical analysis // Anal. Chem. 1980. V. 52. P. 1523-1525.

44. LaFreniere B.R., Houk R.S., Fassel V.A. Direct detection of vacuum ultraviolet radiation through an optical sampling orifice: analytical figures of merit for the nonmetals, metalloids, and selected metals by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // Anal. Chem. 1987. V. 59. P. 2276-2282.

45. Montaser A., Fassel V.A. Inductively coupled plasmas as atomization cells for atomic fluorescence spectrometry // Anal. Chem. 1976. V. 48. P. 1490-1499.

46. Demers D.R., Allemand C.D. Atomic fluorescence spectrometry with an inductively coupled plasma as atomization cell and pulsed hollow cathode lamps for excitation // Anal. Chem. 1981. V. 53. P. 1915-1921.

47. Leong M.B., Da'Silva A.P., Fassel V.A. Evaluation of stimulated Raman scattering of tunable dye laser radiation as a primary excitation source for exciting atomic fluorescence in an inductively coupled plasma // Anal. Chem. 1986. V. 58. P. 2594-2598.

48. Edelson M.C., Fassel V.A. Isotopic abundance determinations by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // Anal. Chem. 1981. V. 53. P. 2345-2347.

49. Belchamber R.M., Horlick G. Noise-power spectra of optical and acoustic emission signals from an inductively coupled plasma // Spectrochim. Acta. Part B. 1982. V. 37. P. 17-27.

50. Crain J.S., Houk R.S., Eckels D.E. Noise power spectral characteristics of an inductively coupled plasma mass spectrometer // Anal. Chem. 1989. V. 61. P. 606-612.

51. Boumans P.W.J.M., De Boer F.J. An experimental study of a 1-kW, 51-MHz RF inductively coupled plasma with pneumatic nebulizer, and a discussion of experimental evidence for a non-thermal mechanism // *Spectrochim. Acta. Part B*. 1977. V. 32. P. 365-395.
52. Boumans P.W.J.M., McKenna R.J., Bosveld M. Analysis of the limiting noise and identification of some factors that dictate the detection limits in low-power inductively coupled argon plasma system // *Spectrochim. Acta. Part B*. 1981. V. 36. P. 1031-1058.
53. Skogerboe R.K., Freeland S.J. Experimental characterization of aerosol production, transport, vaporization, and atomization systems. Part I: factors controlling aspiration rates // *Appl. Spectrosc.* 1985. V. 39. P. 916-920.
54. Skogerboe R.K., Freeland S.J. Experimental characterization of aerosol production, transport, vaporization, and atomization systems. Part II: factors controlling aerosol size distributions produced // *Appl. Spectrosc.* 1985. V. 39. P. 920-925.
55. Skogerboe R.K., Freeland S.J. Effects of solution composition on the physical characteristics of aerosols produced by nebulization // *Appl. Spectrosc.* 1985. V. 39. P. 925-930.
56. Smith S.B., Jr., Schleicher R.G., Dennison A.G., McLean G.A. Consideration in the design of sample introduction and plasma generation system for ICP spectroscopy // *Spectrochim. Acta. Part B*. 1983. V. 38. P. 157-163.
57. Schramel P., Li-Qiang X. Determination of beryllium in part-per-billion range in three standard reference materials by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1982. V. 54. P. 1333-1336.
58. Barnes R.M., Mahanti H.S. Analysis of bauxite by inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy // *Spectrochim. Acta. Part B*. 1983. V. 38. P. 193-197.
59. Barnes R.M., Mahanti H.S. An HF-resistant sample introduction system for the inductively coupled plasma // *Appl. Spectrosc.* 1983. V. 37. P. 17-19.
60. Chudinov E.G., Ostroukhova I.I., Varvanina G.V. Acid effects in ICP-AES // *Fresenius Z. Anal. Chem.* 1989. V. 335. P. 25-33.
61. Marichy M., Mermet M., Murillo M., Poussel E., Mermet J.-M. Detection limits scale in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1989. V. 4. P. 209-212.
62. Novak J.W., Browner R.F. Characterization of droplet sprays produced by pneumatic nebulizers // *Anal. Chem.* 1980. V. 52. P. 792-796.
63. Gustavsson A. The determination of some nebulizer characteristics // *Spectrochim. Acta. Part B*. 1984. V. 39. P. 743-746.
64. Borowiec J.A., Boorn A.W., Dillard J.H., Cresser M.S., Browner R.F. Interference effects from aerosol ionic redistribution in analytical atomic spectrometry // *Anal. Chem.* 1980. V. 52. P. 1054-1059.
65. Saba C.S., Rhine W.E., Elsentraut K.J. Efficiencies of sample introduction systems for the transport of metallic particles in plasma emission and atomic absorption spectrometry // *Anal. Chem.* 1981. V. 53. P. 1099-1103.
66. Rybarczyk J.P., Jester C.P., Yates D.A., Koirtjohann S.R. Spatial profiles of interelement effects in the inductively coupled plasma // *Anal. Chem.* 1982. V. 54. P. 2162-2170.
67. Montaser A., Mortazavi J. Optical emission spectrometry with an inductively coupled plasma operated in argon-nitrogen atmosphere // *Anal. Chem.* 1980. V. 52. P. 255-259.
68. Savage R.N., Hieftje G.M. Vaporization and ionization interferences in a miniature inductively coupled plasma // *Anal. Chem.* 1980. V. 52. P. 1267-1272.
69. Boorn A.W., Browner R.F. Effects of organic solvents in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1982. V. 54. P. 1402-1410.
70. Boorn A.W., Cresser M.S., Browner R.F. Evaporation characteristics of organic solvent aerosols used in analytical atomic spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B*. 1980. V. 35. P. 823-832.
71. Kauffman R.E., Saba C.S., Rhine W.E., Eisen-traut K.J. Quantitative multielement determination of metallic wear species in lubricating oils and hydraulic fluids // *Anal. Chem.* 1982. V. 54. P. 975-979.
72. Black M.S., Thomas M.B., Browner R.F. Determination of metal chelates by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and applications to biological materials // *Anal. Chem.* 1981. V. 53. P. 2224-2228.
73. Berman S.S., McLaren J.W., Willie S.N. Simultaneous determination of five trace metals in seawater by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry with ultrasonic nebulization // *Anal. Chem.* 1980. V. 52. P. 488-492.
74. Wolnik K.A., Fricke F.L., Hahn M.H., Caruso J.A. Sample introduction system for simultaneous determination of volatile elemental hydrides and other elements in foods by inductively coupled argon plasma emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1981. V. 53. P. 1030-1035.
75. Genna J.L., Barnes R.M., Allemann C.D. Modified inductively coupled plasma arrangement for easy ignition and low gas consumption // *Anal. Chem.* 1977. V. 49. P. 1450-1453.
76. Nadkarni R.A., Botto R.I., Smith S.E. Comparison of two atomic spectroscopic methods for elemental analysis of geological materials // *Atom. Spectrosc.* 1982. V. 3. P. 180-184.
77. Botto R.I. Long term stability of spectral interference calibrations for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1982. V. 54. P. 1654-1659.

78. Botto R.I. Method for correcting for acid and salt matrix interferences in ICP-AES // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1985. V. 40. P. 397-412.
79. Botto R.I. Matrix interferences in the analysis of organic solutions by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1987. V. 42. P. 181-189.
80. Allemand C.D., Barnes R.M. Experimental study of reduced size inductively coupled plasma torches // *Anal. Chem.* 1979. V. 51. P. 2392-2394.
81. Gray A.L., Date A.R. Inductively coupled plasma source mass spectrometry using continuum flow ion extraction // *Analyst.* 1983. V. 108. P. 1033-1050.
82. Gray A.L. Influence of load coil geometry on oxide and doubly charged ion response in inductively coupled plasma source mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1986. V. 1. P. 247-249.
83. Gray A.L., Houk R.S., Williams J.G. Langmuir probe potential measurements in the plasma and their correlation with mass spectral characteristics in inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1987. V. 2. P. 13-20.
84. Suddendorf R.F., Boyer K.W. Nebulizer for analysis of high salt content samples with inductively coupled plasma emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1978. V. 50. P. 1769-1771.
85. Morita M., Uehiro T. Determination of phosphates by liquid chromatography with inductively coupled argon plasma atomic emission spectrometric detection // *Anal. Chem.* 1981. V. 53. P. 1997-2000.
86. Kalivas J.H., Kowalski B.R. Generalized standard addition method for multicomponent instrument characterization and elimination of interferences in inductively coupled plasma spectrometry // *Anal. Chem.* 1981. V. 53. P. 2207-2212.
87. Layman L.R., Crock J.G., Lichte F.E. Multichannel peristaltic pump with a pneumatic nebulizer for atomic absorption or emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1981. V. 53. P. 747-748.
88. Kuennen R.W., Wolnik K.A., Fricke F.L., Caruso J.A. Pressure dissolution and real sample matrix calibration for multielement analysis of raw agricultural crops by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1982. V. 54. P. 2146-2150.
89. Farino J., Miller J.R., Smith D.D., Browner R.F. Influence of solution uptake rate on signals and interferences in inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1987. V. 59. P. 2303-2309.
90. McGeorge S.W., Salin E.D. The effect of integration time and interval on precision with three pneumatic nebulizers used for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Appl. Spectrosc.* 1985. V. 39. P. 989-993.
91. Schelkoph G.M., Milne D.B. Wet microwave digestion of diet and fecal samples for inductively coupled plasma analysis // *Anal. Chem.* 1988. V. 60. P. 2060-2062.
92. Date A.R., Stuart M.E. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry to the simultaneous determination of chlorine, bromine and iodine in the national bureau of standards standard reference material 1648 urban particulate // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 659-665.
93. Vozzella P.A., Condit D.A. Determination of yttrium in complex nickel-base alloys using microwave dissolution and inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1988. V. 60. P. 2497-2500.
94. Shabani M.B., Montaser A. Sample introduction by on-line two-stage solvent extraction and back-extraction to eliminate matrix interference and to enhance sensitivity in the determination of rare-earth elements with inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Chem.* 1991. V. 63. P. 2099-2105.
95. Ince A.T., Williams J.G., Gray A. Noise in inductively coupled plasma mass spectrometry: some preliminary measurements // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 899-903.
96. Munro S., Ebdon L., McWeeny D.J. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) for trace metal determination in foods // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1986. V. 1. P. 211-219.
97. Dean J.R., Ebdon L., Crews H.M., Massey R.C. Characteristics of flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry for trace metal analysis // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 349-354.
98. Whaley B.S., Snable K.R., Browner R.F. Spray chamber placement and mobile phase flow rate effects in liquid chromatography/inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1982. V. 54. P. 162-165.
99. Browner R.F., Boorn A.W., Smith D.D. Aerosol transport model for atomic spectrometry // *Anal. Chem.* 1982. V. 54. P. 1411-1419.
100. Developments in atomic plasma spectrochemical analysis / Ed. R.M. Barnes. Heyden: London. 1981. 251 p.
101. Marciello L. MAK-100 nebulizer for long-term precision and stability // *Jarrell-Ash Plasma Newslett.* 1983. V. 6. P. 14.
102. Olsen S.D., Strasheim A. Correlation of the analytical signal to the characterized nebulizer spray // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1983. V. 38. P. 973-975.
103. Mitchell J.W., Herring C., Bylina E. Purification of EDTA monitored by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) // *Appl. Spectrosc.* 1984. V. 38. P. 653-660.
104. Ng R.C., Kaiser H., Meddings B. Low power torches for organic solvents in inductively coupled plasma emission spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1985. V. 40. P. 63-72.

105. Weir D.G., Blades M.W. Characteristics of an inductively coupled argon plasma operating with organic aerosols. Part 1. Spectral and spatial observations // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1311-1322.
106. Weir D.G., Blades M.W. Characteristics of an inductively coupled argon plasma operating with organic aerosols. Part 2. Axial spatial profiles of solvent and analyte species in chloroform-loaded plasma // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1323-1334.
107. Weir D.G., Blades M.W. Characteristics of an inductively coupled argon plasma operating with organic aerosols. Part 3. Radial spatial profiles of solvent and analyte species // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 43-52.
108. Weir D.G., Blades M.W. Characteristics of an inductively coupled argon plasma operating with organic aerosols. Part 4. Noise power spectra // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 1011-1018.
109. Weir D.G., Blades M.W. An electronic device for control of solvent-plasma load for inductively coupled plasma spectroscopy // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1990. V. 45. P. 615-618.
110. Horner J.A., Wade A.P., Blades M.W. Automated flow injection evaluation of interferences and matrix effects for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 809-814.
111. Шабанова Л.Н., Бухбиндер Г.Л., Гильберт Э.Н. Анализ органических жидкостей на содержание примесей неорганических элементов атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой // *Высокочастотный индуктивно-связанный плазменный разряд в эмиссионном спектральном анализе / Под ред. Зильберштейна Х.И. Л.: Наука, 1987. С. 114-128.*
112. Шабанова Л.Н., Бухбиндер Г.Л., Гильберт Э.Н. О выборе растворителя для органических проб при прямом анализе атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой // *Ж. аналит. химии.* 1985. Т. 40. С. 1563-1569.
113. Бухбиндер Г.Л., Шабанова Л.Н., Гильберт Э.Н. Прямое атомно-эмиссионное определение неорганических элементов в органических экстрактах с применением индукционной плазмы // *Ж. аналит. химии.* 1984. Т. 39. С. 2120-2125.
114. Шабанова Л.Н., Рожина О.В., Гильберт Э.Н., Бухбиндер Г.Л., Недлер В.В. Применение спектрального метода с высокочастотным индукционным плазменным разрядом для анализа растворов свинцово-цинкового производства // *Заводск. лабор.* 1984. Т. 51. С. 21-26.
115. Nowak S., Van der Mullen J.A.M., Van der Lammeren A.C.A.P., Schram D.C. On the influence of water on the electron density in argon inductively coupled plasma // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1989. V. 44. P. 411-418.
116. Barrett P., Pruszkowska E. Use of organic solvents for inductively coupled plasma analyses // *Anal. Chem.* 1984. V. 56. P. 1927-1930.
117. Carpenter R., Ebdon L. A comparison of inductively coupled plasma torch – sample introduction configurations using simplex optimisation // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1986. V. 1. P. 265-268.
118. Marshall J., Rodgers G., Campbell W.C. Myers-Tracy signal compensation in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry with high dissolved solids solutions // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 241-244.
119. Peng Z., Klinkenberg H., T. Beeren, Van Borm W. Determination of germanium, palladium and platinum in highly concentrated solutions of phosphoric acid and ammonium nitrate by flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry (FI-ICP-MS) // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1991. V. 46. P. 1051-1061.
120. Denoyer E., Stroh A., Lu Q. High sample throughput with rapid microsampling flow injection ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1993. V.14. P. 55-58.
121. Israel Y., Barnes R.M. On-line dilution, steady-state concentrations by tandem injection and merging stream. Application to inductively coupled plasma atomic emission spectrometry sequential multi-element soil analysis // *Analyst.* 1990. V. 115. P. 1411-1417.
122. Molinero A.L., Morales A., Villareal A., Castillo J.R. Gaseous sample introduction for the determination of silicon by ICP-AES // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1997. V. 358. P. 599-603.
123. Yang L., Sturgeon R.E., Lam J.W.H. On-line determination of dissolved phosphate in seawater by ion-exclusion chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 1302-1306.
124. Yang L., Lam J.W.H. Microwave-assisted extraction of bithylltin compounds from PACS-2 sediment for quantitation by high-performance liquid chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 724-731.
125. Denoyer E.R. An evaluation of spectral integration in ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1992. V. 13. P. 93-98.
126. Moreton J.A., Delves H.T. Simple direct method for the determination of total mercury levels in blood and urine and nitric acid digests of fish by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 659-665.
127. Moreton J.A., Delves H.T. Measurement of total boron and ^{10}B concentration and the detection and measurement of elevated ^{10}B levels in biological samples by inductively coupled plasma mass spectrometry using the determination of $^{10}\text{B}:^{11}\text{B}$ ratios // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 1545-1556.
128. Skelly Frame E.M., Uzgiris E.E. Gadolinium determination in tissue samples by inductively coupled

