

# АТОМНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ:

Руководство по выбору  
подходящего метода анализа и прибора



От мирового лидера в ААС, ИСП-ОЭС и ИСП-МС



Атомная спектроскопия - это метод определения элементного состава вещества по его электромагнитному или изотопному спектру. Существуют разные аналитические методы, и выбор наиболее подходящего метода является ключом к получению правильных, надежных и объективных результатов.

Для правильного выбора метода требуется понимание основных принципов каждого метода, его возможностей и ограничений, а также знание требований, предъявляемых вашей лабораторией: необходимая чувствительность определений элементов, рабочий диапазон определяемых концентраций элементов, количество анализируемых образцов и качество получаемых данных.

Далее Вашему вниманию представлен обзор основ наиболее широко используемых методов и информация, необходимая для выбора того метода, который наилучшим образом будет отвечать вашим требованиям и приложениям.

### Основные области

Во многих областях науки и промышленности требуется определение различных элементов в широком круге образцов.

Ключевыми областями являются:

- Окружающая среда
- Химическая промышленность
- Геохимия и горнодобывающая промышленность
- Биомониторинг
- Продукты питания
- Сельское хозяйство
- Нефтехимическая промышленность
- Полупроводниковая промышленность
- Атомная промышленность
- Возобновляемые источники энергии
- Фармацевтическая промышленность

За более подробной информацией обращайтесь к странице 13.



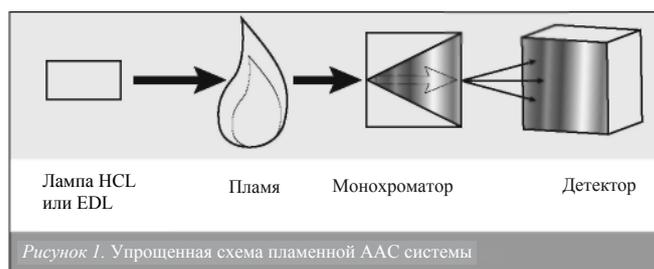
Существует три широко применяемых спектрально-аналитических метода: атомно-абсорбционный, атомно-эмиссионный и масс-спектральный. Эти методы и будут находиться в фокусе нашего обсуждения, что позволит нам проникнуть глубже в суть наиболее распространенных аналитических техник на сегодняшний день:

- Пламенная атомно-абсорбционная спектрометрия (FAAS, ААС)
- Атомно-абсорбционная спектрометрия с электротермической атомизацией в графитовой кювете (GFAAS, ЭТААС)
- Оптическая (атомно-) эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES, ИСП-ОЭС = ИСП-АЭС)
- Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS, ИСП-МС)

## Пламенная атомно-абсорбционная спектроскопия

Атомная абсорбция (АА) – это процесс, происходящий, когда атом, находящийся в невозбужденном (основном) состоянии поглощает энергию в виде света с определенной длиной волны и переходит в возбужденное состояние. Количество световой энергии, поглощенной при данной длине волны, пропорционально увеличивается с увеличением количества атомов данного элемента в световом пути. Отношение между количеством поглощенного света и концентрацией атомов анализируемого элемента в стандартном растворе известного содержания может быть использовано для определения концентраций этого элемента в растворе с неизвестной концентрацией путем измерения количества поглощенной им энергии.

Основное оборудование для анализа атомной абсорбции включает в себя первичный световой источник, атомизатор – источник атомов, монохроматор для выделения длины волны, на которой проводится измерение, детектор для точного измерения световой энергии, устройство управления сигналом данных и дисплей или система оповещения для отображения результатов (смотрите рисунок 1.) В качестве первичного источника света обычно используется либо лампа полого катода (HCL), либо безэлектродная лампа (EDL). Вообще, для разных определяемых элементов используются разные лампы, хотя в некоторых случаях возможно сочетание нескольких элементов в одной многоэлементной лампе. Раньше, в качестве детектора использовались фотоэлектронные умножители. Теперь в самых новейших приборах используются твердотельные



полупроводниковые детекторы.

Для определения ртути применяются специальные простые в обращении атомно-абсорбционные спектрометры с точно-инжекционными системами для ртути (Flow Injection Mercury Systems, FIMS). В этих приборах реализована высокочувствительная однолучевая оптическая схема с ртутной лампой низкого давления и ультрафиолетовым детектором, обеспечивающим наилучшие характеристики.

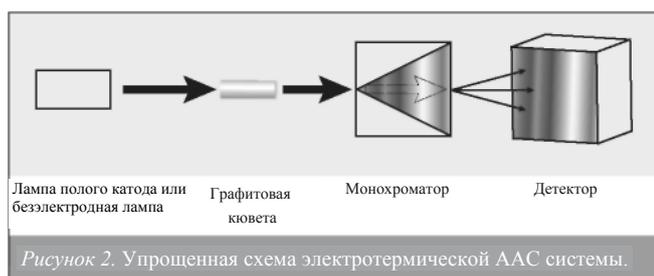
Какова бы ни была система, используемый в ней атомизатор должен переводить образец в свободные атомы элементов. Для получения свободных атомов используется тепловая энергия, наиболее часто в виде воздушно-ацетиленового пламени или пламени закиси азота - ацетилен. Образец вводится в пламя в виде аэрозоля при помощи системы ввода, состоящей из распылителя и распылительной камеры. Сопло горелки расположено таким образом, чтобы пучок света от лампы поглощался, проходя через пламя.

Главным ограничением пламенного ААС метода является то, что система горелка-распылитель является весьма неэффективным инструментом пробоотбора. Лишь малая доля образца достигает пламени и атомизированный образец при этом быстро проходит через световой путь спектрометра. При более эффективной системе пробоотбора образец следовало бы атомизировать полностью и удерживать в этом состоянии в световом пути в течение длительного времени, что позволило бы улучшить чувствительность определения. Эти качества обеспечивает электротермическая атомизация, применяемая в графитовой печи.



