

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ RAUKOL: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПОДГОТОВКУ ПРОБ

УДК: 54.084  
БАК.: 05.11.13;  
02.00.02

**Крылова Т.А.**, krylova@element-msc.ru, **Чазова Л.В.**, к.х.н., chazova\_lv@element-msc.ru, ООО "ЭЛЕМЕНТ", **Шахнович О.А.**, ООО "ЛабПро Медиа", rec-tech@mail.ru

Бурное развитие науки и технологий в области химии и материаловедения, создание широкого спектра качественно новых веществ и материалов, а также экспоненциальный рост антропогенного воздействия на окружающую среду во второй половине XX века привели к объективной необходимости более глубокого и всестороннего изучения химического состава, структуры и свойств объектов самой различной природы. Из стен исследовательских лабораторий химический анализ шагнул во все сферы человеческой деятельности, став по-настоящему массовым. Существенно возросли и требования к его точности, достоверности и воспроизводимости. Поэтому одной из актуальных задач инструментального сопровождения современной аналитической химии является автоматизация всего аналитического процесса, в том числе и его важнейшего предварительного этапа – подготовки проб. В статье рассказывается о наиболее интересных автоматизированных системах прободготовки для различных аналитических задач от компании Raykol Group.

Вторая половина XX века стала этапом взрывного развития науки и технологий в области тонкого химического синтеза, создания принципиально новых классов материалов, в том числе композитных и наноразмерных, молекулярных биотехнологий и др. Новые объекты анализа потребовали от химиков-аналитиков качественно иного уровня исследований и контроля химического состава. В области инструментального сопровождения в приоритете приборостроительных компаний долгое время оставалось создание и развитие оборудования и систем для собственно аналитических измерений. Появился широкий спектр новых решений – от простейших приборов для рутинного контроля до мощных исследовательских комплексов. Сегодня практически любой аналитический метод подкреплен инструментально: масс-спектрометры, хроматографы, различное спектральное оборудование, список можно существенно продолжить. Причем некоторые приборы по своим аналитическим характеристикам уже вплотную приблизились к физическим ограничениям реализованных в них аналитических методов.

Инструментальное обеспечение подготовки проб долгое время ускользало от внимания компаний-разработчиков аналитического и лабораторного оборудования, зачастую даже сегодня пробы готовят по старинке – вручную. В то же время прободготовка – решающий этап процесса химического анализа, а ситуация, когда, отобрав пробу, можно сразу приступить к аналитическим измерениям, крайне редка. Главная цель любого аналитического процесса – получить

максимально достоверные и воспроизводимые характеристики химического состава исследуемого объекта, и общий успех в большей степени зависит от того, насколько правильно выполнены наиболее сложные и трудоемкие предварительные стадии. К тому же, в отличие от аналитических измерений, операции прободготовки не всегда поддаются теоретическому описанию, хуже обеспечены технически, а на их выбор и оптимизацию влияет множество разнонаправленных факторов.

Прободготовка – это и один из наиболее длительных этапов анализа, а при ручном выполнении операций профессионализм лаборантов не может гарантировать точность и воспроизводимость. К примеру, в хроматографии на подготовку проб приходится до 61% общего времени аналитического процесса и 30% случаев недостоверных результатов. Помимо того, что ручная прободготовка является основным источником ошибок, длительное воздействие органических растворителей наносит вред здоровью персонала, а нерациональное использование рабочего времени и дорогостоящих реактивов существенно снижают рентабельность работ.

Объективная необходимость автоматизации этапа прободготовки привела в начале 2000-х гг. как к значительному росту инструментальных приложений от известных приборостроительных компаний, так и к появлению на рынке новых игроков. Компания Raykol Group с головным офисом в городе Сямынь (провинция Фуцзянь, Китай) занимается исследованиями,



Рис.1. Компания Raykol Group имеет собственное современное серийное производство полного цикла, включая департамент исследований и разработок и хорошо оснащенные испытательные лаборатории

разработкой и производством автоматизированного лабораторного оборудования с 2007 г. (рис.1). Группа состоит из шести дочерних компаний трех научно-исследовательских баз и научно-исследовательского института. В общей сложности в компании работает более 450 сотрудников. Raykol Group уделяет особое внимание научным и технологическим инновациям: в состав независимого экспертного комитета компании входит более 50 известных инженеров-разработчиков и ученых в области анализа и тестирования. Немаловажным показателем технологического уровня компании служит и тот факт, что в 2022 г. Raykol Group заключила договор стратегического партнерства для продвижения инноваций в области автоматизации лабораторий с региональным представительством крупнейшей в мире приборостроительной корпорации Agilent Technologies.

Автоматизированные лабораторные решения Raykol включают системы микроволнового разложения, упаривания, твердофазной и жидкостной экстракции и применяются в процессе подготовки

проб в пищевой промышленности, экологии, сельском хозяйстве, фармацевтике и многих других отраслях. Приборы компании для быстрой и эффективной подготовки проб различной природы и сложности помогают оптимизировать распределение ресурсов для повторяющихся задач и рабочего процесса в целом, повысить производительность лаборатории, уменьшить использование растворителей и образование опасных отходов. Высокая степень извлечения анализируемых веществ, устранение влияния мешающих примесей и эффективное концентрирование позволяют обеспечивать низкий предел обнаружения, точность, достоверность и воспроизводимость результатов химического анализа.

### ПОДГОТОВКА ПРОБ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Этапы и методы подготовки проб варьируются в зависимости от целевых анализов, выбранного метода исследования, а также природы анализируемых объектов. Для элементного анализа спектроскопическими

методами с различными видами атомизации, в том числе индуктивно-связанной плазмой, а также для элементной масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой одним из наиболее эффективных методов пробоподготовки является микроволновое кислотное разложение. RayKol предлагает целый ряд решений в этой области – как высокопроизводительных, так и бюджетных, для небольших лабораторий.

### Автоматизированный кислотный дозатор RayKol AP210

Автоматизированный кислотный дозатор RayKol AP210 (рис.2) удовлетворяет требованиям точной обработки большого объема проб с применением различных кислотных реагентов, избавляет персонал лаборатории от монотонной рутинной процедуры и устраняет ошибки, связанные с ручным управлением.

RayKol AP210 может использоваться в подготовке проб для элементного анализа пищевой и сельскохозяйственной продукции, экологических объектов, косметики, текстиля, фармацевтических ингредиентов и готовых ЛС, геологических образцов и др. (табл.1). Система оснащена двойным перистальтическим насосом со скоростью работы до 4 мл/с и возможностью синхронного наполнения (опционально). Имеет два режима калибровки, которые обеспечивают высокую точность добавления кислоты, при этом 8 каналов подачи позволяют работать одновременно с разными

реагентами. Оптимизированная антикоррозийная защита и встроенный вентилятор для предотвращения образования остатков кислых газов делают работу персонала лаборатории безопасной и значительно продлевают срок службы прибора. Фильтр HEPA эффективно предотвращает загрязнение пробы.

К преимуществу системы следует отнести высокую совместимость с разными типами контейнеров: стойки для образцов различных спецификаций могут быть выбраны в соответствии с актуальными экспериментальными потребностями. Предусмотрен пакетный режим работы, при котором возможна обработка до 48 образцов одновременно.

Автоматизированная регулировка системы: коррекция расположения держателя образца для защиты внутренней среды прибора, трехосевой роботизированный манипулятор, гибкое регулирование по высоте в соответствии с размерами контейнера, а также различные параметры добавления кислоты и множество методов положения образца разработаны специально для точной подготовки проб и повышения эффективности лабораторных исследований.

Управление с ПК по Wi-Fi, удобное для пользователя ПО, графический интерфейс, множество гибких параметров работы, а также автоматическое создание записей о дозировании делают этот этап подготовки проб с RayKol AP210 простым и безопасным для персонала лабораторий.