- plasma mass spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry in evaluation of the action of magnetic resonance imaging contrast agents // *Analyst*. 1998. V. 123. P. 675-679.
129. Zhou H., Liu J. The determination of rare earth elements in plant foods by ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1997. V. 18. P. 192-194.
130. Klinkenberg H., Van Borm W., Kip B.J. The continuous on-line monitoring of the trace elemental composition of industrial ethene gas by means of inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B*. 1997. v. 52. p. 1695-1709.
131. Klingbeil P., Vogl J., Pritzkow W., Riebe G., Müller J. Comparative studies on the certification of reference materials by ICPMS and TIMS using isotope dilution procedures // *Anal. Chem.* 2001. V. 73. P. 1881-1888.
132. Garden L.M., Marshall J., Littlejohn D. Correction of mineral acid interferences in inductively coupled plasma optical emission spectrometry on copper and manganese using internal standardization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1991. V. 6. P. 159-163.
133. Carre M., De Rodriguez O.D., Mermet J.-M. Line selection and determination of trace amounts of elements in tungsten by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1991. V. 6. P. 49-55.
134. Ferrero E.J., Posey D. Improving the detection limits for vapor phase decomposition-inductively coupled plasma mass spectrometry (VPD-ICP-MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 1194-1201.
135. Krushevska A., Barnes R.M., Amarasiriwaradana C.J., Foner H., Martines L. Determination of the residual carbon content by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry after decomposition of biological samples // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1992. V. 7. P. 845-850.
136. Nna-Mvondo D., Martin-Redondo M.-P., Martinez-Frias J. New application of microwave digestion-inductively coupled plasma-mass spectrometry for multi-element analysis in komatiites // *Anal. Chim. Acta*. 2008. V. 628. P. 133-142.
137. Homeier E.H., Kot R.J., Bauer L.J., Genualdi J.T. Dissolution of α -alumina for elemental analysis by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 829-834.
138. Chang F.-H., Wang H.-J., Wang S.-L., Wang Y.-C., Hsieh D.P.H., Chang L.W., Ko Y.-C. Survey of urinary nickel in residents of areas with a high density of electroplating factories // *Chemosphere*. 2006. V. 65. P. 1723-1730.
139. Homeier E.H., Bradley S.A., Karasek K.R. Dissolution of sintered silicon nitride bulk specimens for elemental analysis // *J. Mater. Sci.* 1992. V. 27. P. 1231-1234.
140. Coedo A.G., Dorado T. Evaluation of the analytical performance of inductively coupled plasma mass spectrometry for the simultaneous determination of major and minor elements in basic slags // *Microchim. Acta*. 1995. V. 118. P. 75-84.
141. Stewart I.I., Olesik J.W. The effect of nitric acid concentration and nebulizer gas flow rates on aerosol properties and transport rates in inductively coupled plasma sample introduction // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 1249-1256.
142. Stewart I.I. Transient acid effects in inductively coupled plasma optical emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 843-854.
143. Stewart I.I., Olesik J.W. Steady state acid effects in ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 1313-1320.
144. Denoyer E.R., Brückner P., Debrah E. Determination of trace impurities in semiconductor-grade hydrofluoric acid and hydrogen peroxide by ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1995. V. 16. P. 12-15.
145. Tanner S.D., Paul M., Beres S.A., Denoyer E.R. The application of cold plasma conditions for the determination of trace level of Fe, Ca, K, Na and Li by ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1995. V. P. 16-18.
146. Moens L., Vanhaecke F., Riondato J., Dams R. Some figures of merit of a new double focusing inductively coupled plasma mass spectrometer // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1995. V. 10. P. 569-574.
147. Vanhaecke F., Van Holderbeke M., Moens L., Dams R. Evaluation of a commercially available microconcentric nebulizer for inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 543-548.
148. Vanhaecke F., Moens L., Dams R. The accurate determination of copper in two groundwater candidate reference materials by means of high resolution inductively coupled plasma mass spectrometry using isotope dilution for calibration // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 1189-1192.
149. Vanhaecke F., Wannemacker G., Moens L., Hertogen J. The determination of strontium isotope ratios by means of quadrupole-based ICP-mass spectrometry: a geochronological case // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 1691-1696.
150. Saverwyns S., Zhang X., Vanhaecke F., Cornelis R., Moens L., Dams R. Speciation of six arsenic compounds using high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry with sample introduction by thermospray nebulization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 1047-1052.
151. Hu Y., Vanhaecke F., Moens L., Dams R., del Castillo P., Japenga J. Determination of the aqua regia soluble content of rare earth elements in fertilizer, animal fodder phosphate and manure samples using inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Chim. Acta*. 1998. V. 373. P. 95-105.
152. Al-Amman A.S., Barnes R.M. Correction of drift in ICP-OES measurements by internal standardization using spectral lines of the same

- analyte as internal reference // *Atom. Spectrosc.* 1998. V. 19. P. 18-22.
153. Al-Ammar A.S., Gupta R.K., Barnes R.M. Correction of non-spectroscopic matrix effects in inductively coupled plasma-mass spectrometry by common analyte internal standardization // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1999. V. 54. P. 1849-1860.
154. Al-Ammar A.S., Barnes R.M. Improving isotope ratio precision inductively coupled plasma quadrupole mass spectrometry by common analyte internal standardization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 327-332.
155. Al-Ammar A.S., Reitznerová E., Barnes R.M. Feasibility of using beryllium as internal reference to reduce non-spectroscopic carbon species matrix effect in the inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) determination of boron in biological samples // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1999. V. 54. P. 1813-1820.
156. Al-Ammar A., Gupta R.K., Barnes R.M. Elimination of boron memory effect in inductively coupled plasma-mass spectrometry by addition of ammonia // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1999. V. 54. P. 1077-1084.
157. Al-Ammar A.S., Gupta R.K., Barnes R.M. Elimination of boron memory effect in inductively coupled plasma-mass spectrometry by ammonia gas injection into the spray chamber during analysis // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2000. V. 55. P. 629-635.
158. Al-Ammar A., Reitznerová E., Barnes R.M. Improving boron isotope ratio measurement precision with quadrupole inductively coupled plasma-mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2000. V. 55. P. 1861-1867.
159. Al-Ammar A.S., Reitznerová E., Barnes R.M. Determination of boron in biological samples // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2000. V. 244. P. 267-272.
160. Al-Ammar A., Reitznerová E., Barnes R.M. Thorium and iodine memory effects in inductively-coupled plasma mass spectrometry // *Fresenius J. Anal. Chem.* 2001. V. 370. P. 479-482.
161. Al-Ammar A., Siripinyanond A., Barnes R.M. Simultaneous sample preconcentration and matrix removal using field-flow fractionation coupled to inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2001. V. 56. P. 1951-1962.
162. Siripinyanond A., Barnes R.M. Flow field-flow fractionation-inductively coupled plasma mass spectrometry of chemical mechanical polishing slurries // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2002. V. 57. P. 1885-1896.
163. Siripinyanond A., Barnes R.M., Amarasiriwardena D. Flow field-flow fractionation-inductively coupled plasma mass spectrometry for sediment bound trace metal characterization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 1055-1064.
164. Amarasiriwardena D., Siripinyanond A., Barnes R.M. Trace elemental distribution in soil and compost-derived humic acid molecular fractions and colloidal organic matter in municipal wastewater by flow field-flow fractionation-inductively coupled plasma mass spectrometry (flow FFF-ICP-MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 978-986.
165. Koyanagi G.K., Lavrov V.V., Baranov V., Bandura D., Tanner S., McLaren J.W., Bohme D.K. A novel inductively coupled plasma/selected-ion flow tube mass spectrometer for the study of reactions of atomic and atomic oxide ions // *Int. J. Mass Spectrom.* 2000. V. 194. P. L1-L5.
166. Koyanagi G.K., Baranov V., Bandura D., Tanner S. D., Bohme D.K. An inductively coupled plasma/selected-ion flow tube mass spectrometric study of the chemical resolution of isobaric interferences // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 1207-1210.
167. Moor C., Lam J.W.H., Sturgeon R.E. A novel introduction system for hydride generation-inductively coupled plasma mass spectrometry: determination of selenium in biological materials // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 143-149.
168. Moor C., Kobler J. Determination of selenium in sediments by inductively coupled plasma-mass spectrometry: high resolution *versus* hydride generation // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 285-288.
169. Anthemidis A.N., Arvanitidis V., Stratis J.A. On-line emulsion formation and multi-element analysis of edible oils by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Anal. Chim. Acta.* 2005. V. 537. P. 271-278.
170. Wang R., McLaughlin R.L., Brindle I.D. A concentric capillary nebulizer (CCN) for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 1303-1312.
171. Yang L., Sturgeon R.E. On-line determination of silver in sea-water and marine sediment by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 88-93.
172. Yang L., Lam J.W.H., Sturgeon R.E., McLaren J.W. Decomposition of marine sediments for quantitative recovery of chromium and inductively coupled plasma mass spectrometric analysis // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 1245-1248.
173. Yang L., Mester Z., Sturgeon R.E. Comparison of sector field- and quadrupole-ICP-MS for the determination of DBT and TBT in sediment following GC separation // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2003. V. 18. P. 1365-1370.
174. Yang L., Mester Z., Sturgeon R.E. Improvement in measurement precision with SPME by use of isotope dilution mass spectrometry and its application to the determination of tributyltin in sediment using SPME GC-ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 944-949.
175. Yang L., Sturgeon R.E., Mester Z. Dried-droplet laser ablation ICP-MS of HPLC fractions for the determination of selenomethionine in yeast // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2005. V. 20. P. 431-435.
176. Yang L., Sturgeon R.E., Mester Z. Quantitation of trace metals in liquid samples by dried-droplet

laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Chem.* 2005. V. 77. P. 2971-2977.

177. Nixon D.E., Burritt M.F., Moyer T.P. The determination of mercury in whole blood and urine by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1999. V. 54. P. 1141-1153.

178. De Lima E.S., Costa M.F., Pastor A., de la Guardia M. Fast environmental impact assessment through ICP-MS: application to bivalves from a tropical estuary // *Atom. Spectrosc.* 2001. V. 22. P. 405-413.

179. Jitaru P., Tirez K., De Brucker N. Panoramic analysis for monitoring trace metals in natural waters by ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 2003. V. 24. P. 1-10.

180. Tirez K., Berglund M., Seuntjens P., De Brucker N. Total uncertainty budget as method evaluation criterion for the determination of tracer (^{111}Cd) cadmium and indigenous cadmium in soil column effluents with ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 307-314.

181. Tirez K., Seuntjens P., De Brucker N. Full uncertainty calculation on quantitative determination of tracer (^{111}Cd) cadmium and natural cadmium in soil column effluents with ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 1475-1484.

182. Feng X., Wu S., Wharmby A., Wittmeier A. Microwave digestion of plant and grain standard reference materials in nitric and hydrofluoric acids for multi-elemental determination by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 939-946.

183. Rivero-Huguet M., Darre E. Determination of total strontium in uruguayan rice by inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *Atom. Spectrosc.* 2006. V. 27. P. 80-85.

184. Bettinelli M., Spezia S., Minoia C., Ronchi A. Determination of chlorine, fluorine, bromine and iodine in coals with ICP-MS and I.C. // *Atom. Spectrosc.* 2002. V. 23. P. 105-110

185. Bettinelli M., Beone G.M., Baffi C., Spezia S., Nassisi A. Characterization of environmental samples in an ophiolitic area of Northern Italy using ICP-OES, ICP-MS, and XRF // *Atom. Spectrosc.* 2003. V. 24. P. 159-168.

186. Bettinelli M., Spezia S., Minoia C. Analysis of uranium and isotopic ratio measurement in fish and marine invertebrates from North Adriatic Sea by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Rapid Com. Mass. Spectrom.* 2004. V. 18. P. 465-468.

187. Caldwell K.L., Maxwell C.B., Makhmudov A., Pino S., Braverman L.E., Jones R.L., Hollowell J.G. Use of inductively coupled plasma mass spectrometry to measure urinary iodine in NHANES 2000: comparison with previous method // *Clinic. Chem.* 2003. V. 49. P. 1019-1021.

188. Caldwell K.L., Hartel J., Jarrett J., Jones R.L. Inductively coupled plasma mass spectrometry to

measure multiple toxic elements in urine in NHANES 1999-2000 // *Atom. Spectrosc.* 2005. V. 26. P. 1-7.

189. Momen A.A., Zachariadis G.A., Anthemidis A.N., Stratis J.A. Use of fractional factorial design for optimization of digestion procedures followed by multi-element determination of essential and non-essential elements in nuts using ICP-OES technique // *Talanta.* 2007. V. 71. P. 443-451.

190. Wu S., Zhao Y.-H., Feng X., Wittmeier A. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry for total metal determination in silicon-containing solid samples using the microwave-assisted nitric acid - hydrofluoric acid - hydrogen peroxide - boric acid digestion system // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 287-296.

191. Zougagh M., Rudner P.C., de Torres A.G., Cano Pavón J.M. Application of Doehlert matrix and factorial designs in the optimization of experimental variable associated with the on-line preconcentration and determination of zinc by flow injection inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 1589-1594.

192. Brisbin J.A., Caruso J.A. Comparison of extraction procedures for the determination of arsenic and other elements in lobster tissue by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Analyst.* 2002. V. 127. P. 921-929.

193. Falk K., Emons H. Speciation of arsenic compounds by ion-exchange HPLC-ICP-MS with different nebulizers // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 643-649.

194. Sutton K.L., Ponce de Leon A.A., Ackley K.L., Sutton R.M.C., Stalcup A.M., Caruso J.A. Development of chiral HPLC for selenoamino acids with ICP-MS detection: application to selenium nutritional supplements // *Analyst.* 2000. V. 125. P. 281-286.

195. Ponce de Leon C.A., Sutton K.L., Caruso J.A., Uden P.C. Chiral speciation of selenoamino acids and selenium enriched samples using HPLC coupled to ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 1103-1107.

196. B'Hymer C., Caruso J.A. Evaluation of yeast-based selenium food supplements using high-performance liquid chromatography and inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 1531-1539.

197. Probst T.U., Berryman N.G., Lemmen P., Weissfloch L., Auberger T., Gabel D., Carlsson J., Larsson B. Comparison of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry with quantitative neutron capture radiography for the determination of boron in biological samples from cancer therapy // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 1115-1122.

198. Soldevila J.S., El Himri M., Pastor A., de la Guardia M. Evaluation of operational parameters affecting semiquantitative multi-elemental analysis

- by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 803-807.
199. Nölte J., Scheffer F., Mann S., Paul M. The influence of true simultaneous internal standardization and background correction on repeatability for laser ablation and the slurry technique coupled to emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 597-602.
200. Simpson L.A., Thomsen M., Alloway B.J., Parker A. A dynamic reaction cell (DRC) solution to oxide-based interferences in inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) analysis of noble metals // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 1375-1380.
201. Dubuisson C., Poussel E., Mermet J.M. Comparison of ionic line-based internal standardization with axially and radially viewed inductively coupled plasma atomic emission spectrometry to compensate for sodium effects on accuracy // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 1265-1269.
202. Brenner I.B., Zischka M., Maichin B., Knapp G. Ca and Na interference effects in an axially viewed ICP using low and high aerosol loading // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 1257-1264.
203. Yu L.L., Fassett J.D., Lindstrom A.P. Determination of Si in standard reference material SRM 295x silica-on-filter // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2003. V. 18. P. 738-741.
204. Zachariadis G., Dimitrakoudi E., Anthemidis A., Stratis J. Optimized microwave-assisted decomposition method for multi-element analysis of glass standard reference material and ancient glass specimens by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Talanta*. 2006. V. 68. P. 1448-1456.
205. Daftsis E.J., Zachariadis G.A. Analytical performance of a multi-element ICP-AES method for Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni and Pb determination in blood fraction samples // *Microchim. Acta*. 2008. V. 160. P. 405-411.
206. Zachariadis G.A., Anthemidis A.N., Stratis J.A. Evaluation of different calibration methods in inductively coupled plasma atomic emission spectrometric analysis of certified glass materials and archaeological glass specimens // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2003. V.18. P. 358-366.
207. Truscott J.B., Bromley L., Jones P., Hywel Evans E., Turner J., Fairman B. Determination of natural uranium and thorium in environmental samples by ETV-ICP-MS after matrix removal by on-line solid phase extraction // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 627-631.
208. Sturgeon R.E., Willie S.N., Yang L., Greenberg R., Spatz R.O., Chen Z., Scriver C., Clancy V., Lam J.W., Thorrold S. Certification of a fish otolith reference material in support of quality assurance for trace element analysis // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2005. V. 20. P. 1067-1071.
209. Debrah E., Denoyer E.R., Tyson J.F. Flow injection determination of mercury with preconcentration by amalgamation on a gold-platinum gauze by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 127-132.
210. Mermet J.-M., Ivaldi J.C. Real-time internal standardization for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry using a custom segmented-array charge coupled device detector // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P.795-801.
211. De Muyneck D., Cloquet C., Vanhaecke F. Development of a new method for Pb isotopic analysis of archaeological artefacts using single-collector ICP-dynamic reaction cell-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2008. V. 23. P. 62-71.
212. Werner E., Roth P., Wendler I., Schramel P., Hellmann H., Kratzel U. Feasibility of ICP-MS for the assessment of uranium excretion in urine // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1997. V. 226. P. 201-203.
213. Schramel P., Wendler I., Roth P., Werner E. Method for determination of thorium and uranium in urine by ICP-MS // *Microchim. Acta*. 1997. V. 126. P. 263-266.
214. Baffi C., Bettinelli M., Beone G.M., Spezia S. Comparison of different analytical procedures in the determination of trace elements in lichens // *Chemosphere*. 2002. V. 48. P. 299-306..
215. González A.M., Barnes R.M. Comparison of microwave-assisted extraction and waste extraction test (WET) preparation for inductively coupled plasma spectroscopic analyses of waste samples // *Anal. Bioanal. Chem.* 2002. V. 374. P. 255-261.
216. Lustig S., Zang S., Beck W., Schramel P. Dissolution of metallic platinum as water soluble species by naturally occurring complexing agents // *Microchim. Acta*. 1998. V. 129. P. 189-194.
217. Lustig S., Zang S., Michalke B., Schramel P., Beck W. Platinum determination in nutrient plants by inductively coupled plasma mass spectrometry with special respect to the hafnium oxide interference // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1997. V. 357. P. 1157-1163.
218. Daneshvar G., Jabbari A., Yamini Y., Paki D. Determination of uranium and thorium in natural waters by ICP-OES after on-line solid phase extraction and preconcentration in presence of 2,3-dihydro-9,10-dihydroxy-1,4-antracenedion // *J. Anal. Chem.* 2009. V. 64. P. 602-608.
219. Kannamkumarath S.S., Wuilloud R.G., Stalcup A., Caruso J.A., Patel H., Sakr A. Determination of levothyroxine and its degradation products in pharmaceutical tablets by HPLC-UV-ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 107-113.
220. Hovanec B.M. Arsenic speciation in commercially available peanut butter spread by IC-ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 1141-1144.
221. Krengel-Rothensee K., Richter U., Heitland P. Low-level determination of non-metals (Cl, Br, I,