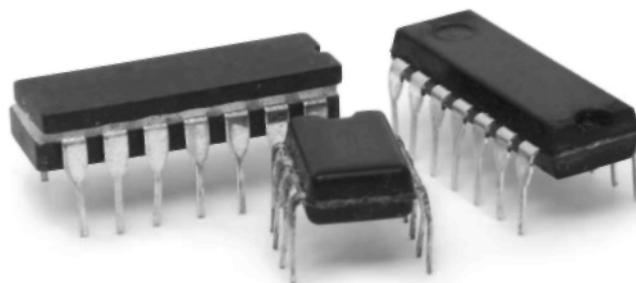
## Атомно-абсорбционная спектроскопия с графитовой кюветой

В методе атомной абсорбции в графитовой печи (GFAA) пламя заменяется на электронагреваемую графитовую трубку. Образец вводится непосредственно в трубку, которая затем нагревается за несколько этапов, задаваемых программным способом: на первом этапе удаляется растворитель, на втором – удаляются основные компоненты матрицы и затем атомизируется остаток пробы. Анализируемый элемент в образце полностью атомизируется, и его атомы остаются в трубке, расположенной по ходу светового луча, в течение длительного периода времени (смотрите рисунок 2). В результате, чувствительность и пределы обнаружения элементов существенно улучшаются.



Скорость анализа в графитовой кювете ниже, чем скорость пламенного анализа и перечень элементов, которые можно определить методом GFAA короче. Однако лучшая чувствительность метода GFAA и возможность анализировать малые объемы проб значительно расширяют возможности атомной абсорбции.

Атомная абсорбция в графитовой печи (GFAA) позволяет определять более 40 элементов в объемах раствора порядка 20-50 микролитров с пределами обнаружения элементов лучшими в 100 и 1000 по сравнению с атомной абсорбцией в пламени.



1 <b>H</b> Водород 1,00794																	2 <b>He</b> Гелий 4,003						
3 <b>Li</b> Литий 6,941	4 <b>Be</b> Бериллий 9,012182																	5 <b>B</b> Бор 10,811	6 <b>C</b> Углерод 12,0107	7 <b>N</b> Азот 14,00674	8 <b>O</b> Кислород 15,9994	9 <b>F</b> Фтор 18,9984032	10 <b>Ne</b> Неон 20,1797
11 <b>Na</b> Натрий 22,989770	12 <b>Mg</b> Магний 24,3050																	13 <b>Al</b> Алюминий 26,981538	14 <b>Si</b> Кремний 28,0855	15 <b>P</b> Фосфор 30,973761	16 <b>S</b> Сера 32,066	17 <b>Cl</b> Хлор 35,4527	18 <b>Ar</b> Аргон 39,948
19 <b>K</b> Калий 39,0983	20 <b>Ca</b> Кальций 40,078	21 <b>Sc</b> Скандий 44,955910	22 <b>Ti</b> Титан 47,867	23 <b>V</b> Ванадий 50,9415	24 <b>Cr</b> Хром 51,9961	25 <b>Mn</b> Марганец 54,938049	26 <b>Fe</b> Железо 55,845	27 <b>Co</b> Кобальт 58,933200	28 <b>Ni</b> Никель 58,6934	29 <b>Cu</b> Медь 63,546	30 <b>Zn</b> Цинк 65,39	31 <b>Ga</b> Галлий 69,723	32 <b>Ge</b> Германий 72,61	33 <b>As</b> Мышьяк 74,92160	34 <b>Se</b> Селен 78,96	35 <b>Br</b> Бром 79,904	36 <b>Kr</b> Криптон 83,80						
37 <b>Rb</b> Рубидий 85,4678	38 <b>Sr</b> Стронций 87,62	39 <b>Y</b> Иттрий 88,90585	40 <b>Zr</b> Цирконий 91,224	41 <b>Nb</b> Ниобий 92,90638	42 <b>Mo</b> Молибден 95,94	43 <b>Tc</b> Технеций (98)	44 <b>Ru</b> Рутений 101,07	45 <b>Rh</b> Родий 102,90550	46 <b>Pd</b> Палладий 106,42	47 <b>Ag</b> Серебро 107,8682	48 <b>Cd</b> Кадмий 112,411	49 <b>In</b> Индий 114,818	50 <b>Sn</b> Олово 118,710	51 <b>Sb</b> Сурьма 121,760	52 <b>Te</b> Теллур 127,60	53 <b>I</b> Йод 126,90447	54 <b>Xe</b> Ксенон 131,29						
55 <b>Cs</b> Цезий 132,90545	56 <b>Ba</b> Барий 137,327	57 <b>La</b> Лантан 138,9055	72 <b>Hf</b> Гафний 178,49	73 <b>Ta</b> Тантал 180,9479	74 <b>W</b> Вольфрам 183,84	75 <b>Re</b> Рений 186,207	76 <b>Os</b> Осмий 190,23	77 <b>Ir</b> Иридий 192,217	78 <b>Pt</b> Платина 195,078	79 <b>Au</b> Золото 196,96655	80 <b>Hg</b> Ртуть 200,59	81 <b>Tl</b> Таллий 204,3833	82 <b>Pb</b> Свинец 207,2	83 <b>Bi</b> Висмут 208,98038	84 <b>Po</b> Полоний (209)	85 <b>At</b> Астат (210)	86 <b>Rn</b> Радон (222)						
87 <b>Fr</b> Франций (223)	88 <b>Ra</b> Радий (226)	89 <b>Ac</b> Актиний (227)	104 <b>Rf</b> Резерфордий (261)	105 <b>Db</b> Дубний (262)	106 <b>Sg</b> Сиборгий (263)	107 <b>Bh</b> Борий (262)	108 <b>Hs</b> Хассий (265)	109 <b>Mt</b> Мейтнерий (266)	110 <b>Ds</b> Дармштадтий (269)	111 <b>Rg</b> Рентгений (272)													
			58 <b>Ce</b> Церий 140,116	59 <b>Pr</b> Прометий 140,90765	60 <b>Nd</b> Неодим 144,24	61 <b>Pm</b> Прометий (145)	62 <b>Sm</b> Самарий 150,36	63 <b>Eu</b> Европий 151,964	64 <b>Gd</b> Гадолиний 157,25	65 <b>Tb</b> Тербий 158,92534	66 <b>Dy</b> Диспрозий 162,50	67 <b>Ho</b> Гольмий 164,93032	68 <b>Er</b> Эрбий 167,26	69 <b>Tm</b> Тулий 168,93421	70 <b>Yb</b> Иттербий 173,04	71 <b>Lu</b> Лютеций 174,967							
			90 <b>Th</b> Торий 232,0381	91 <b>Pa</b> Протактиний 231,03588	92 <b>U</b> Уран 238,0289	93 <b>Np</b> Нептуний (237)	94 <b>Pu</b> Плутоний (244)	95 <b>Am</b> Америций (243)	96 <b>Cm</b> Кюрий (247)	97 <b>Bk</b> Берклий (247)	98 <b>Cf</b> Калифорний (251)	99 <b>Es</b> Эйнштейний (252)	100 <b>Fm</b> Фермиум (257)	101 <b>Md</b> Менделеев (258)	102 <b>No</b> Нобелий (259)	103 <b>Lr</b> Лоуренсий (262)							

Периодическая система элементов. На странице 14 представлена таблица с пределами обнаружения разных атомно-спектральных методов по всем элементам.