Табл.1. Основные характеристики RayKol AP210

Параметр	Значение
Количество образцов, мах	48
Совместимость с различными типами контейнеров	Да
Каналы подачи растворителя	8
Материал трубопровода	Перфторированный сополимер
Интерфейс программного обеспечения	ПК/PAD; подключение WI-FI
Размеры, см	54×52×67
Вес, кг	40
Стабилизатор напряжения	200 до 240 В пер. тока, 50/60 Гц
Мощность, W	200
Рабочая температура, °C	10–40
Рабочая влажность, %	20–80



Рис.2. Автоматизированная система добавления кислоты RayKol AP210

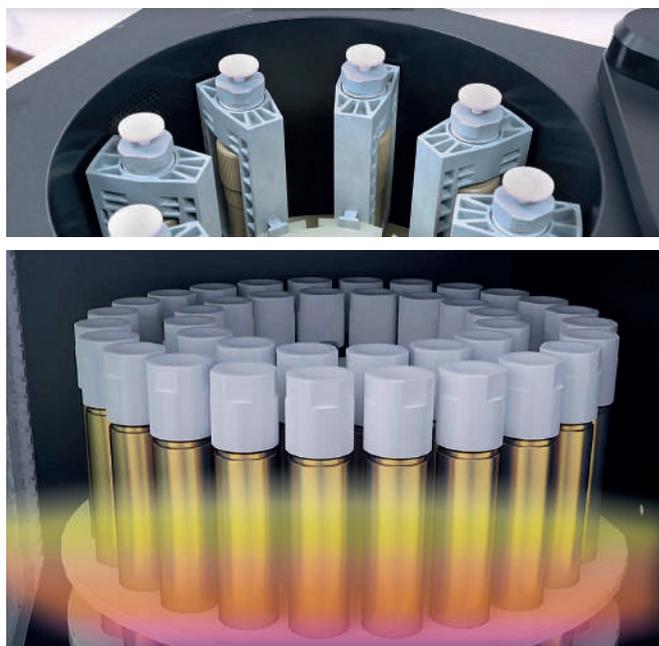


Рис.3. Высокпроизводительная автоматизированная система микроволнового разложения Raykol XT-9930 с 75-литровой камерой с вертикальной загрузкой и расположенным снизу источником микроволнового излучения для максимальной эффективности нагрева

### Система микроволнового разложения Raykol XT-9930

Микроволновая химия изучает химические превращения под воздействием энергии микроволнового поля. Микроволны действуют как высокочастотные электрические поля и нагревают любой материал, содержащий подвижные электрические заряды: полярные молекулы в растворителе или проводящие ионы в твердом теле. Микроволновые технологии получили широкое признание после публикации в 1986 г. статьи Ричарда Гедая, Фрэнка Смита, Кеннета Уэствея и др. "Использование микроволновых печей для быстрого органического синтеза", хотя первые работы по теме появились еще в 1950-х гг.

Микроволновое излучение способно в десятки и сотни раз ускорять многие химические реакции, вызывать быстрый объемный нагрев жидких и твердых образцов, эффективно удалять влагу из твердых, в том числе и высокопористых материалов, модифицировать свойства различных сорбентов.

Микроволновая подготовка проб известна как "технология экологически чистых химических реакций", отличительными характеристиками которой являются быстрое и полное разложение образцов, небольшая потеря летучих элементов, низкий расход реагентов, простота в эксплуатации, высокая эффективность обработки и низкий уровень загрязнения.

Автоматизированные микроволновые системы Raykol гарантируют высокую степень извлечения целевых соединений, отсутствие потерь и загрязнения образцов, подходят для любого типа объектов, в том числе со сложными матрицами, например вредных отходов, огнеупорных материалов, руд, полимеров, сплавов металлов, пищевых продуктов и др. С помощью предустановленных методов разложения образцы легко переводятся в состояние, пригодное для дальнейшего анализа.

Флагманская модель компании Raykol Group – автоматизированная система микроволнового разложения XT-9930 (рис.3) создана на основе десятилетнего опыта инноваций в технологиях контроля температуры в среднем инфракрасном диапазоне. Система предназначена для широкого спектра применений, обладает высокой эффективностью и снабжена 10 функциями активной и пассивной защиты. Верхняя загрузка, мощность до 2400 Вт и 75-литровая стальная камера с коррозионностойким покрытием обеспечивают одновременную высокопроизводительную обработку до 42 образцов и до 16 образцов в сосудах высокого давления в соответствии со всеми требованиями аналитических измерений. Для мониторинга процессов в режиме реального времени в системе используются бесконтактные датчики температуры и давления, что обеспечивает надежность работы и всестороннюю



Рис.4. Системы микроволнового разложения RayKol XT-9910, XT-9920, XT-IMD

Табл.2. Сравнительные характеристики систем микроволнового разложения RayKol

Параметры	XT-9910	XT-9920	XT-9930	XT-IMD
Объем камеры, л	35	52	75	65
Мощность max, Вт	1000	2000	2400	2400
Расположение источника излучения	Сбоку		Снизу	Снизу
Расположение дверцы	Фронтальное		Вертикальное	Фронтальное
Загрузка сосудов	Возможность загрузки сосудов по одному (без извлечения ротора из системы)			
Диапазон регулирования температуры, °С	От комнатной до 400			
Контроль температуры	Бесконтактный датчик; контроль фактической температуры образца в режиме реального времени; отображение кривой изменения температуры			
Диапазон регулирования давления, МПа	0–10			
Контроль давления	Бесконтактное сканирование; механизм автоматического сброса			
Вращение ротора, 360°	Непрерывное			
Сканирование данных ротора	Определение типа ротора; типа сосуда; количества проб			
Удаление кислоты после разложения	Отдельный блок, входит в комплект поставки			
Система вентиляции, м <sup>3</sup> /мин	Скорость потока <5,3			

защиту пользователей. Кроме того, RayKol XT-9930 предусматривает комплектование различными роторами, в зависимости от потребностей пользователя и подходит для подготовки образцов со сложной матрицей, таких как пищевые продукты, почва, фармацевтические препараты, косметика.

Система RayKol XT-9930 оснащена интеллектуальным управлением с сенсорного экрана, на который в режиме реального времени выводятся текущие рабочие показатели: температура, давление и др. В памяти системы могут быть сохранены более 250 методов разложения для образцов различной природы в которые при необходимости можно в любое время внести изменения, а различные встроенные функции, такие как многоуровневое управление пользовательским интерфейсом, коррекция мощности, калибровка температуры и фиксирование действий в журнале, делают пробоподготовку при помощи RayKol XT-9930 максимально удобной для пользователя.

Помимо модели XT-9930 Raykol Group предлагает пользователям и другие системы микроволнового разложения – с различной мощностью, объемом загрузки и производительностью (рис.4). Небольшим лабораториям с ограниченным числом анализов подойдет бюджетная модель RayKol XT-9910 с 35-литровой рабочей камерой на 6 образцов и максимальной мощностью до 1000 Вт. При стандартной рабочей нагрузке наиболее эффективным выбором станет RayKol XT-9920, способная обрабатывать до 24 проб одновременно. С большим потоком проб легко справится модель RayKol XT-iMD (табл.2).

### Графитовый нагревательный блок RayKol M36

Альтернативным вариантом подготовки образцов к элементному анализу является минерализация с использованием графитовых нагревательных блоков.

Графитовый нагревательный блок RayKol M36 (рис.5) – высокоэффективное устройство, специально разработанное для лабораторий с большим количеством проб и ограниченным числом персонала. Система одновременно обрабатывает до 36 образцов различной природы: продукты питания, зерно и масла, экологические образцы, фармацевтические субстанции, косметику, минералы, фильтрующие картриджи и мембраны и др.

Блок RayKol M36 экологичен, безопасен и надежен, устойчив к коррозии, воздействию высоких температур, кислот и щелочей, прост в обслуживании. Графит высокой чистоты с хорошей теплопроводностью обеспечивает высокую скорость и равномерный нагрев, а также одинаковую температуру во всех сосудах. Температур-



Рис.5. Графитовый нагревательный блок RayKol M36

ный диапазон от комнатной температуры до 450 °С подходит для различных проб и методик.