- S, P) in waste oils by inductively coupled plasma optical emission spectrometry using prominent spectral lines in the 130-190 nm range // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 699-702.
222. Steffan I., Vujicic G. A new nebulizer for inductively coupled plasma analysis of solutions with high salt content // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1989. V. 44. P. 229-233.
223. Суриков В.Т. Стандартные концентрические пневматические распылители для аналитической спектроскопии с индуктивно связанной плазмой // *Аналитика и контроль.* 2007. Т. 11, № 4. С. 211-241.
224. Bauer M., Broekaert J.A.C. Investigations on the use of pneumatic cross-flow nebulizers with dual solution loading including the correction of matrix effects in elemental determinations by inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2007. V. 62. P. 145-154.
225. Bauer M., Broekaert J.A.C. The use of dual-channel simultaneous pneumatic nebulization of two non-miscible solutions for the analysis of organic media using aqueous calibration solutions applied to elemental determinations in oils by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2008. V. 23. P. 479-486.
226. Zoltan T., Benzo Z., Murillo M., Marcano E., Gomez C., Salas J., Quintal M. Performance of a new nebulizer system for simultaneous determination of Sb, Sn (hydride generation), V and Zn by ICP-OES // *Anal. Bioanal. Chem.* 2005. V. 382. P. 1419-1430.
227. Pohl P., Prusisz B. Chemical vapor generation of noble metals for analytical spectrometry // *Anal. Bioanal. Chem.* 2007. V. 388. P. 753-762.
228. Суриков В.Т., Москаленко Н.И. Пневматические распылители с внутренним введением газа в жидкость для аналитической спектроскопии с индуктивно связанной плазмой // *Аналитика и контроль.* 2008. Т. 12, № 1-2. С. 11-19.
229. Суриков В.Т., Москаленко Н.И. Пневматические распылители с внутренним введением газа в жидкость для аналитической спектроскопии с индуктивно связанной плазмой // *Тез докл. IV регион. конф. «Пробл. теор. и эксперим. аналит. химии».* Пермь. 2008. С. 70.
230. Суриков В.Т., Москаленко Н.И. Пневматические распылители с внутренним введением газа в жидкость для аналитической спектроскопии с индуктивно связанной плазмой // *Матер. VIII Научн. конф. «Аналитика Сибири и Дальнего востока».* Томск. 2008. С. 102-103.
231. Li J., Umemura T., Odake T., Tsunoda K. A high efficiency cross-flow micronebulizer for inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Chem.* 2001. V. 73. P. 1416-1424.
232. Li J., Umemura T., Odake T., Tsunoda K. A high-efficiency cross-flow micronebulizer interface for capillary electrophoresis and inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Chem.* 2001. V. 73. P. 5992-5999.
233. Hui A.Y.N., Wang G., Lin B., Chan W.-T. Interface of chip-based capillary electrophoresis-inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (CE-ICP-AES) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2006. V. 21. P. 134-140.
234. Pearson G., Greenway G. A highly efficient sample introduction system for interfacing microfluidic chips with ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2007. V. 22. P. 657-662.
235. Береснев С.А., Грязин В.И. Физика атмосферных аэрозолей. Курс лекций. Екатеринбург: Изд. УрГУ, 2008. 227 с.
236. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкостей. М.: Химия. 1979. 216 с.
237. Kranz E. Untersuchungen über die optimale Erzeugung und Förderung von Aerosolen für spektrochemische Zwecke // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1972. V. 27. P. 327-343.
238. Gustavsson A. A review of the theory of flow processes of compressible and incompressible media in nebulizers // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1983. V. 38. P. 995-1003.
239. McCrindle R.I., Rademeyer C.J. Electron density and hydrogen distribution in an ethanol-loaded inductively coupled plasma // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1087-1091.
240. Canals A., Hernandis V., Browner R.F. Experimental evaluation of the Nukiyama-Tanasawa equation for pneumatic nebulizers used in plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1990. V. 5. P. 61-66.
241. Canals A., Hernandis V., Browner R.F. Evolution of drop size distributions for pneumatically generated aerosols in inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1990. V. 45. P. 591-601.
242. Mandiwana K.L. Physical interferences by mineral acids in ICP-OES // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 1405-1407.
243. Yoshimura E., Suzuki H., Yamazaki S., Toda S. Interference by mineral acids in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Analyst.* 1990. V. 115. P. 167-171.
244. Packer A.P., Mattiazzo M.E. Influence of organic and inorganic acids commonly used in soil extraction and digestion procedures in the determination of elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *Atom. Spectrosc.* 2007. V. 28. P. 129-136.
245. Machat J., Otruba V., Kanicky V. Spectral and non-spectral interferences in the determination of selenium by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 1096-1102.
246. Mermet J.M. Trends in instrumentation and data processing in ICP-AES // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 1065-1071.

247. Krushevskaja A., Kotrebaj M., Lászity A., Barnes R.M., Amarasiriwardena D. Application of tertiary amines for arsenic and selenium signal enhancement and polyatomic interference reduction in ICP-MS analysis of biological samples // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1996. V. 355. P. 793-800.
248. Falciani R., Novaro E., Marchesini M., Gucciardi M. Multi-element analysis of soil and sediment by ICP-MS after a microwave assisted digestion method // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 561-565.
249. Todorovic M., Vidovic S. Effect of aqueous organic solvents on the determination of trace elements by flame atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 1113-1116.
250. McCrindle R.I., Rademeyer C.J. Excitation temperature and analytical parameters for an ethanol-loaded inductively coupled plasma atomic emission spectrometer // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1995. V. 10. P. 399-404.
251. Sánchez R., Todolí J.-L., Lienemann C.-P., Mermet J.-M. Effect of silicon chemical form on the emission intensity in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry for xylene matrices // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2009. V. 24. P. 391-401.
252. Sanz-Medel A., Uria J.E.S., Jimeno S.A. Enhancement of molybdenum inductively coupled plasma emission by forming volatile species in organic solvents // *Analyst.* 1985. V. 110. P. 563-569.
253. Chirinos J., Fernandez A., Franquiz J. Multi-element optimization of the operating parameters for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry with a charge injection device detector for the analysis of samples dissolved in organic solvents // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 995-1000.
254. Ilić Z., Milonjić S., Čomor J. Determination of uranium in organic solution by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1992. V. 158. P. 23-30.
255. Dressler V.L., Pozebon D., Curtius A.J. Introduction of alcohols in inductively coupled plasma mass spectrometry by a flow injection system // *Anal. Chim. Acta.* 1999. V. 379. P. 175-183.
256. Dressler V.L., Pozebon D., Curtius A.J. Determination of heavy metals by inductively coupled plasma mass spectrometry after on-line separation and preconcentration // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1998. V. 53. P. 1527-1539.
257. Seibert E.L., Dressler V.L., Pozebon D., Curtius A.J. Determination of Hg in seawater by inductively coupled plasma mass spectrometry after on-line pre-concentration // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2001. V. 56. P. 1963-1971.
258. Larsen E.H., Stürup S. Carbon-enhanced inductively coupled plasma mass spectrometric detection of arsenic and selenium and its application to arsenic speciation // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1099-1105.
259. Gammelgaard B., Jons O. Determination of selenium in urine by inductively coupled plasma mass spectrometry: interferences and optimization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 867-874.
260. Siles Cordero M.T., Vereda Alonso E.I., De Torres A.G., Cano Pavón J.M. On-line separation and sequential determination of trace amounts of heavy metals in biological materials by flow injection inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 107-110.
261. Dubisson C., Poussel E., Mermet J.-M., Todoli J.L. Comparison of the effect of acetic acid with axially and radially viewed inductively coupled plasma atomic emission spectrometry: influence of the operating conditions // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 63-67.
262. Ackley K.L., Day J.A., Sutton K.L., Caruso J.A. Investigation of problems with the determination of iodine in glacial acetic samples using flow injection analysis-inductively coupled plasma-mass spectrometry // *Anal. Commun.* 1999. V. 36. P. 295-298.
263. Roncevic S., Steffan I. Characterisation of hyphenated HPIC/ICP-OES system response for iron speciation in natural water // *Atom. Spectrosc.* 2004. V. 25. P. 125-132.
264. Ronéviæ S., Steffan I. Study of the effects of pyridine-2,6-dicarboxylic acid solution introduction into the ICP-OES using pneumatic nebulizers // *Atom. Spectrosc.* 2002. V. 23. P. 24-31.
265. Helfrich A., Bettmer J. Determination of phytic acid and its degradation products by ion-pair chromatography (IPC) coupled to inductively coupled plasma-sector field-mass spectrometry (ICP-SF-MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 1330-1334.
266. Rottmann L., Heumann K.G. Determination of heavy metal interactions with dissolved organic materials in natural aquatic systems by coupling a high-performance liquid chromatography system with an inductively coupled plasma mass spectrometer // *Anal. Chem.* 1994. V. 66. P. 3709-3715.
267. Rottmann L., Heumann K.G. Development of an on-line isotope dilution technique with HPLC/ICP-MS for the accurate determination of elemental species // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1994. V. 350. P. 221-227.
268. Heumann K.G., Rädlinger G., Erbes M., Heiber I., Obst U., Filip Z., Claus H. Ageing of dissolved halogenated humic substances and the microbiological influence on this process // *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 2000. V. 28. P. 193-201.
269. Krushevskaja A., Lászity A., Kotrebaj M., Barnes R.M. Addition of tertiary amines in the semiquantitative, multi-element inductively coupled plasma mass

- spectrometric analysis of biological materials // J. Anal. Atom. Spectrom. 1996. V. 11. P. 343-352.
270. Case C.P., Ellis L., Turner J.C., Fairman B. Development of a routine method for the determination of trace metals in whole blood by magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometry with particular relevance to patients with total hip and knee arthroplasty // Clinical Chem. 2001. V. 47. P. 275-280.
271. Simitchiev K., Stefanova V., Kmetov V., Andreev G., Kovachev N., Canals A. Microwave-assisted cloud point extraction of Rh, Pd and Pt with 2-mercaptobenzothiazole as preconcentration procedure prior to ICP-MS analysis of pharmaceutical products // J. Anal. Atom. Spectrom. 2008. V. 23. P. 717-726.
272. Richter R.C., Koirtzohann S.R., Jurisson S.S. Determination of technetium-99 in aqueous solutions by inductively coupled plasma mass spectrometry: effects of chemical form and memory // J. Anal. Atom. Spectrom. 1997. V. 12. P. 557-562.
273. Lorber A., Karpas Z., Halicz L. Flow injection method for determination of uranium in urine and serum by inductively coupled plasma mass spectrometry // Anal. Chim. Acta. 1996. V. 334. P. 295-301.
274. Yan Z.Y., Zhang W. Mechanism of surfactant effect in flame and plasma atomic spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 1989. V. 4. P. 797-799.
275. Liang P., Li J. Speciation of chromium with cloud point extraction separation and determination by ICP-OES // Atom. Spectrosc. 2005. V. 26. P. 89-93.
276. Torrence K.M., McDaniel R.L., Self D.A., Chang M.J. Slurry sampling for the determination of arsenic, cadmium, and lead in mainstream cigarette smoke condensate by graphite furnace-atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma-mass spectrometry // Anal. Bioanal. Chem. 2002. V. 372. P. 723-731.
277. Prange A., Pröfrock D. Application of CE-ICP-MS and CE-ESI-MS in metalloproteomics: challenges, developments, and limitations // Anal. Bioanal. Chem. 2005. V. 383. P. 372-389.
278. Dean J.R., Munro S., Ebdon L., Crews H.M., Massey R.C. Studies of metalloprotein species by directly coupled high-performance liquid chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 1987. V. 2. P. 607-610.
279. Spall W.D., Lynn J.G., Andersen J.L., Valdez J.G., Gurley L.R. High-performance liquid chromatographic separation of biologically important arsenic species utilizing on-line inductively coupled argon plasma atomic emission spectrometric detection // Anal. Chem. 1986. V. 58. P. 1340-1344.
280. Morita M., Ushiro T., Fuwa K. Speciation and elemental analysis of mixtures by high performance liquid chromatography with inductively coupled argon plasma emission spectrometric detection // Anal. Chem. 1980. V. 52. P. 349-351.
281. Olivas R.M., Donard O.F.X., Gilon N., Potin-Gautier M. Speciation of organic selenium compounds by high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry in natural samples // J. Anal. Atom. Spectrom. 1996. V. 11. P. 1171-1176.
282. Crews H.M., Clarke P.A., Lewis D.J., Owen L.M., Strutt P.R. Investigation of selenium speciation in *in vitro* gastrointestinal extracts of cooked cod by high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry and electrospray mass spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 1996. V. 11. P. 1177-1182.
283. Amoako O.O., Kahakachchi C.L., Dodova E.N., Uden P.C., Tyson J.F. Speciation, quantification and stability of selenomethionine, S-(methylseleno) cysteine and selenomethionine Se-oxide in yeast-based nutritional supplements // J. Anal. Atom. Spectrom. 2007. V. 22. P. 938-946.
284. Wahlen R., McSheehy S., Scriver C., Mester Z. Arsenic in marine certified reference materials. Part 2. The quantification of water-soluble arsenic species by high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 2004. V. 19. P. 876-882.
285. Kohlmeyer U., Kuballa J., Jantzen E. Simultaneous separation of 17 inorganic and organic arsenic compounds in marine biota by means of high-performance liquid chromatography/inductively coupled plasma mass spectrometry // Rapid Commun. Mass Spectrom. 2002. V. 16. P. 965-974.
286. Bissen M., Frimmel F.H. Speciation of As(III), As(V), MMA and DMA in contaminated soil extracts by HPLC-ICP/MS // Fresenius J. Anal. Chem. 2000. V. 367. P. 51-55.
287. Bettinelli M., Spezia S., Baroni U., Bizzarri G. The use of reference materials in the fossil fuels quality control // Microchim Acta. 1996. V. 123. P. 217-230.
288. Ulrich A., Wichser A. Analysis of additive metals in fuel and emission aerosols of diesel vehicles with and without particle traps // Anal. Bioanal. Chem. 2003. V. 377. P. 71-81.
289. De Souza R.M., Saraceno A.L., Da Silveira C.L.P., Aucélio R.Q. Determination of trace elements in crude oil by ICP-OES using ultrasound-assisted acid extraction // J. Anal. Atom. Spectrom. 2006. V. 21. P. 1345-1349.
290. Sieniawska C.E., Mensikov R., Delves H.T. Determination of total selenium in serum, whole blood and erythrocytes by ICP-MS // J. Anal. Atom. Spectrom. 1999. V. 14. P. 109-112.
291. Delves H.T., Sieniawska C.E. Simple method for the accurate determination of selenium in serum by using inductively coupled plasma mass

- spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 387-389.
292. Delves H.T., Sieniawska C.E., Fell G.S., Layon T.D.B., Dazateux C., Cullen A., Variend S., Bonham J.R., Chantler S.M. Determination of antimony in urine, blood and serum and in liver and lung tissues of infants by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Analyst.* 1997. V. 122. P. 1323-1329.
293. Lyon T.D.B., Robin P.A., Watson W.S., Littlejohn D. Determination of elevated concentrations of bromine in serum by ICP-MS and ICP-OES // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2005. V. 20. P. 757-759.
294. Bamiro F.O., Littlejohn D., Marshall J. Determination of copper in blood serum by direct current plasma and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 279-284.
295. Amarasiriwardena C.J., Lupoli N., Potula V., Korrick S., Hu H. Determination of the total arsenic concentration in human urine by inductively coupled plasma mass spectrometry: a comparison of the accuracy of three analytical methods // *Analyst.* 1998. V. 123. P. 441-445.
296. Wang J., Hansen E.H., Gammelgaard B. Flow injection on-line dilution for multi-element determination in human urine with detection by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Talanta.* 2001. V. 55. P. 117-126.
297. Pan F., Tyson J.F., Uden P.C. Simultaneous speciation of arsenic and selenium in human urine by high-performance liquid chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2007. V. 22. P. 931-937.
298. Larsen E.H., Pritzl G., Hansen S.H. Speciation of eight arsenic compounds in human urine by high-performance liquid chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometric detection using antimonate for internal chromatographic standardization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 557-563.
299. Szpunar J., Bettmer J., Robert M., Chassaing H., Cammann K., Lobinski R., Donard O.F.X. Validation of the determination of copper and zinc in blood plasma and urine by ICP-MS with cross-flow and direct injection nebulization // *Talanta.* 1997. V. 44. P. 1389-1396.
300. Hsiung C.-S., Andrade J.D., Costa R., Ash K.O. Minimizing interferences in the quantitative multielement analysis of trace elements in biological fluids by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Clinical Chem.* 1997. V. 43. P. 2303-2311.
301. Caddia M., Iversen B.S. Determination of uranium in urine by inductively coupled plasma mass spectrometry with pneumatic nebulization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 309-313.
302. Pappas R.S., Ting B.C., Jarrett J.M., Paschal D.C., Caudill S.P., Miller D.T. Determination of uranium-235, uranium-238 and thorium-232 in urine by magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 131-134.
303. Iversen B.S., Menne C., White M.A., Kristiansen J., Christensen J.M., Sabbioni E. Inductively coupled plasma mass spectrometric determination of molybdenum in urine from a Danish population // *Analyst.* 1998. V. 123. P. 81-85.
304. Minoia C., Gatti A., Aprea C., Ronchi A., Sciarra G., Turci R., Bettinelli M. Inductively coupled plasma mass spectrometric determination of molybdenum in urine // *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 2002. V. 16. P. 1313-1319.
305. Park K.-S., Kim S.-T., Kim Y.-M., Kim Y., Lee W. The matrix effect of biological concomitant elements on the signal intensity of Ge, As and Se in inductively coupled plasma/mass spectrometry // *Bull. Korean Chem. Soc.* 2002. V. 23. P. 1389-1393.
306. Park K.-S., Kim S.-T., Kim Y.-M., Kim Y., Lee W. Application of methane mixed plasma for the determination of Ge, As, and Se in serum and urine by ICP/MS // *Bull. Korean Chem. Soc.* 2003. V. 24. P. 285-290.
307. Schramel P., Wendler I., Lustig S. Capability of ICP-MS (pneumatic nebulization and ETV) for Pt-analysis in different matrices at ecologically relevant concentrations // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1995. V. 353. P. 115-118.
308. Sun Y.C., Lee Y.S., Shiah T.L., Lee P.L., Tseng W.C., Yang M.H. Comparative study on conventional and low-flow nebulizers for arsenic speciation by means of microbore liquid chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Chromatogr. A.* 2003. V. 1005. P. 207-213.
309. Poluzzi V., Cavalchi B., Mazzoli A., Alberni G., Lutman A., Coan P., Ciani I., Trentini P., Ascanelli M., Davoli V. Comparison of two different inductively coupled plasma mass spectrometric procedures and high-performance liquid chromatography with electrochemical detection in the determination of iodine in urine // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 731-734.
310. Zhang C., Wu F., Zhang X. ICP-MS-based competitive immunoassay for the determination of total thyroxine in human serum // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 1304-1307.
311. Zhang C., Wu F., Zhang Y., Wang X., Zhang Z. A novel combination of immunoreaction and ICP-MS as a hyphenated technique for the determination of thyroid-stimulating hormone (TSH) in human serum // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 1393-1396.
312. Alimonti A., Petrucci F., Santucci B., Cristaudo A., Caroli S. Determination of chromium and nickel in human blood by means of inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Chim. Acta.* 1995. V. 306. P. 35-41.
313. Zhang S., Zhang C., Xing Z., Zhang X. Simultaneous determination of α -fetoprotein and free β -human chorionic gonadotropin by element-

- tagged immunoassay with detection by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Clinic. Chem.* 2004. V. 50. P. 1214-1221.
314. Hwang T.-J., Jiang S.-J. Determination of copper, cadmium and lead in biological samples by isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry after on-line pre-treatment by anodic stripping voltammetry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 353-357.
315. Hang W., Zhu L., Zhong W., Mahan C. Separation of actinides at ultra-trace level from urine matrix using extraction chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 966-972.
316. Gercken B., Barnes R.M. Determination of lead and other trace element species in blood by size exclusion chromatography and inductively coupled plasma/mass spectrometry // *Anal. Chem.* 1991. V. 63. P. 283-287.
317. Sanz-Medel A., Rodriguez Rosa R., Gonzalez Alonso R., Noval Vallina A., Cannata J. Atomic spectrometric methods (atomic absorption and inductively coupled plasma atomic emission) for the determination of aluminium at the parts per billion level in biological fluids // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1987. V. 2. P. 177-184.
318. Stürup S., Büchert A. Direct determination of copper and iodine in milk and milk powder in alkaline solution by flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry // *Fresenius. J. Anal. Chem.* 1996. V. 354. P. 323-326.
319. Dean J.R., Ebdon L., Massey R. Selection of mode for the measurement of lead isotope ratios by inductively coupled plasma mass spectrometry and its application to milk powder analysis // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1987. V. 2. P. 369-374.
320. Augagneur S., Medina B., Grousset F. Measurement of lead isotope ratios in wine by ICP-MS and its applications to the determination of lead concentration by isotope dilution // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1997. V. 357. P. 1149-1152.
321. Perez-Jordan M.-Y., Soldevila J., Salvador A., Pastor A., de la Guardia M. Inductively coupled plasma mass spectrometry analysis of wines // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 33-39.
322. Almeida C.M.R., Vasconcelos M.T.S.D., Barbaste M., Medina B. ICP-MS multi-element analysis of wine samples – a comparative study of the methodologies used in two laboratories // *Anal. Bioanal. Chem.* 2002. V. 374. P. 314-322.
323. Almeida C.M.R., Vasconcelos M.T.S.D. UV-irradiation and MW-digestion pre-treatment of port wine suitable for the determination of lead isotope ratios by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 1815-1821.
324. Almeida C.M., Vasconcelos M.T.S.D. ICP-MS determination of strontium isotope ratio in wine in order to be used as a fingerprint of its regional origin // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 607-611.
325. Almeida C.M.R., Vasconcelos M.T.S.D. Does the winemaking process influence the wine $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$? A case study // *Food Chem.* 2004. V. 85. P. 7-72.
326. Quénel C.R., Nelms S.M., Van Nevel L., Papadakis I., Taylor P.D.P. Certification of the lead mass fraction in wine for comparison 16 of the international measurement evaluation programme // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 1091-1100.
327. Thiel G., Geisler G., Blechschmidt I., Danzer K. Determination of trace elements in wines and classification according to their provenance // *Anal. Bioanal. Chem.* 2004. V. 378. P. 1630-1636.
328. Coetzee P.P., Vanhaecke F. Classifying wine according to geographical origin via quadrupole-based ICP-mass spectrometry measurements of boron isotope ratios // *Anal. Bioanal. Chem.* 2005. V. 383. P. 977-984.
329. Catarino S., Curvelo-Garcia A.S., de Sousa B.R. Measurements of contamination elements of wines by inductively coupled plasma-mass spectrometry: a comparison of two calibration approaches // *Talanta.* 2006. V. 70. P. 1073-1080.
330. Szpunar J., Pellerin P., Makarov A., Doco T., Williams P., Medina B., Łobiński R. Speciation analysis for biomolecular complexes of lead in wine by size-exclusion high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 749-754.
331. Moreda-Piñeiro A., Marcos A., Fisher A., Hill S.J. Chemometrics approaches for the study of systematic error in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 350-359.
332. Moreda-Piñeiro A., Marcos A., Fisher A., Hill S.J. Parallel factor analysis for the study of systematic error in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 360-369.
333. Koch K.R., Bruno Pougnet M.A., De Villiers S. Determination of aluminium levels in tea and coffee by inductively coupled plasma optical emission spectrometry and graphite furnace atomic absorption spectrometry // *Analyst.* 1989. V. 114. P. 911-913.
334. Kühn M., Kriews M. Improved detection of transition and rare earth elements in marine samples with CETAC DSX-100 preconcentration/matrix elimination system and ICP-MS // *Fresenius J. Anal. Chem.* 2000. V. 367. P. 440-444.
335. Ashley D. Polyatomic interferences due to the presence of inorganic carbon in environmental samples in the determination of chromium at mass 52 by ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1992. V. 13. P. 169-173.
336. De Azevedo Mello P., Fagundes Pereira J.S., de Moraes D.P., Dressler V.L., de Moraes

- Flores E.M., Knapp G. Nickel, vanadium and sulfur determination by inductively coupled plasma optical emission spectrometry in crude oil distillation residues after microwave-induced combustion // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2009. V. 24. P. 911-916.
337. Pereira J.S.F., Mello P.A., Moraes D.P., Duarte F.A., Dressler V.L., Knapp G., Flores É.M.M. Chlorine and sulfur determination in extra-heavy crude oil by inductively coupled plasma optical emission spectrometry after microwave-induced combustion // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2009. V. 64. P. 554-558.
338. Tarohda T., Yamamoto M., Amano R. Regional distribution of manganese, iron, copper, and zinc in rat brain during development // *Anal. Bioanal. Chem.* 2004. V. 380. P. 240-246.
339. Arslan Z., Ertas N., Tyson J.F., Uden P.C., Denoyer E.R. Determination of trace elements in marine plankton by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) // *Fresenius J. Anal. Chem.* 2000. V. 366. P. 273-282.
340. Koplík R., Čurdová E., Suchánek M. Trace element analysis in CRM of plant origin by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1998. V. 360. P. 449-451.
341. Koplík R., Mestek O., Fingerová H., Sichánek M. Validation protocol for the determination of copper in plant samples by isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 241-245.
342. Čurdová E., Szákova J., Miholová D., Mestek O., Suchánek M. Evaluation of various mineralization methods and measurements techniques for trace element analysis of plant materials // *Analisis.* 1988. V. 26. P. 116-121.
343. Pöykiö R., Trovela H., Perämäki P., Kiokkanen T., Rönkkömäki H. Comparison of dissolution methods for multi-element analysis of some plant materials used as bioindicator of sulfur and heavy metal deposition determined by ICP-AES and ICP-MS // *Analisis.* 2000. V. 28. P. 850-854.
344. Mestek O., Koplík R., Fingerová H., Suchánek M. Determination of thallium in environmental samples by inductively coupled plasma mass spectrometry: comparison and validation of isotope dilution and external calibration methods // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 403-407.
345. Ivanova J., Djingova R., Korhammer S., Markert B. On the microwave digestion of soils and sediments for determination of lanthanides and some toxic and essential elements by inductively coupled plasma source mass spectrometry // *Talanta.* 2001. V. 54. P. 567-574.
346. Kos V., Budič B., Hudnik V., Lobnik F., Zupan M. Determination of heavy metal concentrations in plants exposed to different degrees of pollution using ICP-AES // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1996. V. 354. P. 648-652.
347. Ivanova J., Korhammer S., Djingova R., Heidenreich H., Markert B. Determination of lanthanoids and some heavy and toxic elements in plant certified reference materials by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2001. V. 56. P. 3-12.
348. Schmidt A.-C., Mattusch J., Wennrich R. Distribution of arsenic species in different leaf fractions – an evaluation of the biochemical deposition of arsenic in plant cells // *Microchim. Acta.* 2005. V. 151. P. 167-174.
349. Shah M., Kannamkumarath S.S., Wuilloud J.C.A., Wuilloud R.G., Caruso J.A. Identification and characterization of selenium in enriched green onion (*Allium fistulosum*) by HPLC-ICP-MS and ESI-ITMS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 381-386.
350. Bache C.A., Gutenmann W.H., Rutzke M., Chu G., Elfving D.C., Lisk D.J. Concentration of metals in grasses in the vicinity of municipal refuse incinerator // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1991. V. 20. P. 538-542.
351. Krachler M., Mohl C., Emons H., Shotyk W. Analytical procedures for the determination of selected trace elements in peat and plant samples by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2002. V. 57. P. 1277-1289.
352. Kmetov V., Stefanova V., Hristozov D., Georgieva D., Canals A. Determination of calcium, iron and manganese in moss by automated discrete sampling flame atomic absorption spectrometry as an alternative to the ICP-MS analysis // *Talanta.* 2003. V. 59. P. 123-136.
353. Evans S., Krähenbühl U. Improved boron determination in biological material by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1249-1253.
354. Evans S., Krähenbühl U. Boron determination in biological material: microwave digestion procedure and determination by different methods // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1994. V. 349. P. 454-459.
355. Ambushe A.A., McCrindle R.I., McCrindle C.M.E. Speciation of chromium in cow's milk by solid-phase extraction/dynamic reaction cell inductively coupled plasma mass spectrometry (DRC-ICP-MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2009. V. 24. P. 502-507.
356. Ko F.-H., Yang M.-H. On-line removal of interferences via anion-exchange column separation for the determination of germanium, arsenic and selenium in biological samples by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 413-420.
357. Durrant S.F., Krushevska A., Amarasiriwardena D., Argentine M.D., Romon-Guesnier S., Barnes R.M. Matrix separation by chelation to prepare biological materials for isotopic zinc analysis by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 199-204.

358. Laborda F., Baxter M.J., Crews H.M., Dennis J. Reduction of polyatomic interferences in inductively coupled plasma mass spectrometry by selection of instrumental parameters and using an argon-nitrogen plasma: effect on multi-element analyses // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 727-736.
359. Gélinas Y., Iyengar G.V., Barnes R.M. Total iodine in nutritional and biological reference materials using neutron activation analysis and inductively coupled plasma mass spectrometry // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1998. V. 362. P. 483-488.
360. Cubadda F., Raggi A. Determination of cadmium, lead, nickel and chromium in selected food matrices by plasma spectrometric techniques // *Microchem. J.* 2005. V. 79. P. 91-96.
361. Cubadda F., Giovannangeli S., Iosi F., Raggi A., Stacchini P. Chromium determination in foods by quadrupole inductively coupled plasma-mass spectrometry with ultrasonic nebulization // *Food Chem.* 2003. V. 81. P. 463-468.
362. Törvényi A., Judprasong K., Fajgelj A. Method performance study of on-line internal standard addition in inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2007. V. 22. P. 1152-1157.
363. Judprasong K., Ornthai M., Siripinyanond A., Shiowatana J. A continuous-flow dialysis with inductively coupled plasma optical emission spectrometry for *in vitro* estimation of bioavailability // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2005. V. 20. P. 1191-1196.
364. Judprasong K., Siripinyanond A., Shiowatana J. Towards better understanding of *in vitro* bioavailability of iron through the use of dialysis profiles from a continuous-flow dialysis with inductively coupled plasma spectrometric detection // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2007. V. 22. P. 807-810.
365. Bou R., Guardiola F., Padró A., Pelfort E., Codony R. Validation of mineralization procedures for the determination of selenium, zinc, iron and copper in chicken meat and samples by ICP-AES and ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 1361-1369.
366. Schwartz R.S., Hecking L.T. Determination of geographic origin of agricultural products by multivariate analysis of trace element composition // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1991. V. 6. P. 637-642.
367. Krushevskaja A.P., Barnes R.M. Determination of low silicon concentrations in food and coral soil by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 981-984.
368. Amarasiriwardena D., Krushevskaja A., Argentine M., Barnes R.M. Vapour-phase acid digestion of micro samples of biological material in a high-temperature, high-pressure asher for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Analyst.* 1994. V. 119. P. 1017-1021.
369. Amarasiriwardena C.J., Gercken B., Argentine M.D., Barnes R.M. Semi-quantitative analysis by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1990. V. 5. P. 457-462.
370. Sheppard B.S., Heitkemper D.T., Gaston C.M. Microwave digestion for the determination of arsenic, cadmium and lead in seafood products by inductively coupled plasma atomic emission and mass spectrometry // *Analyst.* 1994. V. 119. P. 1683-1686.
371. Maher W., Forster S., Krikowa F., Snitch P., Chapple G., Craig P. Measurement of trace elements and phosphorus in marine animal and plant tissues by low-volume microwave digestion and ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 2001. V. 22. P. 361-370.
372. Niazi S., Littlejohn D. Rapid partial digestion of biological tissues with nitric acid for the determination of trace elements by atomic spectrometry // *Analyst.* 1993. V. 118. P. 821-825.
373. Bettinelli M., Spezia S., Minoia C. Analysis of uranium and isotopic ratio measurement in fish and marine invertebrates from the North Adriatic sea by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 2004. V. 18. P. 465-468.
374. Grant W.A., Ellis P.C. Determination of heavy metals in shellfish by flame atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 815-820.
375. Huang M.-F., Jiang S.-J., Hwang C.-J. Determination of arsenic in environmental and biological samples by flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1995. V. 10. P. 31-35.
376. Hwang T.-J., Jiang S.-J. Determination of cadmium by flow injection isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry with vapour generation sample introduction // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 579-584.
377. De Sousa R.A., Ribeiro A.S., Vieira M.A., Curtius A.J., Bacchan N., Cadore S. Determination of trace elements in liquid aspartame sweeteners by ICP-OES and ICP-MS following acid digestion // *Microchim. Acta.* 2007. V. 159. P. 241-246.
378. Godoy M.L.D.P., Godoy J.M., Roldão L.A. Determination of trace elements in coal and coal ash samples by ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 2001. V. 22. P. 235-243.
379. Krause P., Erbslöh B., Niedergesäß R., Pepelnik R., Prange A. Comparative study of different digestion procedures using supplementary analytical methods for multielement-screening of more than 50 elements in sediments of the river Elbe // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1995. V. 353. P. 3-11.
380. Lloyd G.R., Ahmad S., Wasim M., Brereton R.G. Pattern recognition of inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy of human scalp hair for discriminating between health and