## Оптическая эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой

Оптическая эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС, ИСП-ОЭС) - это метод измерения излучения, испускаемого элементами в пробе, помещенной в индуктивно-связанную плазму. Измеренные значения интенсивности эмиссии затем сравниваются со значениями интенсивности стандартов с известной концентрацией для того, чтобы получить значение концентрации элемента в неизвестной пробе.

Существует два способа наблюдения излучения ИСП. В классической конфигурации ИСП-ОЭС излучение наблюдается перпендикулярно току газов плазмы, такой способ называется радиальным обзором (рисунок 3а), при нем достигается самая высокая верхняя граница линейного диапазона измерений. Способ, при котором излучение наблюдается вдоль центра горелки, называется аксиальным (осевым) обзором, при нем достигается более низкий фон рассеянного излучения и увеличивается время экспозиции (время пролета частиц) (рисунок 3б). За счет этого аксиальный обзор обеспечивает в несколько раз (до 10) более низкие пределы обнаружения, по сравнению с радиальным обзором. Самые универсальные системы позволяют менять способ обзора в ходе анализа одного образца. Двойной обзор плазмы обеспечивает лучшие пределы обнаружения и расширение рабочего диапазона определяемых концентраций элементов.

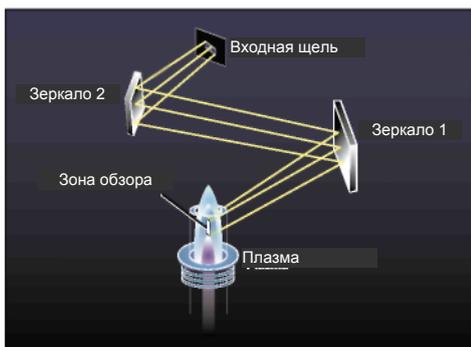


Рисунок 3а. Радиальный обзор плазмы с вертикальным профилем светового пучка, попадающего во входную щель спектрометра.

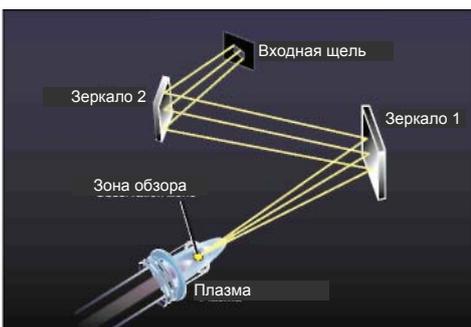


Рисунок 3б. Аксиальный обзор плазмы с торцевым профилем светового пучка, попадающего во входную щель спектрометра.

Оптическая система, используемая в ИСП-ОЭС, состоит из монохроматора, который выделяет определенные длины волн и фокусирует свет нужной длины волны на детекторе (рисунок 4). В старых типах систем ИСП-ОЭС, построенных на принципе непосредственного снятия показаний, использовались серии фотоэлектронных умножителей для определения предварительно выбранных длин волн. Это ограничивало число определяемых элементов, так как положение умножителей обычно фиксировалось при создании прибора. Системы последовательного типа могут регистрировать любую длину волны в спектре, проецируя ее на единственный детектор. Это, однако, позволяет регистрировать только один элемент в одно время и может сильно увеличивать время полного анализа.

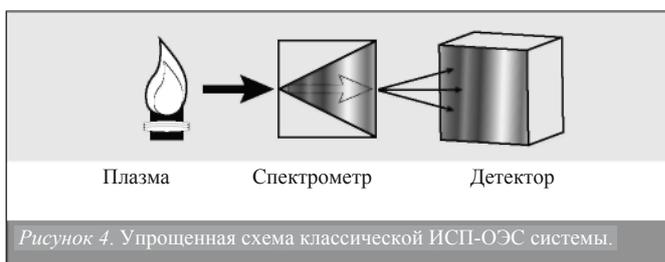


Рисунок 4. Упрощенная схема классической ИСП-ОЭС системы.

В самых современных ИСП-ОЭС системах применяются детекторы на твердотельных полупроводниковых матрицах (CCD – устройство связывания заряда), которые обеспечивают высокую гибкость приборов и устраняют необходимость использования большого количества фотоэлектронных детекторов.

### Индуктивно-связанная плазма (ИСП)

ИСП - это плазменный разряд, возбуждаемый в токе аргона и поддерживаемый воздействием высокочастотного электромагнитного поля на ионизированный аргон. Температура плазмы может достигать 10 000 °К, что обеспечивает полную атомизацию элементов пробы и минимизирует химические эффекты интерференции.

## Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой

В масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) источник ИСП используется для получения однозарядных ионов из матриц элементов в пробе, которые затем направляются в масс-спектрометр и разделяются по соотношению массы к заряду. Ионы с определенным отношением массы к заряду направляются на детектор, определяющий их количество (рисунок 5). В классических приборах используется квадрупольный масс-спектрометр из-за его простоты использования, надежности и быстродействия. Благодаря сходству способа ввода образца и обработки данных работа на ИСП-МС приборе очень похожа на работу на ИСП-ОЭС приборе.



Метод ИСП-МС сочетает возможности одновременного многоэлементного анализа плазменных методов и исключительные пределы обнаружения, которые соизмеримы или чаще ниже пределов метода ЭТААС. ИСП-МС - один из немногих методов анализа, который позволяет определять следовые содержания и соотношения изотопов элементов, а также выполнять точные определения различных форм нахождения элементов, будучи объединенным с хроматографическим методом разделения (ВЭЖХ или ГХ). Эта особенность дает пользователю возможность определять точные формы нахождения элементов в образце, а не только их общие концентрации.