Контроль температуры осуществляется с помощью ПИД-регулятора – пользователь легко может настроить требуемый параметр. Модуль управления надежно изолирован от модуля нагрева для защиты электронных компонентов от действия высокой температуры и предотвращения кислотной коррозии блока управления. Прибор оснащен надежными системами термо- и электробезопасности.

### Автоматизированная система разложения RayKol Auto GDA 72

Для эффективной работы крупных лабораторий и исследовательских центров необходима максимально полная автоматизация всех аналитических процессов. В этом случае стоит обратить внимание на серию RayKol Auto GDA (рис.6), которая разработана специально для работы с большим потоком анализируемых проб и представляет собой полностью автоматизированное решение для кислотного разложения с нагревательным графитовым блоком, отвечающее всем международным требованиям и стандартам. Auto GDA автоматически добавляет кислоты, смешивает, укупоривает, программирует настройку температуры, удаляет кислоты, охлаждает и доводит образец до нужного объема при полном контроле всех рабочих параметров без участия оператора. За один цикл Auto GDA 72 может автоматически обработать до 72 проб.

Инжекционная система станций пробоподготовки оснащена полностью закрытым магнитным механическим рычагом, дозирующим шприцевым и двойным перистальтическим насосами с антикоррозий-



Рис.6. Автоматизированная система разложения Auto GDA 72

ным покрытием для максимально точной регулировки подачи кислот. Несколько каналов, выполненных из химически стойких материалов, позволяют работать с любыми агрессивными реагентами, включая растворы плавиковой и фтористоводородной кислоты. Тип и количество добавляемых реагентов в одном цикле могут отличаться для каждого образца. Для безопасной работы система оснащена автономной вентиляцией, а сетчатый фильтр HEPA защищает пробы от загрязнения.

Двойной нагревательный модуль станции обеспечивает программируемые и точные объемные нагрев и охлаждение. Интеллектуальный ПИД-контроль температуры поддерживает одинаковый нагрев всех образцов с точностью  $\pm 0,1$  °C. Стойка для сосудов оборудована автоматической системой подъема и перемешивания. После разложения система с ультразвуковым датчиком автоматически выполняет операцию доведения объема пробы до заданного (от 5 до 50 мл) при комнатной температуре.

Простой в эксплуатации графический программный интерфейс, управление через Wi-Fi соединение и автоматическая запись параметров делают работу с системы максимально удобной для любого пользователя.

### ПОДГОТОВКА ПРОБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Развитие биохимических и полимерных технологий, синтез новых веществ и создание новых классов материалов привели к необходимости точного коли-

чественного и качественного определения широкого спектра органических соединений в различных природных и технологических объектах, в том числе следовых содержаний компонентов в образцах со сложными матрицами. Далеко не всегда удается провести химический анализ без предварительного выделения определяемых соединений. Даже такой мощный метод, как хромато-масс-спектрометрия, не может решить любую аналитическую задачу в лоб – в подавляющем большинстве случаев только качественная предварительная подготовка пробы может обеспечить оптимальное измерение аналитического сигнала.

В основные этапы пробоподготовки для определения органического состава образца методами хроматографии и масс-спектрометрии входят гомогенизация (достижение однородности пробы), удаление мешающих примесей (повышение селективности) и обогащение (концентрирование). Рассмотрим лучшие решения компании Raykol Group в этой области.

### Станция подготовки жидких проб Raykol AP 300

Станция подготовки жидких проб Raykol AP 300 (рис.7) предназначена для автоматического разбавления, дозирования и разведения стандартных растворов для построения калибровочных кривых. Станция



Рис.7. Автоматизированная станция подготовки жидких проб Raykol AP 300



**Рис.8.** Технологии, реализованные в RayKol AP 300, делают процедуры дозирования и разбавления простыми и удобными: а – высокоточные шприцевые насосы на 100 мкл, 1 мл и 10 мл; б – станция многократной промывки игл; в – платформа для образцов с модулями охлаждения и перемешивания и возможностью работы с пробирками разного размера; г – управление с ПК по Wi-Fi; д – высокоточный модуль для отбора проб

выполняет сложные трудоемкие процессы: подготовку стандартных растворов, интегрированное добавление жидкости, быстрое дозирование. Установка оснащена 8 портами ввода реагентов и удовлетворяет всем требованиям к пипетированию для обычных лабораторных объемов.

Три высокоточных шприцевых насоса (рис.8а) на 100 мкл, 1 мл и 10 мл, диапазон каждого соответственно: 5–100 мкл, 50 мкл – 1 мл, 0,5–1 мл и объем перекачки от 5 мкл до 1 мл позволяют добиться мно-

гократного точного разбавления без замены шприца и промежуточного раствора.

Конструкция модуля для отбора проб четко определяет положение крышки и дна любого флакона для максимальной точности ввода (рис.8д). В работе могут использоваться различные типы игл для органических и неорганических, а также пипетки для биохимических образцов. Допустимый объем пробирок варьируется от 2 до 100 мл. Максимальная вместимость станции: 288 хроматографических виал объемом 2 мл,

84 пробирки для центрифуги 50 мл или 96 пробирок 20/40 мл (рис.8в).

Для сохранения оптимальной температуры термочувствительных растворов платформа для образцов оснащена элементом охлаждения Пельтье и может поддерживать температуру от 10 °С при комнатной температуре окружающей среды. Кроме того, в платформу встроен модуль перемешивания, что позволяет сократить время промежуточных стадий и повысить точность и удобство приготовления растворов.

Для автоматической очистки после завершения цикла система оборудована четырехканальной станцией многократной промывки игл: три канала – для погружной промывки и одна – для проточной, что практически полностью исключает перекрестную контаминацию (см. рис.8б). После промывки иглы высушиваются в воздушном потоке. Для сброса отходов установка имеет расположенные снаружи перистальтические насосы.

Система управляется ПО с интуитивно понятным интерфейсом и всем необходимым набором рабочих функций. Операции выбора нужных параметров, управления и контроля, а также сохранения данных осуществляются с ПК по Wi-Fi (рис.8г).

### Гомогенизаторы RayKol AH-50 и AH-40

Автоматизированный высокопроизводительный гомогенизатор RayKol AH-50 (рис.9) полностью изменяет утомительный, рутинный, занимающий много времени и ненадежный процесс ручной гомогенизации, эффективно решая задачу одновременного измельчения и экстракции. Прибор идеально подходит для подготовки к анализу по определению остаточных пестицидов или ветеринарных препаратов в образцах сельскохозяйственной и пищевой продукции, в том числе с высоким содержанием влаги, жира или клетчатки. RayKol AH-50 может быть использован в подготовке проб для органического анализа биологически активного сырья в лабораториях фармацевтических и косметических производств, в экологических исследованиях, в биологии и медицине и многих других отраслях.

Максимальная загрузка RayKol AH-50 – 36 образцов. Обработка каждого образца производится в полностью автоматическом режиме: от добавления растворителя до очистки ножей по окончании процесса, система также позволяет свободно комбинировать различные методы. Все параметры подготовки пробы настраиваются и сохраняются с помощью встроенного сенсорного экрана. В AH-50 используются штативы для лабораторных пробирок разного объема, а также для центрифужных пробирок.



Рис.9. Автоматизированные высокопроизводительные гомогенизаторы RayKol AH-40 (а) и AH-50 (б)

Табл.3. Сравнение характеристик гомогенизаторов RayKol AH-50 и RayKol AH-40

Параметры	АН-50	АН-40
Размеры ножей, мм	19×204, 10×108 – для пробирок 15 мл	
Скорость, об/мин	3000–25 000, регулируется программно	
Движение ножей	Возможность вертикального движения при гомогенизации, глубина погружения регулируется в зависимости от объема пробирок	
Вместимость для пробирок 10–200 мл, шт.	12–36	8–32
Автоопределение типа ротора	Да	Нет
Дозирование реагентов	3 типа растворителей	Нет
Промывка ножей	3 режима: вода, органический растворитель, ультразвук	
Каналы подачи воды для промывки	2: водопроводная, очищенная	1
Защита от капель	Есть	Нет
Управление	встроенный сенсорный экран, 10"	С ПК по Wi-Fi, экран 8"
Габариты (Ш×Г×В, мм)	398×571×793	350×500×800



Рис.10. Автоматический истиратель RayKol V20, внизу слева – наборы для пробоподготовки методом QuEChERS

Прибор абсолютно герметичен и оснащен автономной системой воздухоотвода, что снижает загрязнение воздуха органическими растворителями и освобождает пространство вытяжного шкафа. Весь процесс можно наблюдать онлайн благодаря прозрачной передней дверце и подсветке. В случае неправильного положения ножа, перегрева двигателя, неправильной загрузки пробы и т.д. срабатывает автоматическая система аварийной остановки.