- hepatitis C patients // *Anal. Chim. Acta.* 2009. V. 649. P. 33-42.
381. Melaku S., Wondimu T., Dams R., Moens L. Simultaneous determination of trace elements in Tinishu Akaki river water sample, Ethiopia, by ICP-MS // *Canadian J. Anal. Sci. Spectrosc.* 2004. V. 49. P. 374-384.
382. Melaku S., Wondimu T., Dams R., Moens L. Multi-element analysis of Tinishu Akaki river sediments, Ethiopia, by ICP-MS after microwave assisted digestion // *Canadian J. Anal. Sci. Spectrosc.* 2005. V. 50. P. 31-40.
383. Silveira J.N., Lara P.C.P., Dias M.B., Matos J.M.G., da Silva J.C.J., Nascentes C.C., Ciminelli V.S.T., da Silva J.B.B. Determination of As, Bi, Cd, Co, Cr, Ga, In, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Tl and V in antihypertensive drugs by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Atom. Spectrosc.* 2007. V. 28. P. 1-7.
384. Sun Y.-C., Ko C.-J. Evaluation of closed-vessel microwave digestion method for the determination of trace impurities in polymer-based photoresist by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Microchem J.* 2004. V. 78. P. 163-166.
385. Kozono S., Yagi M., Takashi R. Determination of ultratrace amounts of boron in high purity alcohols by inductively coupled plasma-mass spectrometry with hydrofluoric acid/potassium fluoride treatment // *Anal. Chim. Acta.* 1998. V. 368. P. 275-280.
386. Chang M.J., Walker K., McDaniel R.L., Connell C.T. Impaction collection and slurry sampling for the determination of arsenic, cadmium and lead in sidestream cigarette smoke by inductively coupled plasma-mass spectrometry // *J. Environ. Monit.* 2005. V. 7. P. 1349-1354.
387. Marjanovic L., McCrindle R.I., Botha M.B., Potgieter J.H. Analysis of cement by inductively coupled plasma optical emission spectrometry using slurry nebulization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 983-985.
388. Kanický V., Otruba V., Mermet J.-M. Comparison of some analytical performance characteristics in inductively coupled plasma spectrometry of platinum group metals and gold // *Talanta.* 1999. V. 48. P. 859-866.
389. Matoušek T., Sturgeon R.E. Surfactant assisted chemical vapour generation of silver for AAS and ICP-OES: a mechanistic study // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2003. V. 18. P. 487-494.
390. Sun Y., Wu S., Lee C. Investigation of non-spectroscopic interference and internal standardization method in axially and radially viewed inductively coupled plasma optical emission spectrometry using cross-flow and ultrasonic nebulization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2003. V. 18. P. 1163-1170.
391. Grotti M., Paredes E., Maestre S., Todolí J.L. Building and analyzing models from data by stirred tank experiments for investigation of matrix effects caused by inorganic matrices and selection of internal standards in inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2008. V. 63. P. 571-584.
392. Dubuisson C., Poussel E., Mermet J.-M. Comparison of axially and radially viewed inductively coupled plasma atomic emission spectrometry in terms of signal-to-background ratio and matrix effects // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 281-286.
393. Anil G., Reddy M.R.P., Kumar A., Prakash T.L. Tantalum effects on the ICP-OES determination of trace elements in tantalum powder // *Atom. Spectrosc.* 2003. V. 24. P. 185-189.
394. Anil G., Reddy M.R.P., Kumar A., Prakash T.L. Matrix effects of tantalum in the determination of Cr, Fe, Nb, Ni, and Ti in tantalum powder using ICP-OES // *Atom. Spectrosc.* 2002. V. 23. P. 119-124.
395. Anil G., Reddy M.R.P., Kumar A., Prakash T.L. Mixed matrix effect of easily and non-easily ionizable elements in the ICP-OES analysis of trace impurities in potassium tantalum fluoride // *Atom. Spectrosc.* 2003. V. 24. P. 190-193.
396. Grotti M., Gnecco C., Bonfiglioli F. Multivariate quantification of spectroscopic interferences caused by sodium, calcium, chlorine and sulfur in inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 1171-1175.
397. Todolí J.L., Gras L., Hernandez V., Mora J. Elemental matrix effects in ICP-AES // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 142-169.
398. Stroh A., Völlkopf U., Denoyer E.R. Analysis of samples containing large amounts of dissolved solids using microsampling flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1992. V. 7. P. 1201-1205.
399. Stroh A., Völlkopf U. Analysis of difficult samples by flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Proceed.* 1992. V. 29. P. 274-275.
400. Stroh A., Völlkopf U. Effects of Ca on instrument stability in trace element determination of Ca-rich soils using ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1993. V. 14. P. 76-79.
401. Stroh A., Bea F., Montero P.G. Ultratrace-level determination of rare earth elements, thorium, and uranium in ultramafic rocks by ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1995. V. 16. P. 7-11.
402. Arpadjan S., Vassileva E., Momchilova S. Pre-concentration methods for determination of trace amounts of impurities in high-purity copper salts by atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Analyst.* 1992. V. 117. P. 1933-1937.
403. Richner P. Detection limits versus matrix effects: analysis of solutions with high amounts of dissolved solids by flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 927-931.

404. Larrea M.T., Zaldivar B., Fariñas J.C., Firgaira L.G., Pomares M. Matrix effect of aluminium, calcium and magnesium in axially viewing inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2008. V. 23. P. 145-151.
405. Makishima A., Nakamura E. Suppression of matrix effects in ICP-MS by high power operation of ICP: application to precise determination of Rb, Sr, Y, Cs, Ba, REE, Pb, Th and U at ng g⁻¹ levels in milligram silicate samples // *Geostand. Newslett.* 1997. V. 21. P. 307-319.
406. Coedo A.G., López T.D., Alguacil F. On-line ion-exchange separation and determination of niobium, tantalum, tungsten, zirconium and hafnium in high-purity iron by flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Chim. Acta.* 1995. V. 315. P. 331-338.
407. Makishima A., Nakamura E., Nakano T. Determination of zirconium, hafnium and tantalum at ng g⁻¹ levels in geological materials by direct nebulization of sample HF solution into FI-ICP-MS // *Geostand. Newsletter.* 1999. V. 23. P. 7-20.
408. Riglet C., Provitina O., Dautheribes J.-L., Revy D. Determination of traces of neptunium-237 in enriched uranium solutions using inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1992. V. 7. P. 923-927.
409. Santos R., Canto Machado M.J., Ruiz I., Sato K., Vasconcelos M.T.S.D. Space charge and mass discrimination effects on lead isotope ratio measurements by ICP-QMS in environmental samples with high uranium content // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2007. V. 22. P. 783-790.
410. Tromp J.W., Tremblay R.T., Mermet J.-M., Salin E.D. Matrix interference diagnostics for the automation of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 617-625.
411. Пупышев А.А., Данилова Д.А. Разработка модели термодимических процессов для метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Ч. 1. Матричные неспектральные помехи // *Аналитика и контроль.* 2001. Т. 5. С. 112-136.
412. Caroli S., Senofonte O., Caimi S., Pauwels J., Kramer G.N. Planning and certification of a new multielemental reference materials for research in Antarctica // *Microchim. Acta.* 1996. V. 123. P. 119-128.
413. Vicente O., Padro A., Martinez L., Olsina R., Marchevsky E. Determination of some rare earth elements in seawater by inductively coupled plasma mass spectrometry using flow injection preconcentration // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1998. V. 53. P. 1281-1287.
414. Hioki A., Lam J.W.H., McLaren J.W. On-line determination of dissolved silica in seawater by ion exclusion chromatography in combination with inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Chem.* 1997. V. 69. P. 21-24.
415. Chou C.L., Moffatt J.D. A simple coprecipitation inductively coupled plasma mass spectrometric method for the determination of uranium in seawater // *Fresenius J. Anal. Chem.* 2000. V. 368. P. 59-61.
416. Yang K.-L., Jiang S.-J., Hwang T.-J. Determination of titanium and vanadium in water samples by inductively coupled plasma mass spectrometry with on-line preconcentration // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 139-143.
417. Huang K.-S., Jiang S.-J. Determination of trace levels of metal ions in water samples by inductively coupled plasma mass spectrometry after on-line preconcentration on SO₃-oxine CM-cellulose // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1993. V. 347. P. 238-242.
418. Falk H., Geerling R., Hattendorf B., Kregel-Rothensee K., Schmidt K.P. Capabilities and limits of ICP-MS for direct determination of element traces in saline solutions // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1997. V. 359. P. 352-356.
419. Klemm W., Bombach G., Becker K.P. Investigations of trace elements in high salinity waters by ICP-MS // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1999. V. 364. P. 429-432.
420. Halicz L., Gavrieli I., Dorfman E. On-line method for inductively coupled plasma mass spectrometric determination of rare earth elements in highly saline brines // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 811-814.
421. Melaku S., Cornelis R., Vanhaecke F., Dams R., Moens L. Method development for the speciation of chromium in river and industrial wastewater using GFAAS // *Microchim. Acta.* 2005. V. 150. P. 225-231.
422. Jones V.D. ICP-MS nebulizer performance for analysis of SRS high salt simulated radioactive waste tank solutions (#3053) // 2-nd ASTM Symp. on appl. ICP-MS radionucl. determ. New Orleans, LA, USA, 1998.
423. Becker J.S., Dietze H.-J. Precise isotope ratio measurements for uranium, thorium and plutonium by quadrupole-based inductively coupled plasma mass spectrometry // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1999. V. 364. P. 482-488.
424. Becker J.S., Soman R.S., Sutton K.L., Caruso J.A. Determination of long-lived radionuclides by inductively coupled plasma quadrupole mass spectrometry using different nebulizers // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 933-937.
425. Aguerre S., Frechou C. Development of a radiochemical separation for selenium with the aim of measuring its isotope 79 in low and intermediate nuclear wastes by ICP-MS // *Talanta.* 2006. V. 69. P. 565-571.
426. Frechou C., Aguerre S., Degros J.-P., Kerlau G., Grangeon T. Improvement of a radiochemical separation for Se 79: application to effluents and nuclear wastes // *Talanta.* 2007. V. 72. P. 1166-1171.
427. Пупышев А.А., Эпова Е.Н. Спектральные помехи полиатомных ионов в методе масс-

- спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Аналитика и контроль. 2001. Т. 5. С. 335-369.
428. Gray A.L., Williams J.G. System optimisation and the effect on polyatomic, oxide and doubly charged ion response of a commercial inductively coupled plasma mass spectrometry instrument // J. Anal. Atom. Spectrom. 1987. V.2. P. 599-606.
429. Aries S., Valladon M., Polvé M., Dupré B. A routine method for oxide and hydroxide interference corrections in ICP-MS chemical analysis of environmental and geological samples // Geostand. Newsletter. 2000. V. 24. P. 19-31.
430. Nehm R., Broekaert J.A.C. Noise power spectra and recovery rates obtained with different nebulizer systems in ICP atomic emission spectrometric analyses in the case of different types of salts and salt contents // Fresenius J. Anal. Chem. 2000. V. 368. P. 156-161.
431. Gray A.L., Williams J.G., Ince A.T., Liezers M. Noise sources in inductively coupled plasma mass spectrometry: an investigation of their importance to the precision of isotope ratio measurements // J. Anal. Atom. Spectrom. 1994. V. 9. P. 1179-1181.
432. Werner P., Friege H. Establishment of optimum conditions for ICP atomic emission spectrometry (AES) // Appl. Spectrosc. 1987. V. 41. P. 32-40.
433. Marcos A., Hill S.J. A drift correction procedure for ICP-AES systems // Analyst. 2000. V. 125. P. 1015-1020.
434. Marcos A., Foulkes M., Hill S.J. Application of a multi-way method to study long-term stability in ICP-AES // J. Anal. Atom. Spectrom. 2001. V. 16. P. 105-114.
435. Ward A.F., Brown R.K., Carrara L., Luciano V.J. Trace element analysis in viscous and particle-containing solution by direct nebulization into ICP: a critical comparison of nebulizers for real samples // JarrellAsh Plasma Newslett. 1983. V. 6. P. 10-13.
436. Holmes L., Pilvio R. Determination of thorium in environmental and workplace materials by ICP-MS // Appl. Radiat. Isotopes. 2000. V. 53. P. 63-68.
437. Larsen E.H., Ludwigsen M.B. Determination of iodine in food-related certified reference materials using wet ashing and detection by inductively coupled plasma mass spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 1997. V. 12. P. 465-439.
438. Allibone J., Fatemian E., Walker P.J. Determination of mercury in potable water by ICP-MS using gold as a stabilizing agent // J. Anal. Atom. Spectrom. 1999. V. 14. P. 235-239.
439. Juvonen R., Lakomaa T., Soikkeli L. Determination of gold and the platinum group elements in geological samples by ICP-MS after nickel sulphide fire assay: difficulties encountered with different types of geological samples // Talanta. 2002. V. 58. P. 595-603.
440. El Himri M., Pastor A., De la Guardia M. Determination of uranium in tap water by ICP-MS // Fresenius J. Anal. Chem. 2000. V. 367. P. 151-156.
441. Ying H., Antler M., Tromp J.W., Salin E.D. Sample diagnosis using non-analyte signals for inductively coupled plasma mass spectrometry // Spectrochim. Acta. Part B. 2002. V. 57. P. 277-290.
442. Antler M., Ying H., Burns D.H., Salin E.D. Sample diagnosis using indicator elements and non-analyte signals for inductively coupled plasma mass spectrometry // Spectrochim. Acta. Part B. 2003. V. 58. P. 837-850.
443. Van Veen E.H., de Loos-Vollebregt T.C. On the use of line intensity ratios and power adjustments to control matrix effects in inductively coupled plasma optical emission spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 1999. V. 14. P. 831-838.
444. Isoyama H., Uchida T., Nagashima T., Ohira O. Ultrasonic grinding of fine ceramics for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry using slurry nebulization technique // J. Anal. Atom. Spectrom. 2004. V. 19. P. 1370-1374.
445. Fernández-Ruiz R., Ocon P., Montiel M. First approximation to the analysis of Ru and Se in carbon nanoparticles as a new voltaic pile system by TXRF // J. Anal. Atom. Spectrom. 2009. V. 24. P. 785-791.
446. Hamier J., Salin E.D. Tandem calibration methodology: dual nebulizer sample introduction for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 1998. V. 13. P. 497-505.
447. Huxter V., Hamier J., Salin E.D. Tandem calibration methodology: dual nebulizer sample introduction for ICP-MS // J. Anal. Atom. Spectrom. 2003. V. 18. P. 71-75.
448. Salin E.D., Antler M., Bort G. Evaluation of the simultaneous use of standard additions and internal standards calibrations techniques for inductively coupled plasma mass spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 2004. V. 19. P. 1498-1500.
449. Fukaya T., Takeya M., Sayama Y. ICP-AES determination of trace impurities in copper by using ultrasonic nebulization and internal standardization // Anal. Sci. 1993. V. 9. P. 727-729.
450. Abbyad P., Tromp J., Lam J., Salin E. Optimization of the technique of standard additions for inductively coupled plasma mass spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 2001. V. 16. P. 464-469.
451. Coedo A.G., Dorado M.T., Padilla I., Alguacil F.J. Study of the application of air-water flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry for the determination of calcium in steels // J. Anal. Atom. Spectrom. 1996. V. 11. P. 1037-1041.
452. Stefanova V., Kmetov V., Futekov L. Air segmented discrete introduction in inductively coupled plasma mass spectrometry // J. Anal. Atom. Spectrom. 1997. V. 12. P. 1271-1276.
453. Stefanova V., Kmetov V., Canals A. Application of internal standardization in ICP-QMS through discrete sample introduction methodologies // J. Anal. Atom. Spectrom. 2003. V. 18. P. 1171-1174.