Однако вследствие того, что вещество образца непосредственно контактирует с детектором, есть некоторые ограничения на то, какое количество матрицы, присутствующей в анализируемом образце, может быть введено в ИСП-МС прибор. Кроме того, стоимость обслуживания, требуемого для ИСП-МС прибора выше стоимости обслуживания ИСП-ОЭС систем. В общем случае, для ИСП-МС содержание сухого остатка в исследуемых растворах не должно превышать 0,2 % при долговременной работе и максимальной стабильности измерений. Между горелкой ИСП и самим масс-спектрометром находится несколько узлов, таких как конусы интерфейса и ионная оптика, которые нуждаются в периодической чистке для поддержания стабильной работы прибора.

Последние исследования в ИСП-МС привели к созданию новых технологий, позволяющих устранять наиболее сложные помехи (помехи, вызванные газами плазмы или возникающие при анализе моноизотопных элементов) не ограничивая при этом детектирующих возможностей метода. Системы с динамической реакционной ячейкой (DRC™) позволяют удалять большинство помех до их попадания в масс-спектрометр при помощи управляемых химических реакций, протекающих в газовой фазе в эффективно замкнутой ячейке, содержащей дополнительный квадрупольный масс-фильтр (рисунок 6). Это приводит к кардинальному улучшению пределов обнаружения для большинства элементов.



При доступности различных спектральных методов анализа, перед организаторами лабораторий стоит задача решить, какой из них больше подходит для решения аналитических задач лаборатории. Методы атомной спектроскопии хорошо дополняют друг друга, так что не всегда ясно, какой из них оптимален для конкретной лаборатории. Необходимо четкое понимание аналитической задачи, стоящей перед лабораторией, а также возможностей, которые дает каждый метод.

К важнейшим критериям выбора метода анализа относятся:

- Пределы обнаружения
- Рабочий аналитический диапазон концентраций
- Производительность
- Качество результатов
- Затраты
- Аналитические помехи
- Простота эксплуатации
- Доступность проверенных методик

Чтобы помочь Вам определиться с выбором, многие из этих критериев будут рассмотрены далее, применительно к методам ААС, ЭТААС, ИСП-ОЭС и ИСП-МС. Вам помогут ответы на 4 вопроса, представленные в следующей таблице:

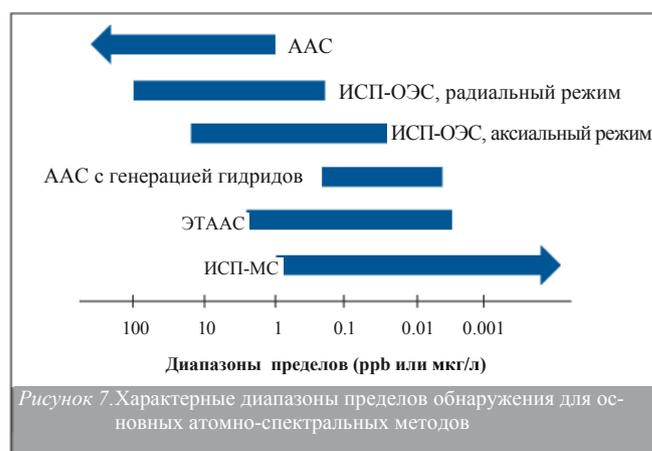
### Таблица выбора метода

	ААС	ЭТААС	ИСП-ОЭС	ИСП-МС
<b>Какое количество элементов?</b>				
Один	•			
Несколько		•		
Много			•	•
<b>Какие уровни концентрации?</b>				
Многие мкг/л	•		•	
Доли мкг/л		•	•	•
Доли мкг/л ... мг/л				•
Доли нг/л				•
<b>Какое количество образцов?</b>				
Очень немного	•	•		
Немного	•	•	•	•
Много			•	•
<b>Каков объем образца?</b>				
> 5 мл	•	•	•	•
< 1-2 мл		•		

### Пределы обнаружения

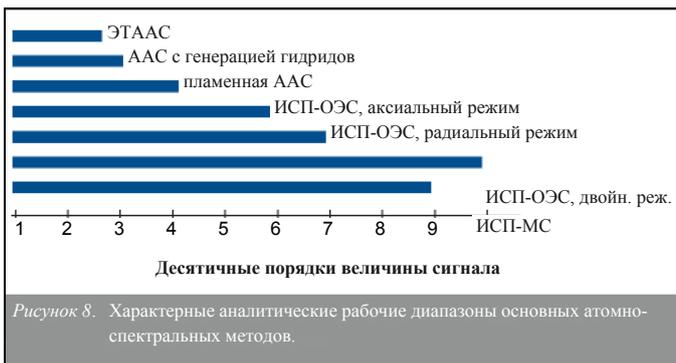
Пределы обнаружения, достижимые для конкретных элементов, важны при определении эффективности того или иного метода при решении определенной аналитической задачи. Без соответствующих возможностей обнаружения элемента данным методом, могут потребоваться длительные процедуры по его концентрированию.

Типичные пределы обнаружения для основных методов атомной спектроскопии представлены на рисунке 7, а в таблице на странице 14 представлен полный список пределов обнаружения для каждого элемента и для 6 методов атомной спектроскопии (ААС, гидридная АА, ЭТААС, ИСП-ОЭС (в радиальном и аксиальном режиме) и ИСП-МС).



## Рабочий аналитический диапазон

Рабочий аналитический диапазон можно представить как диапазон значений концентраций, в котором количественные результаты можно получить, не прибегая к перекалибровке системы. Выбор метода с рабочим аналитическим диапазоном (и пределами обнаружения), состоящим из ожидаемых концентраций анализируемого элемента, минимизирует время анализа, позволяя анализировать вместе пробы с различающимися концентрациями анализируемого элемента. Широкий рабочий диапазон также снижает требования по обработке проб, уменьшая риск возможных ошибок.