Более экономичным решением для лабораторий с большой рабочей нагрузкой может стать еще одна модель автоматического гомогенизатора – RayKol AN-40. Сравнение характеристик приборов дано в табл.3.

### Автоматический истиратель RayKol V 20

Процедура QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe – быстрый, простой, дешевый, эффективный, точный, надежный) – метод обработки проб, основанный на технологии экстракции и матричной дисперсии твердых фаз, впервые был предложен М. Анастасиадисом и соавторами в 2003 г.

Этот универсальный подход позволяет извлечь остаточные количества органических соединений, принадлежащих к разным классам, за один прием в несколько простых этапов. Образец гомогенизируют, центрифугируют с реагентом и перемешивают. Используемые реагенты зависят от типа анализируемого образца. QuEChERS широко используется для анализа остатков пестицидов, ветеринарных препаратов и микотоксинов в пищевых и сельскохозяйственных продуктах и др.

Табл.4. Основные характеристики RayKol V20

Параметры	Значение
Скорость встряхивания, об/мин	100–1800, регулируется программно
Максимальная амплитуда колебаний, мм	32
Максимальная загрузка, кол-во проб	20×50 мл; 38×15 мл; 10×100 мл; 54×2 мл; 96-луночный планшет
Программное управление	Встроенный сенсорный экран, 7"
Габариты, Ш×Г×В, мм	370×520×690
Вес, кг	70
Рабочая температура, °С	10–40
Рабочая влажность, %	20–80



Рис.11. Подготовка растительных образцов методом QuEChERS на RayKol V20: а – гомогенизация ягод дерезы обыкновенной (*Lycium barbarum*); б – измельчение не очищенного от отрубевой оболочки зерна риса (*Oryza sativa*)

Во время процесса QuEChERS обычно используют вихревой/обычный шейкер или ручное встряхивание, что, однако, не может обеспечить удовлетворительной эффективности – для достижения нужных результатов требуется значительное время, кроме того, ручная подготовка пробы не гарантирует воспроизводимости результатов.

Для максимально эффективного измельчения и перемешивания автоматический истиратель RayKol V20 (рис.10, 11, табл.4) использует вертикальное встряхивание маятникового типа, имитирующее дугообразную траекторию движения искусственной руки. Эта технология соответствует самым современным требованиям к методу предварительной обработки QuEChERS. Широкий спектр настроек и разнообразие спецификаций держателей для образцов позволяют проводить подготовку различных проб в точном соответствии с целевой задачей. Автоматическая остановка прибора при нештатном открытии обеспечивает полную безопасность персонала. Для пробоподготовки методом QuEChERS компания Raykol Group предлагает также широкую номенклатуру наборов реагентов.

### Высокопроизводительная система жидкостной экстракции при повышенном давлении RayKol HPFE 06

Извлечение органических соединений из сложных матриц рассматривается как достаточно сложная проблема. Представляющие интерес аналиты, такие как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и полихлорированные дифенилы (ПХД), могут легко адсорбироваться на матрицах образцов, что приводит к нарушению разделения при использовании обычной жидкостной экстракции. Кроме того, традиционные методы жидкостной экстракции, например экстракция по методу Сокслета, являются довольно длительными и дорогими из-за большого расхода растворителя.



Рис.12. Высокопроизводительный жидкостной экстрактор RayKol HPFE 06

Жидкостная экстракция под давлением – новый метод извлечения аналитов из сложного твердого или полутвердого образца матрицы – значительно сокращает как время процесса, так и расход реагентов. Высокопроизводительная система экстракции RayKol HPFE 06 (рис.12) позволяет проводить экстракцию целевых компонентов из твердых и полутвердых образцов. За счет одновременного повышения давления и температуры растворимость и диффузионная способность целевых соединений существенно увеличиваются, что сокращает время экстракции с 10 часов до 15–30 минут и снижает расход растворителя с 200 мл до 20–50 мл. В качестве примера в табл.5 представлена эффективность экстракции на RayKol HPFE06 ПАУ из почв и донных отложений

Жидкостной экстрактор RayKol HPFE 06 способен одновременно нагревать до 6 экстракционных ячеек с точностью  $\pm 1$  °C и в диапазоне температур от комнатной до 200 °C. В системе могут использоваться экстракционные ячейки объемом 11, 22, 34 мл и емкости для сбора экстракта от 60 до 240 мл. Для обеспечения высокой скорости и равномерности экстрагирования термокамера RayKol HPFE 06 спроектирована таким образом, чтобы экстракционные ячейки равномерно нагревались со всех сторон. Благодаря автовыравниванию перед герметизацией и закрытой конструкции ячеек минимизируется риск утечек. Немаловажно, что уплотнительное кольцо экстракционной ячейки является частью запорного механизма, а число использований для каждой позиции фиксируется программой.



Рис.13. Модуль нагрева RayKol HPFE 06, внизу справа – индикация ресурса уплотнительных колец экстракционных ячеек

Табл.5. Экстрагирование целевых соединений ПАУ с использованием Raykol HPFE06 и образцов почвы и донных отложений для анализа методом ГХ/МС

Целевое соединение	Экстракция, %				
	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3	Среднее значение	Среднее квадратичное отклонение
Фенантрен	85	91	82	86	6
Нафталин	71	82	88	82	8
Аценафтилен	70	83	99	84	10
Аценафтен	73	85	99	92	9
Флуорен	64	68	86	77	7
Антрацен	53	63	63	63	5
Флуорантен	91	99	96	97	3
Хризен	75	90	81	91	6
Пирен	100	105	102	103	2
Бензо[а]антрацен	104	110	87	99	6
Бензо[е]флуорантен	105	120	100	112	6
Бензо[к]флуорантен	73	85	86	86	6
Бензо[а]пирен	88	103	97	100	7
Индено(1,2,3-С, D)пирен	83	92	97	94	5
Дибензо[а, h]антрацен	86	98	88	92	4
1,12-Бензоперилен	100	104	110	109	4

По истечении ресурса надежности уплотнительного кольца система напоминает о необходимости его замены (рис.13). В сравнении с вариантом с завинчивающейся крышкой Raykol HPFE 06 имеет меньший риск повреждений и более длительный срок службы.

Жидкостной экстрактор Raykol HPFE 06 компактен, герметичен, оснащен системой удаления паров и защитой от превышения температуры, давления и протекания жидкостей. Прибор автоматически предупреждает о любых сбоях и ошибках. Все этапы подготовки проб фиксируются в электронном журнале. В ПО предусмотрено редактирование параметров и программируемый запуск. Экстрактор оснащен встроенным 10-дюймовым сенсорным экраном с возможностью управления в одно касание и интуитивно понятным интерфейсом.

#### Система упаривания в токе азота Raykol Auto EVA 80

Широко распространенной техникой концентрирования проб является отгонка (упаривание). В основе всех

методов отгонки лежит различие в давлении паров разделяемых компонентов, т.е. разные коэффициенты распределения макро- и микрокомпонентов в системах жидкость–пар. Метод отгонки основан на образовании летучих соединений, под которыми понимают вещества, существующие в газообразном состоянии при температуре и давлении проведения процедуры. Для удаления лишней воды или органических растворителей из жидких проб наиболее часто используют отгонку в токе инертных газов, как правило – азота.