454. Fucskó J., Tan S.S., Balazs M.K. Measurement of trace metallic contaminants on silicon wafer surfaces in native and dielectric silicon oxide by vapor phase decomposition flow injection inductively coupled plasma-mass spectrometry // *J. Electrochem. Soc.* 1993. V. 140. P. 1105-1109.
455. Denoyer E.R., Lu Q. Characterization of operation parameters in flow injection ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1993. V. 14. P. 162-169.
456. Coedo A.G., Dorado M.T. Application of flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry to the simultaneous determination of arsenic, antimony, tin, bismuth, selenium and tellurium in steel // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1111-1115.
457. Coedo A.G., Dorado M.T., Padilla I. Evaluation of different sample introduction approaches for the determination of boron in unalloyed steels by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2005. V. 60. P. 73-79.
458. Coedo A.G., Dorado M.T., Fernandez B.J., Alguacil F.J. Isotope dilution analysis for flow injection ICPMS determination of microgram per gram levels of boron in iron and steel after matrix removal // *Anal. Chem.* 1996. V. 68. P. 991-996.
459. Coedo A.G., Dorado M.T. Determination of trace elements in unalloyed steels by flow injection inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1995. V. 10. P. 449-453.
460. Makishima A., Nakamura E., Nakano T. Determination of boron in silicate samples by direct aspiration of sample solutions into ICPMS // *Anal. Chem.* 1997. V. 69. P. 3754-3759.
461. Halicz L., Bar-Matthews M., Ayalon A., Kaufman A. Determination of low concentrations of U and Th in carbonate rocks using FI-ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1997. V. 18. P. 175-179.
462. Robinson C.D., Devalla S., Rompais M., Davies I.M. Solution-based determination of trace elements in biogenic carbonates: comparison of two sample introduction systems for use in flow injection ICPMS analysis // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2009. V. 24. P. 939-943.
463. Neto J.A.G., Silva J.B.B., Neto R.R., Curtius A.J., Souza I.G. Emprego de nebulizador pneumático de ICP-MS como câmara de diluição em sistemas de injeção em fluxo para determinações multielementares // *Quim. Nova.* 1998. V. 21. P. 405-409.
464. Uggerud H., Lund W. Determination of arsenic by inductively coupled plasma mass spectrometry – comparison of sample introduction techniques // *Fresenius J. Anal. Chem.* 2000. V. 368. P. 162-165.
465. Giné M.F., Krug F.J., Filho H.B., dos Reis B.F., Zagatto E.A.G., Bruns R.E. Flow injection calibration of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry using the generalised standard addition method // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 673-678.
466. Laborda F., Medrano J., Castillo J.R. Estimation of the quantification uncertainty from flow injection and liquid chromatography transient signals in inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2004. V. 59. P. 857-870.
467. Cox A.G., Cook I.G., McLeod C.W. Rapid sequential determination of chromium (III) – chromium (VI) by flow injection analysis – inductively coupled plasma atomic-emission spectrometry // *Analyst.* 1985. V. 110. P. 331-333.
468. Maquieira A., Elmahadi H., Puchades R. Preconcentration and determination of some lanthanide elements with immobilized bacteria by flow injection inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 99-106.
469. Arslan Z., Paulson A.J. Analysis of biogenic carbonates by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). Flow injection on-line solid-phase preconcentration for trace element determination in fish otoliths // *Anal. Bioanal. Chem.* 2002. V. 372. P. 776-785.
470. Chen C.-S., Jiang S.-J. Determination of As, Sb, Bi and Hg in water samples by flow-injection inductively coupled plasma mass spectrometry with an in-situ nebulizer/hydride generator // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1996. V. 51. P. 1813-1821.
471. Cho Y., Park Y.N. Removal of OH spectral interferences from aqueous solvents in inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-AES) with Ar cryogenic desolvation // *Bull. Korean Chem. Soc.* 2005. V. 26. P. 1415-1420.
472. Fitzgerald N., Tyson J.F., Leighty D.A. Reduction of water loading effects in inductively coupled plasma mass spectrometry by a nafion membrane dryer device // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 13-16.
473. Eastgate A.R., Fry R.C., Gover G.H. Radiation *versus* conduction in heated spray chamber desolvation for inductively coupled plasmas // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 305-308.
474. Nixon D.E. Excitation modulation by water: effects of desolvation on line intensities, temperatures and ion-atom ratios produced by inductively coupled plasmas // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1990. V. 5. P. 531-536.
475. Bandura D.R., Baranov V.I., Tanner S.D. Effect of collisional damping and reactions in a dynamic reaction cell on the precision of isotope ratio measurements // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 921-928.
476. Vais V., Li C., Cornett J. Condensation reaction in the bandpass reaction cell improves sensitivity for uranium, thorium, neodymium and praseodymium measurements // *Anal. Bioanal. Chem.* 2003. V. 377. P. 85-88.
477. Vais V., Li C., Cornett J. Separation of plutonium from uranium using reactive chemistry in band-pass reaction cell of an inductively coupled plasma

- mass spectrometer // *Anal. Bioanal. Chem.* 2004. V. 380. P. 235-239.
478. Tanner S.D. Characterization of ionization and matrix suppression in inductively coupled 'cold' plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1995. V. 10. P. 905-921.
479. Duan X., McLaughlin R.L., Brindle I.D., Conn A. Investigations into the generation of Ag, Au, Cd, Co, Cu, Ni, Sn and Zn by vapor generation and their determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, together with a mass spectrometric study of volatile species. Determination of Ag, Au, Co, Cu, Ni and Zn in iron // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 227-231.
480. Smichowski P., Marrero J., Ledesma A., Polla G., Batistoni D.A. Speciation of As(III) and As(V) in aqueous solutions using baker's yeast and hydride generation inductively coupled plasma atomic emission spectrometric determination // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 1493-1497.
481. Rojas I., Murillo M., Carrión N., Chirinos J. Investigation of the direct hydride generation nebulizer for the determination of arsenic, antimony and selenium in inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *Anal. Bioanal. Chem.* 2003. V. 376. P. 110-117.
482. Lopez-Moliner A., Gimenez R., Otal P., Callizo A., Chamorro P., Castillo J.R. New sensitive determination of selenium by bromide volatilization inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 352-357.
483. Gómez L.R., Márquez G.D., Chirinos J.R. Dual nebulizer sample introduction system for simultaneous determination of volatile elemental hydrides and other elements // *Anal. Bioanal. Chem.* 2006. V. 386. P. 188-195.
484. Marrero J., Arisnabarreta S.P., Smichowski P. The effect of six reaction media on the determination of bismuth at trace levels in environmental samples by hydride generation and inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 1875-1881.
485. Wickstrøm T., Lund W., Bye R. Transport of nickel, cobalt, iron and chromium to the atom cell during a hydride generation process // *Analyst.* 1996. V. 121. P. 201-204.
486. Smichowski P., Farias S., Arisnabarreta S.P. Chemical vapour generation of transition metal volatile species for analytical purposes: determination of Zn by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry // *Analyst.* 2003. V. 128. P. 779-785.
487. Hwang J.D., Huxley H.P., Diomiguardi J.P., Vaughan W.J. The determination of arsenic in environmental samples by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry with an *in situ* nebulizer/hydride generator // *Appl. Spectrosc.* 1990. V. 44. P. 491-496.
488. Hirata T., Akagi T., Shimizu H., Masuda A. Determination of osmium and osmium isotope ratios by microelectrothermal vaporization inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Chem.* 1989. V. 61. P. 2263-2266.
489. Hirata T., Masuda A. Determination of rhenium with enhanced sensitivity using inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1990. V. 5. P. 627-630.
490. Akagi T., Hirata T., Masuda A. Hydride generation in merging chamber for determination of picogram amounts of bismuth by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Sci.* 1990. V. 6. P. 397-400.
491. Rudner P.C., Garcia de Torres A., Cano Pavón J.M. On-line preconcentration and determination of mercury by flow injection inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 705-709.
492. Brzezinska-Paudyn A., Van Loon J.C. Determination of tin in environmental samples by graphite furnace atomic absorption and inductively coupled plasma-mass spectrometry // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1988. V. 331. P. 707-712.
493. Argentine M.D., Barnes R.M. Electrothermal vaporization-inductively coupled plasma mass spectrometry for the analysis of semiconductor-grade organometallic materials and process chemicals // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1371-1378.
494. Baucells M., Lacort G., Roura M. Determination of cadmium and molybdenum in soil extracts by graphite furnace atomic-absorption and inductively coupled plasma spectrometry // *Analyst.* 1985. V. 110. P. 1423-1429.
495. Hirata T., Akagi T., Masuda A. Direct introduction of powdered samples into an inductively coupled plasma mass spectrometer using a spark dispersion – merging sample introduction techniques // *Analyst.* 1990. V. 115. P. 1329-1333.
496. Valle Fuentes F.J., del Barrio Martin S. Determination of trace amounts of phosphorus in silicate materials by simultaneous inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Analyst.* 1995. V. 120. P. 85-88.
497. Beary E.S., Paulsen P.J. Selective application of chemical separation to isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometric analyses of standard reference materials // *Anal. Chem.* 1993. V. 65. P. 1602-1608.
498. Rocha A.A., Miekeley N., Porto da Silveira C.L., Bezerra M.C.M. Determinação de fósforo orgânico em águas de produção petrolífera por ICP-AES e ICP-MS após pré-concentração em coluna de sílica-C₁₈ // *Quim. Nova.* 1998. V. 21. P. 584-589.
499. Álvarez-Llamas G., Del Rosario Fernández de la Campa M., Sanz-Medel A. ICP-MS for specific detection in capillary electrophoresis // *Trend Anal. Chem.* 2005. V. 24. P. 28-36.

500. Majidi V., Miller-Ihli N.J. Two simple interface designs for capillary electrophoresis–inductively coupled plasma mass spectrometry // *Analyst*. 1998. V. 123. P. 803-808.
501. Baker S.A., Miller-Ihli N.J. Comparison of a cross-flow and microconcentric nebulizer for chemical speciation measurements using CZE-ICP-MS // *Appl. Spectrosc.* 1999. V. 53. P. 471-478.
502. Tu Q., Qvarnström J., Frech W. Determination of mercury species by capillary zone electrophoresis–inductively coupled plasma mass spectrometry: a comparison of two spray chamber–nebulizer combinations // *Analyst*. 2000. V. 125. P. 705-710.
503. Vacchina V., Baldrian P., Gabriel J., Szpunar J. Investigation of the response of wood-rotting fungi to copper stress by size-exclusion chromatography and capillary zone electrophoresis with ICP MS detection // *Anal. Bioanal. Chem.* 2002. V. 372. P. 453-456.
504. Ponce de León C.A., Montes-Bayón M., Caruso J.A. Elemental speciation by chromatography separation with inductively coupled plasma mass spectrometry detection // *J. Chromatogr. A*. 2002. V. 974. P. 1-21.
505. Hill S.J., Bloxham M.J., Worsford P.J. Chromatography coupled with inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 499-515.
506. Vacchina V., Lobinski R., Oven M., Zenk M.H. Signal identification in size-exclusion HPLC-ICP-MS chromatograms of plant extracts by electrospray tandem mass spectrometry (ES MS/MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 529-534.
507. Rottmann L., Heumann K.G. Development of an on-line isotope dilution technique with HPLC/ICP-MS for the accurate determination of elemental species // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1994. V. 350. P. 221-227.
508. Bednar A.J., Mireski J.E., Inouye L.S., Winfield L.E., Larson S.L., Ringelberg D.B. The determination of tungsten, molybdenum, and phosphorus oxyanions by high performance liquid chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry // *Talanta*. 2007. V. 72. P. 1828-1832.
509. Mestek O., Komínková J., Koplík R., Borková M., Suchánek M. Quantification of copper and zinc species fractions in legume seeds extracts by SEC/ICP-MS: validation and uncertainty estimation // *Talanta*. 2002. V. 57. P. 1133-1142.
510. Yoshida K., Haraguchi H. Determination of rare earth elements by liquid chromatography/inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Anal. Chem.* 1984. V. 56. P. 2580-2585.
511. Van Hulle M., Zhang C., Zhang X., Cornelis R. Arsenic speciation in Chinese seaweeds using HPLC-ICP-MS and HPLC-ES-MS // *Analyst*. 2002. V. 127. P. 634-640.
512. Larsen E.H. Speciation of dimethylarsinyl-riboside derivatives (arsenosugars) in marine reference materials by HPLC-ICP-MS // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1995. V. 352. P. 582-588.
513. Larsen E.H., Pritzl F., Hansen S.H. Arsenic speciation in seafood samples with emphasis on minor constituents: an investigation using high-performance liquid chromatography with detection by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 1075-1084.
514. Hansen S.H., Larsen E.H., Pritzl G., Cornett C. Separation of seven arsenic compounds by high-performance liquid chromatography with on-line detection by hydrogen-argon flame atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1992. V. 7. P. 629-634.
515. Bavazzano P., Perico A., Rosendahl K. Determination of urinary arsenic by solvent extraction and electrothermal atomic absorption spectrometry. A comparison with directly coupled high-performance liquid chromatography–inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 521-524.
516. Bissen M., Gremm T., Köklü Ü., Frimmel F.H. Use of the anion-exchange resin amberlite IRA-93 for the separation of arsenite and arsenate in aqueous samples // *Acta. Hydrochim. Hydrobiol.* 2000. V. 28. P. 41-46.
517. Daus B., Mattusch J., Wennrich R., Weiss H. Analytical investigations of phenyl arsenicals in groundwater // *Talanta*. 2008. V. 75. P. 376-379.
518. McSheehy S., Szpunar J. Speciation of arsenic in edible algae by bi-dimensional size-exclusion and anion exchange HPLC with dual ICP-MS and electrospray MS/MS detection // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 79-87.
519. McSheehy S., Pohl P., Szpunar J., Potin-Gautier M., Łobiński R. Analysis for selenium speciation in selenized yeast extracts by two-dimensional liquid chromatography with ICP-MS and electrospray MS-MS detection // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 68-73.
520. McSheehy S., Pannier F., Szpunar J., Potin-Gauttier M., Lobinski R. Speciation of seleno compounds in yeast aqueous extracts by three-dimensional liquid chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometric and electrospray mass spectrometric detection // *Analyst*. 2002. V. 127. P. 223-229.
521. McSheehy S., Pohl P., Vélez D., Szpunar J. Multidimensional liquid chromatography with parallel ICP-MS and electrospray MS/MS detection as a tool for the characterization of arsenic species in algae // *Anal. Bioanal. Chem.* 2002. V. 372. P. 457-466.
522. McSheehy S., Mester Z. Arsenic speciation in marine certified reference materials. Part I. Identification of water-soluble arsenic species using multidimensional liquid chromatography combined

- with inductively coupled plasma, electrospray and electrospray high-field asymmetric waveform ion mobility spectrometry with mass spectrometric detection // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 373-380.
523. McSheehy S., Guo X.-M., Sturgeon R.E., Mester Z. Photochemical alkylation of inorganic arsenic. Part 2. Identification of aqueous phase organoarsenic species using multidimensional liquid chromatography and electrospray mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2005. V. 20. P. 709-716.
524. Ščančar J., Milačič R., Séby F., Donard O.F.X. Determination of hexavalent chromium in cement by the use of HPLC-ICP-MS, FPLC-ETAAS, spectrophotometry and selective extraction techniques // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2005. V. 20. P. 871-875.
525. Hils A., Grote M., Janßen E., Eichhorn J. Speciation of trace amounts of aluminium in percolating water of forest soil by online coupling HPLC-ICP-MS // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1999. V. 364. P. 457-461.
526. Harrington C.F., Catterick T. Problems encountered during the development of a method for the speciation of mercury and methylmercury by high-performance liquid chromatography coupled to inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 1053-1056.
527. Qvarnström J., Frech W. Mercury species transformations during sample pre-treatment of biological tissues studied by HPLC-ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 1486-1491.
528. Rai R., Maher W., Kirkowa F. Measurement of inorganic and methylmercury in fish tissues by enzymatic hydrolysis and HPLC-ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 1560-1563.
529. Dos Santos J.S., De la Guárdia M., Pastor A., Dos Santos M.L.P. Determination of organic and inorganic mercury species in water and sediment samples by HPLC on-line coupled with ICP-MS // *Talanta.* 2009. V. 80. P. 207-211.
530. Mounicou S., Szpunar J., Lobinski R., Andrey D., Blake C.-J. Bioavailability of cadmium and lead in cocoa: comparison of extraction procedures prior to size-exclusion fast-flow liquid chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometric detection (SEC-ICP-MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 880-886.
531. Vacchina V., Połec K., Szpunar J. Speciation of cadmium in plant tissues by size-exclusion chromatography with ICP-MS detection // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 1557-1566.
532. Vacchina V., Mari S., Czernic P., Marquès L., Pianelli K., Schaumlöffel D., Lebrun M., Łobiński R. Speciation of nickel in a hyperaccumulating plant by high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry and electrospray MS/MS assisted by cloning using yeast complementation // *Anal. Chem.* 2003. V. 75. P. 2740-2745.
533. Lindemann T., Prange A., Dannecker W., Neidhart B. Simultaneous determination of arsenic, selenium and antimony species using HPLC/ICP-MS // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1999. V. 364. P. 462-466.
534. Londesborough S., Mattusch J., Wennrich R. Separation of organic and inorganic arsenic species by HPLC-ICP-MS // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1999. V. 363. P. 577-581.
535. Pedersen G.A., Larsen E.H. Speciation of four selenium compounds using high performance liquid chromatography with on-line detection by inductively coupled plasma mass spectrometry or flame atomic absorption spectrometry // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1997. V. 358. P. 591-598.
536. Połatajko A., Banas B., Encinar J.R., Szpunar J. Investigation of the recovery of selenomethionine from selenized yeast by two-dimensional LC-ICP-MS // *Anal. Bioanal. Chem.* 2005. V. 381. P. 844-849.
537. Bird S.M., Uden P.C., Tyson J.F., Block E., Denoyer E. Speciation of selenoamino acids and organoselenium compounds in selenium-enriched yeast using high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 785-788.
538. Yoshida K., Hasegawa T., Haraguchi H. Determination of amino acids by liquid chromatography with inductively coupled plasma atomic emission spectrometric detection // *Anal. Chem.* 1983. V. 55. P. 2106-2108.
539. Szpunar J., Pellerin P., Makarov A., Doco T., Williams P., Medina B., Łobiński R. Speciation of metal-carbohydrate complexes in fruit and vegetable samples by size-exclusion HPLC-ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 639-644.
540. Sanchez L.F., Szpunar J. Speciation analysis for iodine in milk by size-exclusion chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometric detection (SEC-ICP-MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 1697-1702.
541. Miravet R., López-Sánchez J.F., Rubio R., Smichowski P., Polla G. Speciation analysis of antimony in extracts of size-classified volcanic ash by HPLC-ICP-MS // *Anal. Bioanal. Chem.* 2007. V. 387. P. 1949-1954.
542. Schöppenthau J., Nölte J., Dunemann L. High-performance liquid chromatography coupled with array inductively coupled plasma optical emission spectrometry for the separation and simultaneous detection of metal and non-metal species in soybean flour // *Analyst.* 1996. V. 121. P. 845-852.
543. Jackson B.P., Miller W.P. Arsenic and selenium speciation in coal fly ash extracts by ion chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 1107-1112.