## Производительность

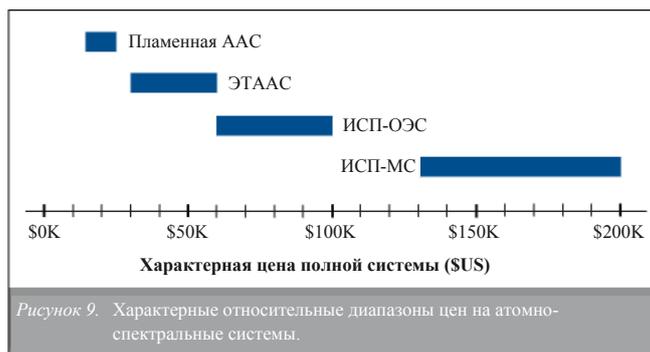
Производительность определяется числом образцов, которые могут быть проанализированы или числом элементов, которые могут быть определены за единицу времени. Для большинства случаев, методы анализа, проводимые на уровне пределов обнаружения или требующие максимальной точности, будут более продолжительными по времени, чем менее "требовательные". Там, где эти факторы не вносят ограничений, число элементов, определяемых в одной пробе и аналитический метод определяют данный переметр.

- **Пламенная атомная абсорбция** – обеспечивает относительно высокую скорость обработки проб при анализе большого количества образцов на ограниченное число элементов. Типичное определение одного элемента требует приблизительно от 3 до 10 секунд. Однако, пламенный АА-анализ требует специфические источники света и соответствующие параметры для каждого определяемого элемента, а также для разных элементов могут понадобиться разные газы. В результате, хотя он и часто применяется для многоэлементного анализа, пламенный атомно-абсорбционный метод обычно рассматривают как одноэлементный метод.
- **Электротермическая атомная абсорбция** – как и пламенный АА анализ, по существу является одноэлементным методом. Так как перед атомизацией образец нужно нагревать по определенной температурной программе для удаления растворителя и матрицы, метод ЭТААС имеет сравнительно низкую производительность. При анализе в графитовой кювете определение одного элемента в одном образце обычно занимает 2-3 минуты.

- **ИСП-ОЭС** – многоэлементный метод анализа с исключительно высокой производительностью. Методом ИСП-ОЭС обычно можно определить более 73 элементов в минуту в одном образце. Для получения хороших метрологических характеристик следует помнить, что перед вводом каждой новой пробы необходимо выждать 15-30 секунд для установления равновесия между плазмой и каждой новой пробой.
- **ИСП-МС** тоже многоэлементный метод анализа с теми же преимуществами и ограничениями, что и для ИСП-ОЭС. Методом ИСП-МС обычно можно определить более 73 элементов в минуту в одном образце, производительность зависит от таких факторов, как уровни концентраций и необходимая точность. Хотя метод ИСП-МС имеет широкий рабочий диапазон, верхняя граница линейного диапазона определяемых концентраций обычно располагается ниже таковой метода ИСП-ОЭС, так, что может потребоваться разбавление некоторых образцов.

## Затраты

Аппаратура для одноэлементного анализа (ПААС, ЭТААС), поскольку ее устройство проще, обычно имеет меньшую стоимость, чем аппаратура для многоэлементного анализа (ИСП-ОЭС и ИСП-МС). Между приборами, предназначенными для одного и того же вида анализа, также может быть существенная разница в стоимости. Приборы, обладающие лишь основными функциями обычно менее дороги, чем более универсальные системы, которые зачастую предлагают и более высокий уровень автоматизации. На рисунке 9 представлено сравнение ценовых диапазонов для приборов основных спектрально-аналитических методов.



Метод	Преимущества	Ограничения	Приложения	Система	
<b>Пламенный атомно-абсорбционный (AAS, Flame AA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Очень прост</li> <li>Широко распространён</li> <li>Доступна обширная информация по приложениям</li> <li>Относительно недорог</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Низкая чувствительность</li> <li>Одноэлементный анализ</li> <li>невозможность автономной работы без оператора (горючий газ)</li> </ul>	Идеален для лабораторий, анализирующих большое количество образцов на ограниченное число элементов; для определения основных компонентов и высоких концентраций элементов.	AAAnalyst — Атомно-абсорбционные спектрометры	
<b>Электро-термический атомно-абсорбционный с графитовой кюветой (ЭТААС, GFAA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Исключительные пределы обнаружения</li> <li>Хорошо разработанные приложения</li> <li>Возможна автономная работа без оператора</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ограниченный рабочий аналитический диапазон</li> <li>Производительность несколько ниже, чем у других методов</li> </ul>	Идеален для лабораторий, определяющих ограниченное число элементов с высокими требованиями к пределам обнаружения.	AAAnalyst — Атомно-абсорбционные спектрометры	
<b>Оптическая эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС, ICP-OES)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Наилучший многоэлементный спектральный метод в целом</li> <li>Высокая производительность</li> <li>Очень широкий аналитический диапазон</li> <li>Хорошо разработанные приложения</li> <li>Возможна автономная работа без оператора</li> <li>Простота использования</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Более высокие начальные вложения</li> </ul>	Идеален для лабораторий, определяющих множество элементов при умеренном и высоком потоке образцов.	Optima — ИСП-ОЭС системы	
<b>Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС, ICP-MS)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Исключительные возможности по многоэлементному анализу</li> <li>Возможность изотопного анализа</li> <li>Хорошо разработанные методы компенсации помех</li> <li>Быстро растущий объем информации по приложениям</li> <li>Пределы обнаружения, на уровне метода ЭТААС или лучше ЭТААС с гораздо более высокой производительностью</li> <li>Возможна автономная работа без оператора</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Самые высокие начальные вложения</li> <li>Разработка методик более сложна по сравнению с другими методами</li> <li>Ограничение по валовому солевому составу растворов</li> </ul>	Идеален для лабораторий, определяющих множество элементов при высоком потоке образцов; требующих прибор, способный определять низкие и сверхнизкие концентрации элементов.	ELAN — ИСП-МС системы	

После того, как вы найдете наилучшее решение для конкретно вашего приложения, ознакомьтесь с более подробной информацией о приборах.

## AAAnalyst – Атомно-абсорбционные спектрометры

Эта серия специальных атомно-абсорбционных спектрометров улучшает характеристики АА анализа даже самых сложных образцов. Созданная для получения наилучших результатов и обеспечивающая более быстрый и точный анализ, серия AAAnalyst предлагает ряд приборов с возможностями, начиная от простого пламенного АА блока и заканчивая полностью интегрированными настольными системами, сочетающими наилучшее как в пламенном, так и в электротермическом АА анализе.