Приборы серии Auto EVA компании Raykol Group – безопасные, высокопроизводительные и высокоскоростные системы упаривания в токе азота с низким расходом газа. Флагманская модель – Raykol Auto EVA 80 – используется в подготовке проб для определения содержания остаточных пестицидов и ветеринарных препаратов в пищевых продуктах и объектах окружающей среды, в биохимических и фармацевтических исследованиях, во многих других приложениях (рис.14,

Табл.6. Основные характеристики RayKol Auto EVA 80

Параметр	Значение
Количество каналов	8
макс. количество образцов	80, 48
Объем пробирок, мл	От 10 до 100
Диапазон расхода газа, л/мин	до 3 с точностью 0,1
Управление	Программное; 10" встроенный сенсорный экран
Габариты, см	40 × 48 × 54
Вес, кг	48
Вытяжной шкаф для циркуляции воздуха	Требуется
Рабочая температура, °С	10–40
Рабочая влажность, %	20–80



Рис.14. Система управления в токе азота RayKol Auto EVA 80

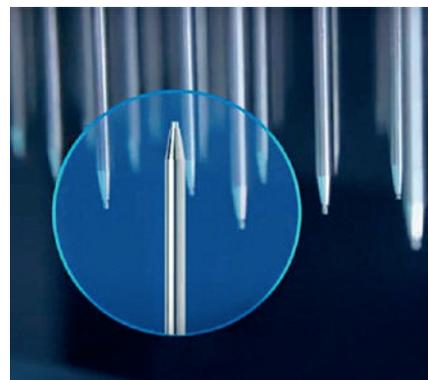
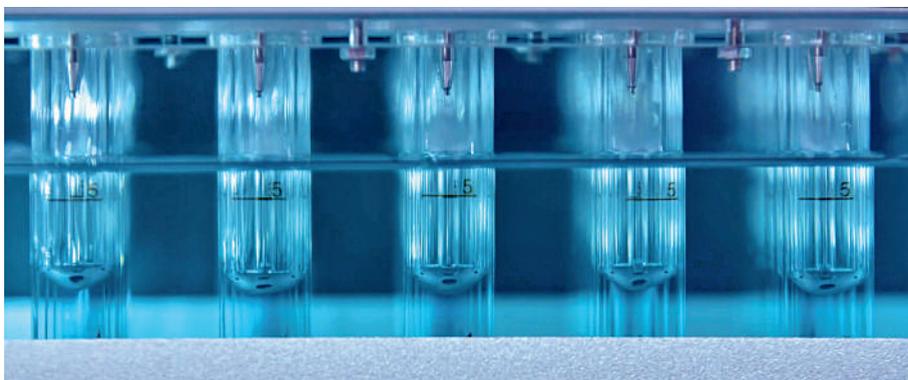


Рис.15. Оригинальная запатентованная игла из нержавеющей стали обеспечивает одинаковую скорость и строго вертикальное направление потока газа по центру пробирки. Внизу: извлечение игл для очистки не требует специальных инструментов

табл.6). Высокая степень автоматизации, концентрирование до 80 образцов одновременно, равномерный нагрев и поддержание оптимального расстояния между кончиком иглы для продувки азотом и поверхностью пробы гарантируют стабильный результат.

В приборе реализована автоматическая функция контроля оптимального расстояния между наконечниками игл и уровнем жидкости в пробирках, скорость движения иглы задается при выборе параметров и в случае необходимости корректируется в процессе упаривания: пользователь может мгновенно изменить положение иглы, если это необходимо, например, чтобы предотвратить ее погружение в образец. Максимальный вертикальный ход иглы составляет 160 мм с точностью до 0,1 мм.

Каждый из 8 каналов подачи газа управляется автономно и контролируется индивидуально клапаном пропорциональной регулировки с помощью программной функции "Поток" для выбора оптимальной скорости обдува. Оригинальная запатентованная игла из нержавеющей стали имеет сужающуюся на конус форму наконечника, что обеспечивает одинаковую скорость и строго вертикальное направление потока газа по центру пробирки для эффективной отгонки и предотвращения контаминации проб. Извлечение игл для очистки (в том числе ультразвуковой) не требует специальных инструментов (рис.15).

В комплектации прибора имеются универсальные штативы для образцов, совместимые с автоматизированной системой ТФЭ Fotector Plus, из которой после проведения экстракции штатив просто переставляется в систему упаривания Auto EVA 80. Водяная баня наполняется автоматически, а прозрачные стенки позволяют контролировать процесс выпаривания визуально.

Система Auto EVA 80 имеет встроенный сенсорный экран диагональю 10 дюймов. Интуитивно понятный интерфейс и интеллектуальное ПО позволяют гибко настраивать все параметры. Оператор может контролировать процедуру в режиме реального времени

и при необходимости проводить корректировку непосредственно во время работы как через программное обеспечение на ПК, так и с помощью сенсорного экрана прибора. Все заданные характеристики сохраняются в электронном журнале и могут быть использованы повторно.

Прибор оснащен встроенным вытяжным вентилятором, что сводит к минимуму риск воздействия реагентов. Модули продувки азотом и нагрева водяной бани полностью изолированы для максимальной безопасности операторов. Предусмотрен онлайн-контроль параметров и автоматическое отключение системы при низком давлении или недостаточном уровне воды в водяной бане, а также звуковая сигнализация.

### Система упаривания в токе азота RayKol Auto EVA 12A

Еще один прибор серии, на который стоит обратить внимание, – автоматическая система упаривания в токе азота RayKol Auto EVA 12A (рис.16), которая предназначена для концентрации различной природы образцов большого объема: экологических (почвы, воды, донных отложений), сельскохозяйственного и пищевого сырья и готовой продукции, фармацевтических и косметических компонентов и др. для определения содержания в них следового содержания токсичных органических примесей.

К преимуществам системы RayKol Auto EVA 12A можно отнести большую емкость рабочей камеры и 12 независимых каналов подачи азота: в каждом цикле можно одновременно обработать до 12 образцов во флаконах объемом 65 или 260 мл. Наполнение и опорожнение водяной бани осуществляется автоматически, а весь процесс упаривания легко контролировать визуально благодаря стеклянным стенкам.

Для снижения давления над растворителями и максимально мягкого и быстрого испарения в приборе реализованы технологии градиентной продувки с постепенным усилением расхода газа и регулиру-



Рис.17. Преимущества RayKol Auto EVA 12A: а – точный объем жидкости в конечной точке концентрирования контролирует оптоволоконный датчик; б – автоматический режим ополаскивания стенок пробирок



Рис.18. Высокопроизводительный вакуумный испаритель RayKol MPE

емого угла наклона игл, создающие вихревой поток нужной интенсивности. Точно заданный объем пробы в конечной точке концентрирования контролирует оптоволоконный датчик (рис.17а). Его расположение вне водяной бани обеспечивает качественное измерение и длительный срок службы.

К еще одному уникальному преимуществу системы RayKol Auto EVA 12A можно отнести автоматический режим ополаскивания стенок пробирок (рис.17б) для исключения потери целевых аналитов в результате

их частичного испарения и последующего конденсирования. Это улучшает регенерацию и на 10–15% увеличивает эффективность извлечения целевых аналитов.

### Вакуумный испаритель RayKol MPE

В лабораториях контроля окружающей среды и безопасности пищевых продуктов для получения точных и надежных результатов определения следовых количеств компонентов применяется быстрое концентрирование методом испарения в вакууме. Высокопроизводительный вакуумный испаритель RayKol MPE (рис.18) одновременно вакуумирует, нагревает и перемешивает пробу, за счет чего концентрирование происходит быстро и бережно к окружающей среде. Испаряющийся растворитель собирается с помощью прямого холодильника для повторного использования, а для проведения процедуры не используется азот, что снижает себестоимость пробоподготовки.

Герметичная конструкция водяной бани гарантирует равномерный, непрерывный и одновременный нагрев всех образцов. Система обеспечивает эффективное и быстрое упаривание 16 образцов большого объема (100–200 мл). Для визуального контроля стенки водяной бани выполнены из прозрачного стекла.