544. Kotrebai M., Bird S.M., Tyson J. F., Block E., Uden P.C. Characterization of selenium species in biological extracts by enhanced ion-pair liquid chromatography with inductively coupled plasma-mass spectrometry and by referenced electrospray ionization-mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1999. V. 54. P. 1573-1591.
545. Gammelgaard B., Jons O. Comparison of an ultrasonic nebulizer with a cross-flow nebulizer for selenium speciation by ion chromatography and inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 499-505.
546. Nolan A., Schaumlöffel D., Lombi E., Ouerdane L., Łobiński R., McLaughlin M. Determination of $Tl^{(I)}$ and $Tl^{(III)}$ by IC-ICP-MS and application to Tl speciation analysis in the Tl hyperaccumulator plant *Iberis intermedia* // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 757-761.
547. Barrero Moreno J.M., Garsia Alonso J.I., Arbore P., Nicolaou G., Koch L. Characterization of spent nuclear fuels by ion chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 929-935.
548. Garsia Alonso J.I., Sena F., Arbore P., Betti M., Koch L. Determination of fission products and actinides in spent nuclear fuels by isotope dilution ion chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1995. V. 10. P. 381-393.
549. Perna L., Betti M., Barrero Moreno J.M., Fuoco R. Investigation on the use of UTEVA as a stationary phase for chromatographic separation of actinides on-line to inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 26-31.
550. Solatie D., Carbol P., Betti M., Bocci F., Hiernaut T., Rondinella V.V., Cobos J. Ion chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry (IC-ICP-MS) and radiometric techniques for the determination of actinides in aqueous leachate solutions from uranium oxide // *Fresenius J. Anal. Chem.* 2000. V. 368. P. 88-94.
551. Krasnodębska-Ostręga B., Asztemborska M., Golimowski J., Strusińska K. Determination of thallium forms in plant extracts by anion exchange chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometry detection (IC-ICP-MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2008. V. 23. P. 1632-1635.
552. Wuilloud R.G., Kannamkumarath S.S., Caruso J.A. Speciation of nickel, copper, zinc, and manganese in different edible nuts: a comparative study of molecular size distribution by SEC-UV-ICP-MS // *Anal. Bioanal. Chem.* 2004. V. 379. P. 495-503.
553. Boulyga S.F., Loretti V., Bettmer J., Heumann K.G. Application of SEC-ICP-MS for comparative analyses of metal-containing species in cancerous and healthy human thyroid samples // *Anal. Bioanal. Chem.* 2004. V. 380. P. 198-203.
554. Elizalde-González M.P., Mattusch J., Wennrich R. Arsenic speciation analysis in solutions treated with zeolites // *Microchim. Acta.* 2005. V. 151. P. 257-262.
555. Seubert A., Wilhartitz P., Krismer R., Krabichler H. On-line coupling of ion chromatography and atomic spectrometry and use of direct graphite furnace atomic absorption spectrometry as a new tools for ultra trace determinations in refractory metals // *Microchim. Acta.* 1995. V. 117. P. 245-260.
556. Umemura T., Kitaguchi R., Haraguchi H. Counterionic detection by ICP-AES for determination of inorganic anions in water elution ion chromatography using a zwitterionic stationary phase // *Anal. Chem.* 1998. V. 70. P. 936-942.
557. Romero-González M.E., Williams C.J., Gardiner H.E. The application of dealginated seaweed as a cation exchanger for on-line preconcentration and chemical speciation of trace metals // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 1009-1013.
558. Kozono S., Takahashi S., Haraguchi H. Determination of trace phosphorus in high purity tantalum materials by inductively coupled plasma mass spectrometry subsequent to matrix separation with on-line anion exchange/coprecipitation // *Anal. Bioanal. Chem.* 2002. V. 372. P. 542-548.
559. Kozono S., Takashi R., Haraguchi H. Determination of ultratrace impurities in high purity tantalum materials by on-line anion exchange matrix separation and inductively coupled plasma mass spectrometry // *Anal. Sci.* 2000. V. 16. P. 69-74.
560. Yang K.-L., Jiang S.-J., Hwang T.-J. Determination of titanium and vanadium in water samples by inductively coupled plasma mass spectrometry with on-line preconcentration // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 139-143.
561. Nelms S.M., Greenway G.M., Koller D. Evaluation of controlled-pore glass immobilized iminodiacetate as a reagent for automated on-line matrix separation for inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 907-912.
562. Yourd E.R., Tyson J.F., Koons R.D. On-line matrix removal of lead for the determination of trace elements in forensic bullet samples by flow injection inductively coupled plasma-mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2001. V. 56. P. 1731-1745.
563. Rocha A.A., Miekeley N., Bezerra M.C.M., Kuchler I.L. An automated system for preconcentration/matrix-removal followed by ICP-MS determination of organic phosphorus in oil production water // *Microchem J.* 2004. V. 78. P. 65-70.
564. Moreda-Piñeiro J., Alonso-Rodríguez E., López-Mahía P., Muniategui-Lorenzo S., Prada-Rodríguez D., Moreda-Piñeiro A., Bermejo-Barrera P. Determination of major and trace elements in human scalp hair by pressurized-liquid extraction with acetic acid and inductively coupled plasma-optical-emission spectrometry // *Anal. Bioanal. Chem.* 2007. V. 388. P. 441-449.

565. Alonso-Rodríguez E., Moreda-Piñeiro J., López-Mahía P., Muniategui-Lorenzo S., Prada-Rodríguez D., Moreda-Piñeiro A., Bermejo-Barrera P. Use of chelating solvent-based pressurized liquid extraction combined with inductively coupled plasma-optical emission spectrometry for trace element determination in atmospheric particulate matter // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2007. V. 22. P. 1089-1096.
566. Sun Y.-C., Mierzwa J., Lin C.-F., Yeh T.I., Yang M.-H. Selective precipitation separation and inductively coupled plasma mass spectrometric determination of trace metal impurities in high purity silver // *Analyst.* 1997. V. 122. P. 437-440.
567. Panday V.K., Becker J.S., Dietze H.-J. Determination of trace impurities in tantalum by inductively coupled plasma mass spectrometry after removal of the matrix by liquid-liquid extraction // *Anal. Chim. Acta.* 1996. V. 329. P. 153-159.
568. Pu Q., Su Z., Hu Z., Chang X., Yang M. 2-mercaptobenzothiazole-bonded silica gel as selective absorbent for preconcentration of gold, platinum and palladium prior to their simultaneous inductively coupled plasma optical emission spectrometric determination // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 249-253.
569. Mulugeta M., Wibetoe G., Engelsen C.J., Lund W. Speciation analysis of As, Sb and Se in leachates of cementitious construction materials using selective solid phase extraction and ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2010. V. 25. P. 169-177.
570. Pavlíčková J., Zbiral J., Čižárová E., Kubáň V. Comparison of *aqua regia* and $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ procedures for extraction of Tl and some other elements from soils // *Anal. Bioanal. Chem.* 2003. V. 376. P. 118-125.
571. Fujimori E., Hayashi T., Inagaki K., Haraguchi H. Determination of lanthanum and rare earth elements in bovine whole blood reference material by ICP-MS after coprecipitation preconcentration with heme-iron as coprecipitant // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1999. V. 363. P. 277-282.
572. Liang P., Liu Y., Guo L. Determination of molybdenum in steel samples by ICP-AES after separation and preconcentration using nanometre-sized titanium dioxide // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 1006-1009.
573. Karandashev V.K., Turanov A.N., Kuß H.-M., Kumpmann I., Zadnepruk L.V., Baulin V.E. Extraction chromatographic separation of Y, REE, Bi, Th, and U from the matrix suitable for their determination in pure iron and low-alloyed steels by ICP-MS and ICP-AES // *Microchim. Acta.* 1998. V. 130. P. 47-54.
574. Xiao-quan S., Jun T., Guang-guo X. Determination of trace elements in water, sea water and biological samples by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry after pre-concentration with ammonium pyrrolidinedithiocarbamate precipitation // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 259-263.
575. Beary E.S., Paulsen P.J. Determination of ultratrace neodymium in high-purity lanthanum compounds by high-accuracy isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometric analysis with chemical preconcentration // *Anal. Chem.* 1994. V. 66. P. 431-439.
576. Beary E.S., Paulsen P.J., Fassett J.D. Sample preparation approaches for isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometric certification of reference materials // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1363-1369.
577. Montero P., Bea F. Accurate determination of $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ and $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ ratios by inductively-coupled-plasma mass spectrometry in isotope geoscience: an alternative to isotope dilution analysis // *Anal. Chim. Acta.* 1998. V. 358. P. 227-233.
578. Perna L., Bocci F., De Las Heras L.A., De Pablo J., Betti M. Studies of simultaneous separation and determination of lanthanides and actinides by ion chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry combined with isotope dilution mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 1166-1171.
579. Hinrichs J., Schnetger B. A fast method for the simultaneous determination of ^{230}Th , ^{234}U and ^{235}U with isotope dilution sector field ICP-MS // *Analyst.* 1999. V. 124. P. 927-932.
580. Rädlinger G., Heumann K.G. Iodine determination in food samples using inductively coupled plasma isotope dilution mass spectrometry // *Anal. Chem.* 1998. V. 70. P. 2221-2224.
581. Luan S., Pang H.-M., Houk R.S. Optical emission studies of the Mach disc extracted from an inductively coupled plasma with an échelle spectrometer and segmented-array charge-coupled detectors // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 247-252.
582. Nakamura Y., Takahashi K., Kujirai O., Okochi H., McLeod C.W. Evaluation of an axially and radially viewed inductively coupled plasma using an échelle spectrometer with wavelength modulation and second-derivative detection // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 751-757.
583. Nakamura Y., Takahashi K., Kujirai O., Okochi H. Determination of rare elements in yttrium, lanthanum, gadolinium and ytterbium matrices using an échelle-type spectrometer and inductively coupled plasma atomic emission // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1990. V. 5. P. 501-508.
584. Matschat R., Czerwensky M. Trace analysis of selected high-purity metals using high-resolution inductively coupled plasma mass spectrometry and inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *Phys. Stat. Sol. Part A.* 1997. V. 160. P. 567-574.
585. Séby F., Gagean M., Garraud H., Castetbon A., Donard O.F.X. Development of analytical

- procedures for determination of total chromium by quadrupole ICP-MS and high-resolution ICP-MS, and hexavalent chromium by HPLC-ICP-MS, in different materials used in the automotive industry // *Anal. Bioanal. Chem.* 2003. V. 377. P. 685-694.
586. Sadler D.A., Littlejohn D., Perkins C.V. Use of signal-to-root background ratio as the optimization parameter for inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy with charged-coupled device detection // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1996. V. 11. P. 207-212.
587. Xie Q., Kerrich R. Optimization of operating conditions for improved precision of zirconium and hafnium isotope ratio measurement by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1995. V. 10. P. 99-103.
588. Quérel C.R., Thomas B., Donard O.F.X., Grousset F.E. Factorial optimization of data acquisition factors for lead isotope ratio determination by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1997. V. 52. P. 177-187.
589. Schramel P., Li-qiang X. Further investigation of argon-hydrogen plasma in ICP-spectroscopy // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1984. V. 319. P. 229-239.
590. Raut N.M., Huang L.-S., Aggarwal S.K., Lin K.-C. Determination of lanthanides in rock samples by inductively coupled plasma mass spectrometry using thorium as oxide and hydroxide correction standard // *Spectrochim. Acta. Part B.* 2003. V. 58. P. 809-822.
591. Jaron I., Kudowska B., Bulska E. Determination of rare earth elements in geological samples by ICP-OES // *Atom. Spectrosc.* 2000. V. 21. P. 105-110.
592. Tanner S.D. Plasma temperature from ion kinetic energies and implications for the source of diatomic oxide ions in inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 891-897.
593. Marichy M., Mermet M., Mermet J.-M. Relationship between detection limits and mechanisms in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1987. V. 2. P. 561-565.
594. Wolnik K.L., Gaston C.M., Fricke F.L. Analysis of glass in product tampering investigations by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry with a hydrofluoric acid resistant torch // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1989. V. 4. P. 27-31.
595. Sheffer A., Engelhard C., Sperling M., Busher W. Introducing wet aerosols into static high sensitivity ICP (SHIP) // *Anal. Bioanal. Chem.* 2007. V. 388. P. 1605-1613.
596. Jarvis K.E., Mason P., Platzner T., Williams J.G. Critical assessment of the effects of skimmer cone geometry on spectroscopic and non-spectroscopic interference in inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1998. V. 13. P. 689-696.
597. Gray A.L. Visual observation of shock waves in an inductively coupled plasma mass spectrometry expansion stage // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1989. V. 4. P. 371-373.
598. Nelms S.M., Quérel C.R., Prohaska T., Vogl J., Taylor P.D.P. Evaluation of detector dead time calculation models for ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 333-338.
599. Isoyama H., Uchida T., Niwa T., Iida C., Nakagawa G. Small spray chamber for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and its evaluation by a digital signal sampling technique // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1989. V. 4. P. 351-355.
600. Asfaw A., Wibetoe G. A new demountable hydrofluoric acid resistant triple mode sample introduction system for ICP-AES and ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2007. V. 22. P. 158-163.
601. Petry C.F., Pozebon D., Bentlin F.R.S. Evaluation of ICP-OES applicability for trace element determination in environmental samples // *Atom. Spectrosc.* 2005. V. 26. P. 19-27.
602. Michaud-Poussel E., Mermet J.M. Comparison of nebulizers working below 0.8 l min^{-1} in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1986. V. 41. P. 49-61.
603. Wolcott J.F., Sobel C.B. Fabrication of a Babington-type nebulizer for ICP sources // *Appl. Spectrosc.* 1982. V. 36. P. 685-686.
604. Cecconie T., Muralidharan S., Freiser H. Characterization of micro-Babington and cross-flow type nebulizers for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Appl. Spectrosc.* 1988. V. 42. P. 177-179.
605. Godoy M.L.D.P., Godoy J.M., Roldão L.A. Application of ICP-QMS for the determination of plutonium in environmental samples for safeguards purposes // *J. Envir. Radioact.* 2007. V. 97. P. 124-136.
606. Nam S.-H., Lim J.-S., Montaser A. High-efficiency nebulizer for argon inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1357-1362.
607. Rademeyer C.J., Collins C.S., Butler L.R.P. Rotating disc nebulizer for inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1991. V. 6. P. 329-333.
608. Vais V., Li C., Cornett J. Preventing uranium hydride formation in standard uranium samples for determination of ^{239}Pu by ICP-MS // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 1281-1283.
609. Hinds M.W., Kogan V.V. Determination of silicon in fine gold by solution and soil sample graphite furnace atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 451-455.
610. Nakamura Y., Takahashi K., Kujrai O., Okochi N. Evaluation of electrothermal vaporization, emission intensity-time-wavelength measurement and time resolution combined with an axially viewed