Созданная PerkinElmer высокоэффективная двухлучевая оптическая система и твердотельный детектор обеспечивают выдающиеся отношения сигнал/шум, а атомизатор с поперечно нагреваемыми графитовыми кюветами THGA устраняет большинство помех.

Каждая система AAAnalyst может работать вместе с гибким, интуитивно-понятным программным пакетом WinLab32™, содержащим все инструменты для анализа образцов, подготовки отчетов и архивации данных, а также обеспечивающим соответствие нормативным требованиям.



### Пакет WinLab32

- Стандарты формы и содержания гарантируют логику работы с точек зрения разных платформ
- Мастера, контекстные и ситуационные советы делают WinLab32 простым в освоении и использовании
- Обширный аппарат контроля качества (QC) гарантирует качество результатов
- Функции автозапуска и остановки увеличивают производительность
- Эффективная работа с контрольными картами в рамках аппарата QC
- Версия с модулем 21 CFR Part 11 для соответствия стандартам сохранения информации
- Встроенное управление внешними устройствами, расширяющее возможности любой системы
- Надежная платформа

## Optima – ИСП-ОЭС системы

Системы серии Optima - это оптимизированные разработки, обеспечивающие требования к точности измерений, улучшающие процесс постановки методик и способные неизменно выдавать быстрый и правильный результат. Состоящая из приборов с разными уровнями характеристик, эта линия ИСП-ОЭС систем предлагает идеальное решение для лабораторий со средним и высоким потоком образцов. Серия включает в себя модели для лабораторий исследовательского и сертификационного профиля, сталкивающихся с широким разнообразием матриц при меньшей загрузке образцами, а также модели, разработанные для лабораторий, относительно более загруженных сложными объектами.

Специализированный запатентованный твердотельный детектор, твердотельный ВЧ-генератор третьего поколения и продвинутая оптическая система – все это обеспечивает вариантам серии Optima непревзойденные характеристики и улучшенную надежность, снижает затраты на эксплуатацию и гарантирует, что прибор будет к вашим услугам, когда это понадобится. Предложены модели как радиального, так и двойного (радиальный + аксиальный) режима обзора плазмы. Модели двойного обзора (DV) обеспечивают самый широкий рабочий аналитический диапазон из всех возможных.

Системы Optima поставляются вместе с гибким, интуитивно-понятным программным пакетом WinLab32, содержащим все инструменты для анализа образцов, подготовки отчетов и архивации данных, а также обеспечивающим соответствие стандартам сохранения информации.



## ELAN – ИСП-МС системы

Серия ИСП-МС приборов ELAN разработана для массового высокопроизводительного определения сверхнизких концентраций элементов с исключительными пределами обнаружения, в особенности вместе с запатентованной PerkinElmer технологией динамической реакционной ячейки (DRC), которая улучшает пределы обнаружения при анализе сложных матриц.

Являясь предпочтительным выбором многих лабораторий, системы ELAN остаются свободными и мобильными платформами для послепродажной модификации или гибкой смены приложений. Приборы могут оснащаться различными системами ввода, включая специальные разработки, начиная от охлаждаемых и осушающих распылительных камер и заканчивая ультразвуковыми или классическими параллельными и перпендикулярными распылителями.

Программное обеспечение ELAN позволяет каждому прибору выполнять качественный, полуколичественный, количественный, а также специальные виды анализа, такие, как определение изотопных отношений, работа с изотопным разбавлением и даже определение форм нахождения элементов. Добавление приоритетных образцов, гибкий аппарат контроля качества, работа с кратковременными сигналами,

подготовка списков анализов и разнообразных отчетов – все это имеется в программе. Программное обеспечение содержит электронную справочную систему PathFinder™ и может поставляться в версии с аппаратом Enhanced Security™ для соответствия стандартам сохранения информации.



### Приложения атомно-спектральных методов анализа в разных областях

Область	Объекты анализа	Обычно используемый метод		
		ААС	ИСП-ОЭС	ИСП-МС
Окружающая среда	Вода	○	◐	●
	Почва	○	●	◐
	Воздух	◐	○	●
Химия и химическая промышленность	Контроль качества / контроль продукции	◐	●	◐
Геохимия и горнодобывающая промышленность	Добыча	◐	●	●
	Поиск месторождений	○	●	●
Биомониторинг	Биологические образцы	◐	○	
Продукты питания	Безопасность	◐	○	◐
	Пищевая ценность		●	○
Сельское хозяйство	Почвы	◐		○
Полупроводниковая промышленность	Кристаллы	○	○	●
	Высокочистые реактивы	◐	○	●
Атомная промышленность	Малорадиоактивные отходы	○	◐	◐
	Технологические воды	○	◐	◐
Возобновляемые источники энергии	Биотопливо	○	●	●
	Солнечные батареи	○	●	◐
Нефтехимическая промышленность	Передел нефти	●	●	●
	Смазки и масла	○	●	○
Фармацевтическая промышленность	Разработка лекарств	○	○	●
	Контроль качества	○	●	○



## Окружающая среда

В окружающей среде для нас критично отслеживать ее загрязнение тяжелыми металлами. Правильное определение концентраций этих металлов является обязательным условием для поддержания безопасности среды в плане чистоты воздуха, вод и почв.

## Химия и химическая промышленность

От анализа сырья и компонентов до контроля качества и проверки конечной продукции – химические и промышленно-химические производители нуждаются в точных аналитических методах, обеспечивающих безопасность и подтверждающих характеристики их продукции.

## Геохимия и горнодобывающая промышленность

Миллион приложений, от определения возраста и до исследования драгоценных металлов, – атомная спектрометрия предлагает быстрые и точные решения для широкого круга геологических изысканий, а также неопределимые инструменты для проверки потенциала рудоносных площадей перед несением больших расходов, связанных с разработкой.

## Биомониторинг

При оценке воздействия на человека природных и искусственных соединений очень важны методы точного определения металлов. Определение форм нахождения элементов (speciation) также приобретает все большую важность, так как это дает дополнительную информацию о молекулярном и электронном состоянии элементов.

## Питание

Точное определение состава продуктов питания, их загрязнения или подлинности (точное географическое место происхождения) очень важно для подтверждения качества и соответствия нормативным требованиям.

## Сельское хозяйство

В выращивании растений важны микроэлементы. Также атомная спектрометрия способна делать точный анализ почв, для подтверждения того, что концентрации металлов не достигают того уровня, при котором возможно их излишнее накопление в продукции (животной и растительной).