В конструкции уплотнительных крышек, которые выбираются в соответствии с размерами флаконов, предусмотрен обогрев с целью предотвращения конденсации паров растворителя и ускорения концентрирования. Система отвода паров с отдельным кана-

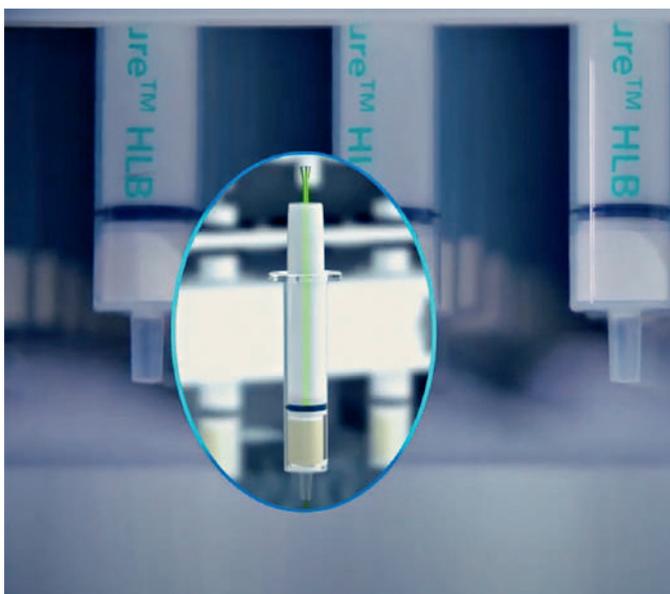


Рис.19. Автоматизированная система твердофазной экстракции Fotector Plus, слева – высокоточный шприцевой насос с уникальным запатентованным плунжером



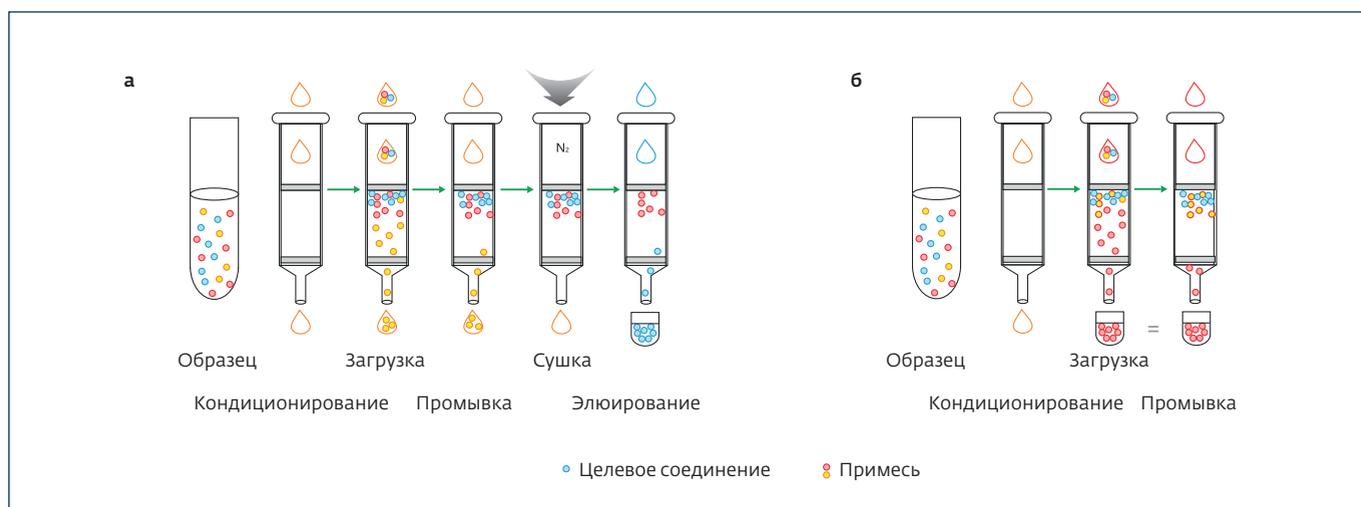


Рис.20. Схема процедуры ТФЭ: а – адсорбция целевого соединения; б – примесей

лом для каждого образца исключает перекрестное загрязнение. Равномерное круговое встряхивание, нагрев и контроль вакуума позволяют избежать закипания. Высокочувствительный датчик определяет степень вакуумирования в режиме реального времени, чтобы избежать выпаривания целевого компонента вместе с растворителем из-за слишком низкого давления. Настройка всех параметров (температура, вакуум, время, частота встряхивания, градиентный режим испарения) осуществляется с помощью встроенного сенсорного экрана.

### Автоматизированная система твердофазной экстракции Fotector Plus

Метод твердофазной экстракции (ТФЭ) основан на извлечении целевых соединений из экстрактов жидких и газообразных образцов путем их адсорбции на малых количествах адсорбционных материалов. Ручной процесс ТФЭ является громоздким, отнимает много времени, имеет нестабильную воспроизводимость. Точность результатов испытаний не может быть гарантирована из-за нестабильной скорости потока и различных условий работы колонки, а высокая проникаемость и токсичность органических реагентов наносит вред здоровью персонала.

Система твердофазной экстракции RayKol Fotector Plus (рис.19) предназначена для крупных лабораторий с большим потоком проб. Процедура ТФЭ в приборе полностью автоматизирована, обеспечивает минимальный расход реагентов, строго параллельную обработку проб с соблюдением всех заданных параметров, точность и воспроизводимость результатов. Система идеально подходит для пробоподготовки при опре-

делении содержания остаточных пестицидов и ветеринарных препаратов в пищевых продуктах, вредных органических соединений в объектах окружающей среды, токсичных веществ в крови и моче и т.д.

В зависимости от природы образца и аналитической задачи RayKol Fotector Plus может проводить автоматическую адсорбцию как целевого соединения, так и примесей (рис.20).

Непрерывная обработка больших партий выполняется одновременно, параллельно по нескольким каналам, с использованием одного метода и строгим контролем всех параметров. В случае сложных образцов могут быть выбраны специальные параметры ТФЭ. Для анализов на обнаружение токсинов предусмотрены специальные картриджи иммуно-аффинной очистки. При экологических испытаниях быстросъемные загрузочные модули позволяют увеличить пропускную способность системы до более чем 60 непрерывно обрабатываемых проб воды.

RayKol Fotector Plus оснащена многопортовыми клапанами для выбора растворителей. Высокоточный шприцевой насос полностью герметичен, уникальный запатентованный плунжер плотно прилегает к стенкам картриджа ТФЭ, что гарантирует стабильную скорость потока и высокую воспроизводимость результатов. Пробозаборная игла изготовлена из химически инертных материалов, а вся система спроектирована таким образом, чтобы полностью исключить возможность контаминации.

Интеллектуальное ПО контролирует весь процесс в режиме реального времени с автоматическим формированием журналов мониторинга, данные которых можно сохранять для последующей работы.



Рис.21. Система твердофазной экстракции RayKol Auto SPE-06D

### Система твердофазной экстракции RayKol Auto SPE-06D

Система Auto SPE-06D (рис.21) разработана специально для подготовки образцов больших объемов (до 20 л) для анализа качества питьевой, водопроводной, природной воды. В системе реализованы два метода прободготовки: метод ТФЭ (диски, картриджи) и последующее упаривание пробы. Это идеальное решение для экстракции пестицидов, антибиотиков, ПАУ, ПХД, полуволетучих органических соединений, различных токсичных и взрывчатых веществ из водных растворов в соответствии с потребностями каждой лаборатории.

Auto SPE-06D одновременно обрабатывает до 6 образцов. Система оборудована высокоточным датчиком давления, который автоматически предупреждает о его повышении <0,6 МПа. Керамические, стойкие к коррозии дозирующие насосы обеспечивают равномерный и точный объем вводимой пробы. Встроенный модуль отгонки существенно экономит время прободготовки. Шприцевые насосы для промывки проб значительно улучшают воспроизводимость. Объем образца после концентрирования контролируется инфракрасным датчиком.