- horizontal inductively coupled plasma using an echelle spectrometer with wavelength modulation // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 349-354.
611. Millward C.G., Kluckner P.D. Determination of low levels of cadmium in marine and fresh water sediments by graphite furnace atomic absorption spectrometry employing a reduced palladium chloride modifier and by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1991. V. 6. P. 37-40.
612. Reinhardt H., Kriews M., Miller H., Lüdke C., Hoffmann E., Skole J. Application of LA-ICP-MS in polar ice core studies // *Anal. Bioanal. Chem.* 2003. V. 375. P. 1265-1275.
613. Vaculovic T., Sulovsky P., Machat J., Otruba V., Matal O., Simo T., Latkoczy C., Günther D., Kanicky V. The EPMA, LA-ICP-MS and ICP-OES study of corrosion of structural materials for a nuclear reactor cooling circuit by molten fluoride salt treatment // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2009. V. 24. P. 649-654.
614. Merten D., Broekaert J.A.C., Le Marchand A. Application of a rapid sequential inductively coupled plasma optical emission spectrometric method for the analysis of materials with linerich emission spectra by different means of sample introduction // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 1387-1390.
615. Debrah E., Beres S.A., Gluodenis T.J., Jr., Thomas R.J., Denoyer E.R. Benefit of a microconcentric nebulizer for the multielement analysis of small sample volumes by inductively coupled plasma-mass spectrometry // *Atom. Spectrosc.* 1995. V. 16. P. 197-202.
616. Linge K.L. Trace element determination by ICP-AES and ICP-MS: developments and applications reported during 2004 and 2005 // *Geostand. Geoanal. Res.* 2006. V. 30. P. 157-169.
617. Gustavsson A. Comparison of an indirect and a direct method for measuring the efficiency of nebulizer systems // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1986. V. 41. P. 291-294.
618. Olesik J.W., Kinzer J.A., Harkleroad B. Inductively coupled plasma optical emission spectrometry using nebulizers with widely different sample consumption rates // *Anal. Chem.* 1994. V. 66. P. 2022-2030.
619. Probst T., Zeh P., Kim J.-I. Multielement determinations in ground water ultrafiltrates using inductively coupled plasma mass spectrometry and monostandard neutron activation analysis // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1995. V. 351. P. 745-751.
620. Sansoni B., Brunner W., Wolff G., Ruppert H., Dittrich R. Comparative instrumental multi-element analysis. I: comparison of ICP source mass spectrometry with ICP atomic emission spectrometry, ICP atomic fluorescence spectrometry and atomic absorption spectrometry for the analysis of natural waters from a granite region // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1988. V. 331. P. 154-169.
621. Somogyi A., Szalóki I., Braun M. Investigation of lead transport effect from glazed pottery to liquid medium by EDXRF and ICP-AES methods // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 479-482.
622. Kaiser G., Meyer A., Friess M., Riedel R., Harris M., Jacob E., Tölg G. Critical comparison of ICP-OES, XRF and fluorine volatilization-FTIR spectrometry for the reliable determination of the silicon main constituent in ceramic materials // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1995. V. 352. P. 318-326.
623. Pepelnik R., Prange A., Niedergesäß R. Comparative study of multi-element determination using inductively coupled plasma mass spectrometry, total reflection X-ray fluorescence spectrometry and neutron activation analysis // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 1071-1074.
624. Tsolakidou A., Kilikoglou V. Comparative analysis of ancient ceramics by neutron activation analysis, inductively coupled plasma-optical-emission spectrometry, inductively coupled plasma-mass spectrometry, and X-ray fluorescence // *Anal. Bioanal. Chem.* 2002. V. 374. P. 566-572.
625. De las Heras L.A., Bocci F., Betti M., Actis-Dato L.O. Comparison between the use of direct current glow discharge mass spectrometry and inductively coupled plasma quadrupole mass spectrometry for the analysis of trace elements in nuclear samples // *Fresenius J. Anal. Chem.* 2000. V. 368. P. 95-102.
626. Sanzalone R.F. Inductively coupled plasma atomic fluorescence spectrometric determination of cadmium, copper, iron, lead, manganese and zinc // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1986. V. 1. P. 343-347.
627. Ljubomirova V., Djingova R. Speciation of inorganic platinum-chloride complexes in spiked environmental samples by SPE and ICP-AES // *Anal. Chim. Acta.* 2008. V. 614. P. 119-126.
628. Webb E., Amarasiriwardena D., Tauch S., Green E.F., Jones J., Goodman A.H. Inductively coupled plasma-mass (ICP-MS) and atomic emission spectrometry (ICP-AES): versatile analytical techniques to identify the archived elemental information in human teeth // *Microchem J.* 2005. V. 81. P. 201-208.
629. Stummeyer J., Wunsch G. Bestimmung von elementspuren in niob durch ICP-AES und ICP-MS mit und ohne spuren-matrix-trennung // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1991. V. 340. P. 269-277.
630. Bakhtar D., Bradford G.R., Lund L.J. Dissolution of soils and geological materials for simultaneous elemental analysis by inductively coupled plasma optical emission spectrometry and atomic absorption spectrometry // *Analyst.* 1989. V. 114. P. 901-909.
631. Mahan C., Bonchin S., Figg D., Gerth D., Collier C. Chromatographic extraction of plutonium and inorganic impurity analysis using ICP-MS and ICP-AES // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 929-935.

632. Fordham P.J., Gramshaw J.W., Castle L., Crews H.M., Thompson D., Parry S.J., McCurdy E. Determination of trace elements in food contact polymers by semi-quantitative inductively coupled plasma mass spectrometry. Performance evaluation using alternative multi-element techniques and in-house polymer reference materials // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1995. V. 10. P. 303-309.
633. Bögershausen W., Cicciarelli R., Gercken B., König E., Krivan V., Müller-Käfer R., Pavel J., Seltner H., Schelcher J. Pure graphite as a reference material for the determination of trace elements – an interlaboratory collaborative study // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1997. V. 357. P. 266-273.
634. Wennrich R., Mattusch J., Morgenstern P., Dzherayan T.G., Shkinev V.M., Spivakov B.Y. Size and phase fractionation of water components by membrane filtration. Distribution patterns for arsenic, iron and manganese in aqueous effluents of tin ore setting plant // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1997. V. 359. P. 161-166.
635. Reitznerová E., Amarasiriwardena D., Kopčáková M., Barnes R.M. Determination of some trace elements in human tooth enamel // *Fresenius J. Anal. Chem.* 2000. V. 367. P. 748-754.
636. Chang C.-Y., Wang C.-F., Mui D.T., Chuang H.-L. Application of methods (sequential extraction procedures and high-pressure digestion method) to fly ash particles to determine the element constituents: a case study for BCR 176 // *J. Hazard. Mater.* 2009. V. 163. P. 578-587.
637. Novaro E., Pagnozzi R., Tomellini R. Rapid method for the determination of phosphides in stainless-steel slag by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Analyst.* 1989. V. 114. P. 1335-1336.
638. Uchida T., Kojima I., Iida C. Discrete nebulization in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry of manganese // *Analyst.* 1986. V. 111. P. 791-793.
639. Akagi T., Haraguchi H. Simultaneous multielement determination of trace metals using 10 ml of seawater by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry with gallium coprecipitation and microsampling technique // *Anal. Chem.* 1990. V. 62. P. 81-85.
640. Bissen M., Vieillard-Baron M.-M., Schindelin A.J., Frimmel F.H. TiO₂-catalyzed photooxidation of arsenite to arsenate in aqueous samples // *Chemosphere.* 2001. V. 44. P. 751-757.
641. Siripinyanond A., Barnes R.M. Flow field-flow fractionation-inductively coupled plasma mass spectrometry and metal speciation in proteins: a feasibility study // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1999. V. 14. P. 1527-1531.
642. Halicz L., Erel Y., Veron A. Lead isotope ratio measurements by ICP-MS: accuracy, precision, and long-term drift // *Atom. Spectrosc.* 1996. V. 17. P. 186-189.
643. Tagami K., Uchida S. ICP-MS determination of Re at ultra levels in rock and soil samples // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 669-671.
644. Howe S.E., Davidson C.M., McCartney M. Determination of uranium concentration and isotopic composition by means of ICP-MS in sequential extracts of sediment from the vicinity of uranium enrichment plant // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 497-501.
645. Wolf R.E., Denoyer E.R. Design and performance criteria for a new ICP-MS for environmental analysis // *Atom. Spectrosc.* 1995. V. 16. P. 22-27.
646. Laborda F., Medrano J., Castillo J.R. Quality of quantitative and semiquantitative results in inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2001. V. 16. P. 732-738.
647. Stoch A. Analysis of rare earth elements in natural waters by ICP-MS // *Atom. Spectrosc.* 1992. V. 13. P. 89-92.
648. Al-Hefne J., Al-Dyel O., Chowdhury D.A., Al-Ajayan T. Distribution and ICP-MS determination of heavy elements in the surficial sand along the Red sea coastline of Saudi Arabia // *Atom. Spectrosc.* 2005. V. 26. P. 51-58.
649. Rao S.V., Venkateswarlu G., Dash K., Dhavile S.M., Chaurasia S.C., Arunachalam J. Ultrasound-assisted acid extraction of trace impurities from quartz samples followed by ICP-OES analysis // *Atom. Spectrosc.* 2004. V. 25. P. 251-256.
650. Monecke T., Bombach G., Klemm W., Götze U. J., Wolf D. Determination of trace elements in the quartz reference material UNS-SpS and in natural quartz samples by ICP-MS // *Geostand. Newsletter.* 2000. V. 24. P. 73-81.
651. Haichen L., Ying L., Zhanxia Z. Determination of ultra-trace rare earth elements in chondritic meteorites by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochim. Acta. Part B.* 1997. V. 53. P. 1399-1404.
652. Anil G., Ramanji M., Reddy M.R.P., Kumar A., Prakash T.L., Sethi V.C. ICP-OES determination of Ta, Nb, Fe, Ti, Sn, Mn, and W in Indian tantalite-niobate ore concentrate using microwave digestion // *Atom. Spectrosc.* 2002. V. 23. P. 32-35.
653. Conte R.A., Mermet J.-M., De Anchieta Rodrigues J., Di Martino J.-L. Analysis of tantalum products by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 1215-1220.
654. Hu J., Wang H. Determination of trace elements in super alloy by ICP-MS // *Microchim. Acta.* 2001. V. 137. P. 149-155.
655. Molnár G., Borossay J., Varga Z.B., Ballók M., Bartha A. Microwave digestion of thermoluminescent aluminium-oxide powders and determination of trace impurities by inductively coupled plasma optical emission spectroscopy // *Microchim. Acta.* 2000. V. 134. P. 193-197.

656. Mann S., Geilenberg D., Broekaert J.A.C., Jansen M. Digestion methods for advanced ceramic materials and subsequent determination of silicon and boron by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 975-979.
657. Raffalt A.C., Andersen J.E.T., Christgau S. Application of inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and quality assurance to study the incorporation of strontium into bone, bone marrow, and teeth of dogs after one month of treatment with strontium malonate // *Anal. Bioanal. Chem.* 2008. V. 391. P. 2199-2207.
658. Borisov O.V., Coleman D.M., Oudsema K.A., Carter III R.O. Determination of platinum, palladium, rhodium and titanium in automotive catalytic converters using inductively coupled plasma mass spectrometry with liquid nebulization // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1997. V. 12. P. 239-246.
659. Wang C.-F., Miao T.T., Perng J.Y., Chiang P.C., Tsai H.T., Yang M.H. Multi-element analysis of airborne particulate matter by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Analyst.* 1989. V. 114. P. 1067-1070.
660. Witcofsky J.R., Ketkar S.N., George M.A., Kahr J.C. Analysis of metals in the non-volatile residue of liquid phase WF_6 // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2000. V. 15. P. 1474-1478.
661. Merson S., Evans P. A high accuracy reference method for the determination of minor elements in steel by ICP-OES // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2003. V. 18. P. 372-375.
662. Howe S.E., Davidson C.M., McCartney M. Determination of uranium concentration and isotopic composition by means of ICP-MS in sequential extracts of sediment from the vicinity of a uranium enrichment plant // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2002. V. 17. P. 497-501.
663. Morikawa H., Ishizuka T. Determination of impurities in barium titanate by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Analyst.* 1987. V. 112. P. 999-1002.
664. Sanzalone R.F., Meier A.L. Determination of Ca, Mg, Na, Cd, Cu, Fe, K, Li and Zn in acid mine and reference water samples by inductively coupled plasma atomic fluorescence spectrometry // *Analyst.* 1986. V. 111. P. 645-649.
665. Davies J.A., Jefferies A.C. Size distribution of particulate matter in exhaust gases in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *Analyst.* 1986. V. 111. P. 221-223.
666. Date A.R., Cheung Y.Y., Stuart M.E. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry to the analysis of iron ores // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1988. V. 3. P. 653-658.
667. Date A.R., Cheung Y.Y. Studies in the determination of lead isotope ratios by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Analyst.* 1987. V. 112. P. 1531-1540.
668. Juvonen R., Kallio E., Lakomaa T. Determination of precious metals in rocks by inductively coupled plasma mass spectrometry using nickel sulfide concentration. Comparison with other pre-treatment methods // *Analyst.* 1994. V. 119. P. 617-621.
669. Wandt M.A.E., Bruno Pougnet M.A., Rodgers A.L. Determination of calcium, magnesium and phosphorus in human stones by inductively coupled plasma atomic-emission spectroscopy // *Analyst.* 1984. V. 109. P. 1071-1074.
670. Sanz-Medel A., Uriá J.E.S. Inductively coupled plasma emission spectrometry in the analysis of rare earth – transition metal ultra-thin magnetic films // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1986. V. 1. P. 149-152.
671. Laborda F., Medrano J., Castillo J.R. Influence of number of calibration points on the quality of results in inductively coupled plasma mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 2004. V. 19. P. 1434-1441.
672. Paudyn A.M., Smith R.G. Applications of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry in occupational health // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1990. V. 5. P. 523-529.
673. Pepelnik R., Prange A., Janzen E., Krause P., Tümping W.V. Development and application of ICP-MS in Elbe river research // *Fresenius J. Anal. Chem.* 1997. V. 359. P. 346-351.
674. Rivoldini A., Fadda S. Inductively coupled plasma mass spectrometric determination of low-level rare earth elements in rocks using potassium-based fluxes for sample decomposition // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1994. V. 9. P. 519-524.
675. Del Barrio S., Benito R., Valle F.J. Analysis of glasses from the V_2O_5 - As_2O_3 - BaO system using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1993. V. 8. P. 839-842.
676. Fernández Sánchez M.L., Palacio Suarez J., Fernández Molina E., Sanz Medel A. Rapid determination of eight elements in cement and its raw mixes by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1987. V. 2. P. 491-495.
677. Date A.R., Hutchison D. Determination of rare earth elements in geological samples by inductively coupled plasma source mass spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1987. V. 2. P. 269-276.
678. Karstensen K.H., Lund W. Multi-element analysis of a city waste incineration ash reference sample by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // *J. Anal. Atom. Spectrom.* 1989. V. 4. P. 357-359.
679. Djingova R., Zlateva B., Kuleff I. On the possibilities of inductively coupled plasma mass spectrometry for analysis of archaeological bones for reconstruction of paleodiet // *Talanta.* 2004. V. 63. P. 785-789.
680. Friese K., Frömmichen R., Witter B., Müller H. Determination of trace metals in freshwater leech

Erpobdella octoculata of the Elbe river – evaluation of the analytical protocol // Acta Hydrochim. Hydrobiol. 2003. V. 31. P. 346-355.

681. Molnár G., Borossay J., Vagra Z.B., Ballók M., Bartha A. Microwave digestion of thermoluminescent aluminium-oxide powders and determination of trace impurities by inductively coupled plasma optical emission spectroscopy // Microchim. Acta. 2000. V. 134. P. 193-197.

682. Arslan Z., Tyson J.F. Determination of trace elements in siliceous samples by ICP-MS after precipitation of silicon as sodium fluorosilicate // Microchim. Acta. 2008. V. 160. P. 219-225.

683. Krause P., Kriews M., Dannecker W., Garbe-Schönberg C.-D., Kersten M. Determination of ^{206/207}Pb isotope ratios by ICP-MS in particulate matter from the North Sea environment // Fresenius J. Anal. Chem. 1993. V. 347. P. 324-329.

684. Wennrich R., Mroczek A., Dittrich K., Werner G. Determination of nonmetals using ICP-AES-techniques // Fresenius J. Anal. Chem. 1995. V. 352. P. 461-469.

685. Chassery S., Grousset F.E., Lavaux G., Quélet C.R. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr measurements on marine sediments by inductively coupled plasma-mass spectrometry // Fresenius J. Anal. Chem. 1998. V. 360. P. 230-234.

686. Amarasiriwardena D., Sharma K., Barnes R.M. Determination of lead concentration and lead isotope ratios in calcium supplements by inductively coupled plasma mass spectrometry after high pressure, high temperature digestion // Fresenius J. Anal. Chem. 1998. V. 362. P. 493-497.

687. Browner R.F., Boorn A.W. Sample introduction techniques for atomic spectroscopy // Anal. Chem. 1984. V. 56. P. 875A-888A.

688. O'Brien S.-A. E., McLean J.A., Acon B.W., Eshelman B.J., Bauer W.F., Montaser A. Determination of memory-prone elements using direct injection high efficiency nebulizer inductively coupled plasma mass spectrometry // Appl. Spectrosc. 2002. V. 56. P. 1006-1012.

689. Lin S.-Y., Wang G.-R., Huang Q.-P., Liu C.-Y. Speciation of selenium compounds by open tubular capillary electrochromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry // Electrophoresis. 2006. V. 27. P. 4257-4265.

690. Chen W.-H., Lin S.-Y., Liu C.-Y. Capillary electrochromatography separation of metal ion species with on-line detection by inductively coupled plasma mass spectrometry // Anal. Chim. Acta. 2000. V. 410. P. 25-35.

691. Chou C.L., Uthe J.F. Thallium, uranium, and ²³⁵U/²³⁸U ratios in the digestive gland of american lobster (*Homarus americanus*) from an industrial harbor // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1995. V. 54. P. 1-7.

692. De Sousa R.A., Baccan N., Cadore S. Determination of metals in brasilian coconut water using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer // J. Braz. Chem. Soc. 2005. V. 16. P. 540-544.

693. Pinna K., Woodhouse L.R., Sutherland B., Shames D.M., King J.C. Exchangeable zinc pool masses and turnover are maintained in healthy men with low zinc intakes // J. Nutr. 2001. V. 131. P. 2288-2294.

CROSS-FLOW PNEUMATIC NEBULIZERS FOR SPECTROMETRY WITH INDUCTIVELY COUPLED PLASMA

V.T. Surikov

*Institute of solid state chemistry, UB RAS, RF
Pervomaiskaya, 91, Ekaterinburg, 620990, RF
surikov@ihim.uran.ru*

Literature information on design, features, investigations and applications of pneumatic cross-flow nebulizers for analytical inductively coupled plasma spectrometry are reviewed and systematized.

Key words: cross-flow nebulizers, aerosol, inductively coupled plasma, matrix effects