## Нефтехимическая промышленность

Начиная с переработки нефти, существует широкий спектр приложений, в которых фигурируют смазки и масла – на многих производствах требуется определение металлов, в особенности таких, которые могут загрязнять и снижать качество – для подтверждения свойств, для процессов контроля и наблюдения.

## Полупроводниковая промышленность

Определение все более низких и низких концентраций в разнообразных материалах – быстро и доступно – это необходимость в условиях неуклонно усиливающейся конкуренции в полупроводниковой промышленности.

## Атомная промышленность

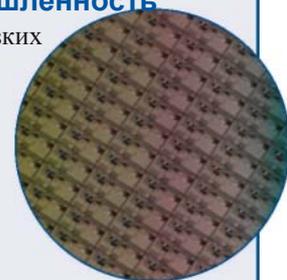
Находясь в условиях постоянного и тщательного контроля, атомные процессы требуют нахождения и отслеживания с определенной точностью содержаний разных элементов. Атомная спектрометрия широко применяется для определения низких концентраций во всем, начиная от технологических вод и заканчивая малоактивными отходами.

## Возобновляемые источники энергии

При постоянном развитии экологически все более безопасных технологий и источников энергии, существует все увеличивающаяся потребность в точном элементном анализе. К этим приложениям относится контроль качества и проверка партий биотоплива, анализ микропримесей в солнечных элементах для обеспечения их оптимального качества.

## Фармацевтическая промышленность

Поиск лекарств, их разработка и производство – эти процессы базируются на элементном анализе, начиная от проверки исходных компонентов, через стадии синтеза, и завершая контролем качества продукции, так как загрязнения способны влиять на эффективность препарата и его метаболизм.



## Пределы обнаружения атомно-спектральных методов.

Элемент	AAC	AAC с генерацией гидридов и Ha	ЭТААС	ИСП-ОЭС	ИСП-МС	Элемент	AAC	AAC с генерацией гидридов и Ha	ЭТААС	ИСП-ОЭС	ИСП-МС
Ag	1,5		0,005	0,6	0,002	Mo	45		0,03	0,5	0,001
Al	45		0,1	1	0,005 <sup>a</sup>	Na	0,3		0,005	0,5	0,0003 <sup>c</sup>
As	150	0,03	0,05	2	0,0006 <sup>b</sup>	Nb	1500			1	0,0006
Au	9		0,15	1	0,0009	Nd	1500			2	0,0004
B	1000		20	1	0,003 <sup>c</sup>	Ni	6		0,07	0,5	0,0004 <sup>c</sup>
Ba	15		0,35	0,03	0,00002 <sup>d</sup>	Os				6	
Be	1,5		0,008	0,09	0,003	P	75000		130	4	0,1 <sup>a</sup>
Bi	30	0,03	0,05	1	0,0006	Pb	15		0,05	1	0,00004 <sup>d</sup>
Br					0,2	Pd	30		0,09	2	0,0005
C					0,8 <sup>e</sup>	Pr	7500			2	0,00009
Ca	1,5		0,01	0,05	0,0002 <sup>d</sup>	Pt	60		2,0	1	0,002
Cd	0,8		0,002	0,1	0,00009 <sup>d</sup>	Rb	3		0,03	5	0,0004
Ce				1,5	0,0002	Re	750			0,5	0,0003
Cl					12	Rh	6			5	0,0002
Co	9		0,15	0,2	0,0009	Ru	100		1,0	1	0,0002
Cr	3		0,004	0,2	0,0002 <sup>d</sup>	S				10	28 <sup>l</sup>
Cs	15				0,0003	Sb	45	0,15	0,05	2	0,0009
Cu	1,5		0,014	0,4	0,0002 <sup>c</sup>	Sc	30			0,1	0,004
Dy	50			0,5	0,0001 <sup>f</sup>	Se	100	0,03	0,05	3	0,0007 <sup>b</sup>
Er	60			0,5	0,0001	Si	90		1,0	10	0,03 <sup>a</sup>
Eu	30			0,2	0,00009	Sm	3000			2	0,0002
F					372	Sn	150		0,1	2	0,0005 <sup>a</sup>
Fe	5		0,06	0,1	0,0003 <sup>d</sup>	Sr	3		0,025	0,05	0,00002 <sup>d</sup>
Ga	75			1,5	0,0002	Ta	1500			1	0,0005
Gd	1800			0,9	0,0008 <sup>g</sup>	Tb	900			2	0,00004
Ge	300			1	0,001 <sup>h</sup>	Te	30	0,03	0,1	2	0,0008 <sup>k</sup>
Hf	300			0,5	0,0008	Th				2	0,0004
Hg	300	0,009	0,6	1	0,016 <sup>i</sup>	Ti	75		0,35	0,4	0,003 <sup>j</sup>
Ho	60			0,4	0,00006	Tl	15		0,1	2	0,0002
I					0,002	Tm	15			0,6	0,00006
In	30			1	0,0007	U	15000			10	0,0001
Ir	900		3,0	1	0,001	V	60		0,1	0,5	0,0005
K	3		0,005	1	0,0002 <sup>d</sup>	W	1500			1	0,005
La	3000			0,4	0,0009	Y	75			0,2	0,0002
Li	0,8		0,06	0,3	0,001 <sup>c</sup>	Yb	8			0,1	0,0002 <sup>m</sup>
Lu	1000			0,1	0,00005	Zn	1,5		0,02	0,2	0,0003 <sup>d</sup>
Mg	0,15		0,004	0,04	0,0003 <sup>c</sup>	Zr	450			0,5	0,0003
Mn	1,5		0,005	0,1	0,00007 <sup>d</sup>						

Все пределы обнаружения приведены в микрограммах на литр; определялись в элементных стандартах в разбавленных водных растворах. Все расчеты пределов обнаружения основаны на 98 %-ном доверительном интервале (3σ критерий).

Все атомно-абсорбционные пределы обнаружения найдены при индивидуально оптимизированных параметрах анализа, включая использование безэлектродных газоразрядных ламп System 2 везде, где это возможно. Анализ выполнялся на системе AAnalyst 800.

Все ИСП-ОЭС пределы обнаружения (по приборам Optima 7000/7300) были получены в условиях параллельного многоэлементного анализа в аксиальном режиме обзора на приборах DV, с использованием циклонной распылительной камеры и концентрического распылителя.