Компактная конструкция прибора позволяет с легкостью разместить его в вытяжном шкафу. Отдельные каналы для сбора водных и органических отходов, а также встроенная вентиляция для отвода паров растворителей делают эксплуатацию системы макси-

мально безопасной. А полная автоматизация процесса без участия оператора гарантирует высокое качество прободготовки и существенно снижает стоимость работ.

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ RAYKOL В ЛАБОРАТОРНОЙ ПРАКТИКЕ

Зачастую на выбор лабораторных инструментов влияет не только их соответствие аналитической задаче и эффективность работы, но и совместимость приборов между собой и с другим оборудованием лаборатории. Немаловажную роль также играют амортизационные и накладные расходы во время эксплуатации. Рассмотрим примеры использования автоматизированных систем компании Raykol Group в реальной лабораторной практике.

#### Определение остатков амантадина в пищевых продуктах животного происхождения

Амантадин – противовирусный препарат, который получают реакцией с мочевиной после бромирования адамантана. Он стимулирует высвобождение дофамина из нервных окончаний и снижает обратный захват дофамина пресинаптическими нейронами. Побочные действия препарата: тошнота, головокружение, сухость во рту, бессонница, вялость, психозы (мании, галлюцинации, возбуждение, делирий), судороги – могут привести к серьезным системным изменениям, поэтому контроль его остаточного содержания в продуктах животного происхождения регулируется во многих странах.

Контроль остатков амантадина в продуктах животного происхождения методом жидкостной хроматографии – tandemной масс-спектрометрии распространяется на образцы тканей (мышцы, печень и почки) свиней, кур и уток, а также яйцо домашней птицы.

Рассмотрим процедуру предварительной обработки образцов для определения амантадина в пищевом сырье с использованием систем автоматической прободготовки RayKol (рис.22).

**Расходные материалы:** картридж ТФЭ RayCure MCX, 60 мг/3 мл (RC-204-72855).

**Реактивы:** метанол; ацетонитрил; муравьиная кислота (квалификации для ВЭЖХ).

**Элюент для катионообменной ТФЭ:** 2,5 мл аммиачной воды и 2,5 мл раствора формиата аммония в 95 мл метанола.

**Фиксирующий раствор:** 70 мл ацетонитрила, 10 мл метанола и 20 мл воды.

**Построение градуировочной зависимости.** Исходный стандартный раствор 1,0 мкг/мл уравнивали



Рис.22. Этапы предварительной подготовки проб для определения остатков амантадина с использованием систем автоматической пробоподготовки Raykol

при комнатной температуре и, используя рабочую станцию автоматической обработки жидких проб AP 300, готовили концентрации 2,0; 5,0; 10,0; 20,0 и 50,0 мкг/л для градуировки.

**Гомогенизация и экстрагирование.** 2 г ( $\pm 20$  мг) исследуемого материала помещали в центрифужную пробирку объемом 50 мл и добавляли 200 мкл рабочего раствора стандарта амантадина-D15. Центрифужную пробирку помещали в автоматический гомогенизатор AN 50. После автоматического добавления 15 мл 1% раствора уксусной кислоты в ацетонитриле, гомогенизировали и экстрагировали со скоростью 13 000 об/мин в течение 30 с. Затем центрифугировали 5 минут при 4000 об/мин. Надосадочную жидкость перенесли в другую 50 мл центрифужную пробирку, а экстракцию повторили еще один раз, после чего объединили две надосадочные жидкости. Затем надосадочную жидкость перенесли в пробирку объемом 20 мл. Добавили к остатку ацетонитрила, экстрагировали еще раз и объединили с супернатантом.

**Очистка.** В активированный катионообменный картридж ТФЭ высокопроизводительной системы автоматической твердофазной экстракции Fotector Plus внесли пипеткой 5 мл раствора образца, который последовательно промыли 5 мл раствора 2% муравьиной кислоты и 3 мл 1% муравьиной кислоты в ацетонитриле. Высушили и элюировали 4 мл элюента (табл.7).

**Концентрирование.** Пробу поместили в высокопроизводительный автоматический параллельный концентратор EVA 80 и продули азотом до почти сухого

состояния. Внесли 1 мл раствора ацетонитрил-метанол-вода, чтобы растворить остаток, встряхивали в течение 30 с, отфильтровали.

**Результаты и обсуждение.** Чтобы проверить степень извлечения, к образцу свинины и курятины добавляли по 2,0 мкг/кг, 4,0 мкг/кг и 10,0 мкг/кг амантадина соответственно ( $n=3$ ), данные показаны в табл.8. Степень извлечения была средней между 80–100%, а значение относительного стандартного отклонения составило около 5%. Это показывает, что приведенный метод подготовки проб может успешно применяться для анализа на определение амантадина в продуктах.

**Выводы.** Для построения калибровочного графика применялась рабочая станция обработки жидких проб Raykol AP 300, которая автоматически выполняет подготовку стандартов различной концентрации, добавление пробы и дозирование, не требуя присутствия персонала на протяжении всего процесса. Запрограммированная работа прибора позволяет эффективно избежать ошибок, связанных с человеческим фактором, и обеспечить точность и достоверность градуировки.

Высокая пропускная способность и скорость обработки образцов с помощью гомогенизатора Raykol AN 50 существенно оптимизирует процедуры измельчения и экстрагирования.

Для автоматизации процесса очистки использовалась высокопроизводительная система твердофазной экстракции Raykol Fotector Plus, которая выполняет процессы от активации, загрузки образца до элюирования в один шаг, позволяя обрабатывать в день до 180 образцов.

**Табл.7. Этапы очистки ТФЭ**

Операция	Растворитель	Выход	Поток (мл/мин)	Объем (мл)	Время (мин)
Очистка канала	СН <sub>3</sub> ОН				2,8
Активация	СН <sub>3</sub> ОН	Орг. отх.	5	3	1
Активация	Н <sub>2</sub> О	вода	5	3	1
Активация	2% НСООН	Орг. отх.	5	3	1
Загрузка		Орг. отх.	1	5	5,6
Промывка	2% НСООН	Орг. отх.	10	5	0,9
Промывка	1% НСООН/С <sub>2</sub> Н <sub>3</sub> N	Орг. отх.	10	3	0,7
Сушка					15
Элюирование	Элюирующий раствор	Сбор	1	4	4,4
Продувка		Сбор	10	5	1,1

**Табл.8. Результаты подготовки проб для определения аматадина в животном пищевом сырье**

Образец	Соединение	Диапазон линейной корреляции, нг/мл	Коэффициент корреляции R2	Извлечение, мкг/кг	RSD, %	Средний показатель извлечения, %
Свинина	Амантадин	2,0~50	≥0,99	2	2,08	91,3
				4	1,78	92,8
				10	3,08	95
Курица	Амантадин	2,0~50	≥0,99	2	3,86	90,8
				4	3,89	92,3
				10	1,3	99,6

Для дальнейшей обработки образцов применялся высокопроизводительный автоматический параллельный упариватель в токе азота Raykol Auto EVA 80. Штативы для образцов Fotector Plus и Auto EVA 80 совместимы, что позволяет использовать обе системы обработки без переноса пробирок из одного штатива в другой. Операция последовательна и проста, а потеря образцов исключена.

#### **Определение полициклических ароматических углеводов в почве**

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) образуются в процессе неполного сгорания топлива, синтезируясь вокруг ядер конденсации, состоящих из серной кислоты и образующихся из серы топлива, а также в пиролитических процессах при высоких температурах. Опасность

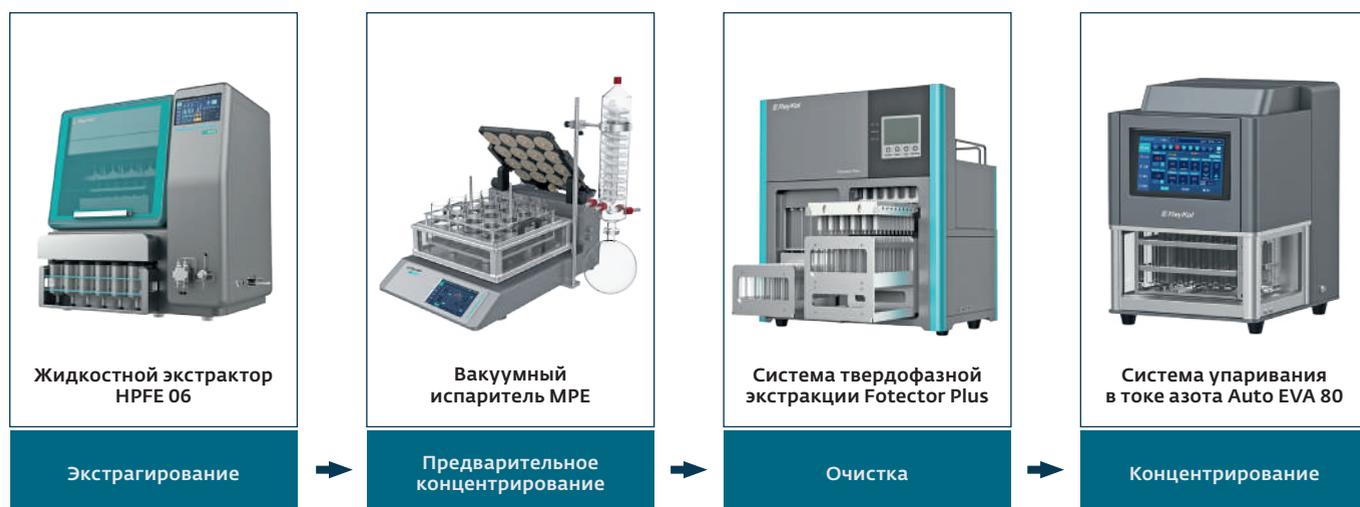


Рис.23. Этапы подготовки проб для определения полициклических ароматических углеводородов в почве с использованием систем автоматической пробоподготовки RayKol

для человека состоит в том, что некоторые представители этого класса соединений обладают канцерогенным воздействием на организм, а также мутагенной, тератогенной и биостимуляторной активностью, поэтому определение их содержания в объектах окружающей среды является актуальной аналитической задачей. Ниже приведена методика подготовки почвенных проб для определения ПАУ методом ГХ/МС (рис.23).

**Экстрагирование.** В 20 г измельченного и просеянного образца почвы добавили соответствующее количество диатомовой земли, перемешали и поместили в 34-мл экстракционную ячейку. Таким же образом заполнили шесть экстракционных ячеек и поместили в HPFE 06. Условия экстрагирования: экстракционный растворитель – смесь дихлорметан/ацетон (1:1, об.), давление в системе 10 МПа, температура экстракции 100 °С, температура предварительного нагрева 100 °С, статическое время экстракции 5 мин, время продувки – 1 мин, объем промывки соответствует 60% объему экстракционной ячейки, время промывки 20 с. Экстракцию проводили дважды. Из полученного экстракта удалили воду безводным сульфатом натрия.

**Предварительное концентрирование.** Концентрировали образец до 1 мл, добавляли 10 мл н-гексана и снова концентрировали до 1 мл.

**Очистка** проводилась высокопроизводительной системой автоматической твердофазной экстракции Fotector Plus. Условия ТФЭ: картридж ТФЭ Silica (RayCure, 1 г/6 мл); активация – ацетон, н-гексан; промывка флаконов – н-гексан; промывка – ацетон:н-гексан (1:9).

**Концентрирование** проводили в автоматической системе упаривания в токе азота Auto EVA 80.

**Результаты и обсуждение.** После предварительной обработки и экстракции образец был очищен с помощью Fotector Plus. Общий средний коэффициент извлечения составил 75,34–120,00%, а RSD – менее 13% (n=4). Коэффициент извлечения и RSD представлены в табл.9.

**Выводы.** Метод с использованием высокопроизводительного экстрактора жидкости под давлением RayKol HPFE для экстракции ПАУ из образцов почвы позволяет одновременно обрабатывать шесть образцов за 30 минут или 96 образцов за смену. Инструмент прост в эксплуатации. Управление с помощью сенсорного экрана не требует обучения нового персонала лаборатории – можно сразу приступить к работе. Использование четырех типов растворителей, которые можно смешивать в различных соотношениях, не требует ручной подготовки.

Вакуумный параллельный концентратор RayKol MPE может концентрировать за 30 минут до 36 образцов, что значительно повышает эффективность предварительной обработки и полностью освобождает лабораторный персонал.

Высокопроизводительный автоматический твердофазный экстрактор RayKol Fotector Plus может одновременно обрабатывать 6 и непрерывно до 60 образцов. Этапы активации, загрузки образца, промывки, элюирования полностью автоматизированы, что значительно повышает точность и надежность метода, а также увеличивает скорость извлечения целевых компонентов.

Автоматический параллельный концентратор RayKol Auto EVA 80 обеспечивает быстрое параллельное концентрирование образцов.

**Табл.9. Результаты подготовки почвенных проб на автоматизированных системах Raykol для определения ПАУ методом ГХ/МС**

Соединение	Концентрация, мкг/кг	Средний коэффициент извлечения, %	Относительное стандартное отклонение	Концентрация, мкг/кг	Средний коэффициент извлечения, %	Относительное стандартное отклонение
Нафталин	20	76,8	3,83	200	71,17	7,94
Аценафтен	20	75,87	7,12	200	71,88	2,88
Аценафтилен	20	72,34	7,47	200	80,45	0,46
Флуорен	20	85,15	7,47	200	79,77	5,75
Фенантрен	20	99,91	4,45	200	104,09	1,41
Антрацен	20	87,7	7	200	91,65	4,34
Флуорантен	20	90,95	4,72	200	104,16	6,5
Пирен	20	89,05	12,74	200	94,32	1,05
Антрацен	20	100,77	8,39	200	115,39	11,2
Бензо[а]антрацен	20	113,09	11,89	200	103,7	8,32
Бензо[б]флуорантен	20	93,44	3,57	200	114,77	1,66
Бензо[к]флуорантен	20	98,51	3,94	200	101,26	1,34
Бензо[а]пирен	20	66,77	4,26	200	74,86	0,8
Дибензо[а,h]антрацен	20	106,01	2,68	200	78	8,84
Бензо[g,h,i]перилен	20	88,07	4,73	200	76	1,17
Индено(1,2,3-сd)пирен	20	100,01	6,59	200	119	6,14

\*\*\*\*

"Инновации создают ценности, знания оптимизируют лабораторию" – этот девиз в полной мере реализован в инструментальных решениях компании Raykol Group. Системы автоматизированной пробоподготовки Raykol используют самые современные технологии, вносят весомый вклад в эффективность лабораторной практики, сохраняют здоровье человека. Качество – основа всего, что делает компания: Raykol Group сертифицирована по стандарту ISO, соответствует требованиям международных регламентов и строит свой бизнес на основе честного и долгосрочного партнерства с каждым потребителем.

Автоматизированные системы пробоподготовки Raykol, а также расходные материалы и комплектующие поставляет официальный представитель Raykol Group в России компания "ЭЛЕМЕНТ". Сервисная служба компании проводит пуско-наладку, обучает специалистов заказчика работе на системах Raykol, осуществляет гарантийное и постгарантийное обслуживание, дооснащает уже имеющееся оборудование. Специалисты компании по запросу пользователей организуют дополнительные семинары и тренинги по работе с приборами и всегда готовы оказать квалифицированную техническую и консультационную поддержку. ■

# Автоматизированные лабораторные системы RayKol для эффективной пробоподготовки

## Гомогенизация и экстрагирование

Истиратели и гомогенизаторы  
Системы жидкостной экстракции под давлением



## Приготовление растворов

Системы автоматического дозирования растворов



## Разложение

Системы микроволнового разложения проб  
Графитовые нагревательные блоки



## Концентрирование

Вакуумные испарители  
Упариватели в токе азота



## Очистка

Системы твердофазной экстракции



**Компания "ЭЛЕМЕНТ"**

Москва, Екатеринбург, Новосибирск

[info@element-msc.ru](mailto:info@element-msc.ru)

[element-msc.ru](http://element-msc.ru)