Ртуть определялась методом анализа холодного пара, с применением проточно-инжекционных систем FIAS-100 и FIAS-400 и амальгамирующей приставки.

Предел обнаружения без амальгамирующей приставки составляет 0,2 мкг/л с лампой палладия катода и 0,05 мкг/л с безэлектродной газоразрядной лампой System 2.

(Предел обнаружения ртути со специальными ртутными анализаторами FIMS-100 или FIMS-400 составляет < 0,005 мкг/л без амальгамирующей приставки и

< 0,0002 мкг/л с амальгамирующей приставкой.) Гидридные пределы обнаружения найдены с применением ртуть-гидридной системы MHS-15

Пределы обнаружения ЭТААС найдены на системе AAnalyst 800 при нанесении 50 мкл образца в кюветы с интегрированной платформой, при стабилизации температуры в платформе (режим STPF).

Пределы ЭТААС определения могут быть улучшены применением нескольких реплик нанесения образца.

Если не указано иначе, все ИСП-МС пределы обнаружения найдены на приборе ELAN 9000, оснащенный распылительной камерой Скотта из ритона, поперечным распылителем Туре II и никелевыми конусами интерфейса. Все пределы обнаружения определены, используя 3-секундные интервалы регистрации, не менее чем по 8 повторным измерениям.

Буквенные индексы, сопровождающие пределы ИСП-МС анализа, указывают на применение специальных условий или приборов других моделей, а именно следующим образом:

**a** определено на приборе ELAN DRC в стандартном режиме с использованием платиновых конусов и кварцевой системы ввода. **b** определено на приборе ELAN DRC в режиме ДРС с использованием платиновых конусов и кварцевой системы ввода. **c** определено на приборе ELAN DRC в стандартном режиме в условиях чистого помещения класса 100, с использованием платиновых конусов и кварцевой системы ввода. **d** определено на приборе ELAN DRC в режиме ДРС в условиях чистого помещения класса 100 с использованием платиновых конусов и кварцевой системы ввода. **e** по изотопу C-13. **f** по изотопу Dy-163. **g** по изотопу Gd-157. **h** по изотопу Ge-74. **i** по изотопу Hg-202. **j** по изотопу S-34. **k** по изотопу Te-125. **l** по изотопу Ti-49. **m** по изотопу Yb-173.

## Вспомогательное оборудование для атомной спектрометрии

Совместимость с приборами

● AAnalyst ● Optima ● ELAN

### Multiwave 3000



Система микроволновой пробоподготовки



- Встроенная система охлаждения сокращает цикл разложения, увеличивает производительность
- Идеально подходит для сушки, выпаривания, кислотного разложения и экстракции растворителями

### Автодозаторы



- Гибкий подбор и смена штативов
- Быстрый, точный и выборочный пробоотбор
- Стойкие к коррозии контактирующие детали
- Проточный порт отмывки, устраняющий перекрестное загрязнение



### Ртуть-гидридная система



- Высоочувствительное определение ртути и гидрид-образующих элементов



### FIAS



Полностью автоматизированная проточно-инжекционная система



- Упрощает и ускоряет анализ, требующий сложного обращения с образцом, например, при определении ртути и гидрид-образующих элементов

### Высокопроизводительная система ввода



- Уменьшение расхода образца и времени отмывки
- Увеличивает производительность в 2-3 раза
- Уменьшает контакт образца с перистальтическими трубками



### Электротермический атомизатор (для AAnalyst 400)



- Быстрый и простой переход между пламенем и кюветой
- Низкий расход образца (до нескольких микролитров)
- Исключительные пределы обнаружения, порядка первых пикограммов



### Специальное программное обеспечение



- Контрольные карты
- Модули для соответствия требованиям 21 CFR
- ПО для работы с хроматографическими данными



### Расходники для ААС



- Лампы полого катода и безэлектродные газоразрядные лампы
- Графитовые кюветы
- Стандарты



### Расходники для ИСП-ОЭС и ИСП-МС



- Конусы
- Горелки
- Распылители
- Стандарты



За дополнительными сведениями о любых представленных выше приборах, а также за полным списком всего атомно-спектрального оборудования и материалов обращайтесь на наш сайт: [www.perkinelmer.com](http://www.perkinelmer.com)

Чтобы получить дополнительную информацию, посетите страницу:

[www.servicelab.ru](http://www.servicelab.ru)

Чтобы узнать координаты наших отделений по всему миру, посетите страницу:

[www.perkinelmer.com/lasoffices](http://www.perkinelmer.com/lasoffices)

Более 40 лет компания PerkinElmer находится на переднем плане в области технологий неорганического анализа. Производя универсальную линию приборов, включающую пламенные ААС системы, высокопроизводительные ЭТААС системы, гибкие ИСП-ОЭС системы и самые мощные системы ИСП-МС, мы можем предложить вам идеальное решение, независимо от области ваших специфических приложений.

Мы внимаем строгим и изменчивым требованиям покупателей и рынков, на которых мы работаем. И мы даем комплексные решения, которые упорядочивают и упрощают весь процесс целиком – от взятия образца и его анализа до представления результатов измерений.

Воплотившись в десятках тысяч установленных систем повсюду в мире, приборы PerkinElmer выполняют неорганический анализ каждый час, день за днем. За этой обширной сетью приборов стоит самый большой и представительный аппарат технического обслуживания и поддержки. Пройдя обучение на производстве и работая в 125 странах, мы заслужили репутацию за безотказную, личную и ответственную помощь на самом высоком уровне в нашей области.



**PerkinElmer Instruments**  
761 Main Avenue  
Norwalk, CT 06859-0010 USA  
Tel: 800-762-4000 or  
(1+) 203-762-4000  
Fax: (1+) 203-762-4228

**Московское представительство  
PerkinElmer – компания Scheltec**  
117334 Москва  
ул. Косыгина, 19  
Tel: +7 (495)-935-8888  
Fax: +7 (495)-564-8787

**Официальный торговый представитель:**  
**ООО СервисЛаб**  
119992 Москва, Ленинские горы, д.1, корп. 35  
Тел./факс +7 (495) 933 3601 e-mail: info@servicelab.ru  
Internet: www.servicelab.ru

