

# **Возможности применения эксиплексных источников УФ-излучения в анализе**

*Э.А. Соснин, В.Н. Баталова*

**Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина, 36**

*Э.А. Захарова*

**Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина, 30**

**Обобщается опыт, полученный авторами при использовании эксипамп для решения некоторых задач в области электрохимического анализа.**

**Ключевые слова: эксипампа, пробоподготовка, контроль качества пищевых продуктов, вольтамперометрия, поверхностно-активные вещества, минерализация.**

# План презентации

1. Разрушение органических матриц УФ-излучением
2. Традиционные источники ультрафиолетового излучения: ртутные, ксеноновые и криптоновые лампы.
3. Экцимерные и эксиплексные газоразрядные лампы.
4. Устранение помех в методе инверсионной вольтамперометрии (ИВА).
  - 4.1. Фотохимическая дезактивация кислорода в растворах.
  - 4.2. Разрушение ПАОВ, РОВ и комплексов металлов с гуминовыми и фульвокислотами.
5. Использование эксипламп при определении содержания ртути в пищевых продуктах.
6. Использование эксипламп при определении содержания йода в моче.
7. Выводы и прогнозы.

# **1. Разрушение органических матриц УФ-излучением**

**Определение концентрации химических элементов в органических материалах в аналитической химии проводится поэтапно:**

- 1. Забор пробы органического материала;**
  - 2. Перевод пробы в раствор;**
  - 3. Разложение органической матрицы;**
  - 4. Перевод определяемого химического элемента в электрохимически активную форму с целью его дальнейшего определения электрохимическими методами (например, при помощи инверсионной вольтамперометрии);**
  - 5. Удаление окислителей и мешающих веществ из раствора.**
- Шаги 3-5 могут быть проведены при помощи УФ-облучения.**

## УФ-минерализация

**УФ-минерализация** - Метод окисления органических веществ в водных растворах под действием УФ-излучения.

Процесс фотоминерализации в общем виде может быть записан так:



где X - гетероатомные органические молекулы, которые трансформируются в соответствующие минеральные кислоты HX (HNO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub> и т.д.).

Аналогичная реакция протекает при взаимодействии окислителя и УФ-излучения с металлоорганическими комплексами. При этом дополнительно в раствор высвобождаются ионы металлов.

Фотоминерализация почти всегда сопровождается эффективной генерацией ·OH радикалов. Кроме того, схемы мокрого окисления (т.е. окисления без сжигания) осуществляются при помощи частиц ·OH<sub>2</sub>·, O<sub>3</sub>, и синглетного кислорода.

## **Известные факты о действии традиционных источников УФ-излучения:**

### **Преимущества:**

- 1. Позволяет осуществлять декомпозицию практически всех органических веществ;**
- 2. Пробоподготовка становится безреагентной, либо такой, когда достаточно использовать экологически чистые окислители;**
- 3. Потери летучих веществ можно свести к минимуму.**

**(Armstrong F.A.J., Williams P.M., Strickland J.D.H., 1966; Pildar B. 1980; Stoppler M., Nurnberg H.W., 1983; Nurnberg H.W., Valenta P., 1980)**

## **Новые факты при работе с новыми источниками УФ-излучения:**

**С появлением коротковолновых эксипамп на димерах ксенона генератором ОН-радикалов – инициатором минерализации РОВ – становится фотализ воды. ВУФ-обработка широко исследуется в изучении процессов очистки вод и воздуха от органических токсикантов. В целом ряде строго показано, что использование новой лампы для разложения органических веществ в растворах и в газовой фазе позволяет отказаться от использования дополнительных окислителей.**

**(Baum G., Oppenländer T., 1995; Oppenländer T., Baum G., Egle W., Hennig T. 1995)**

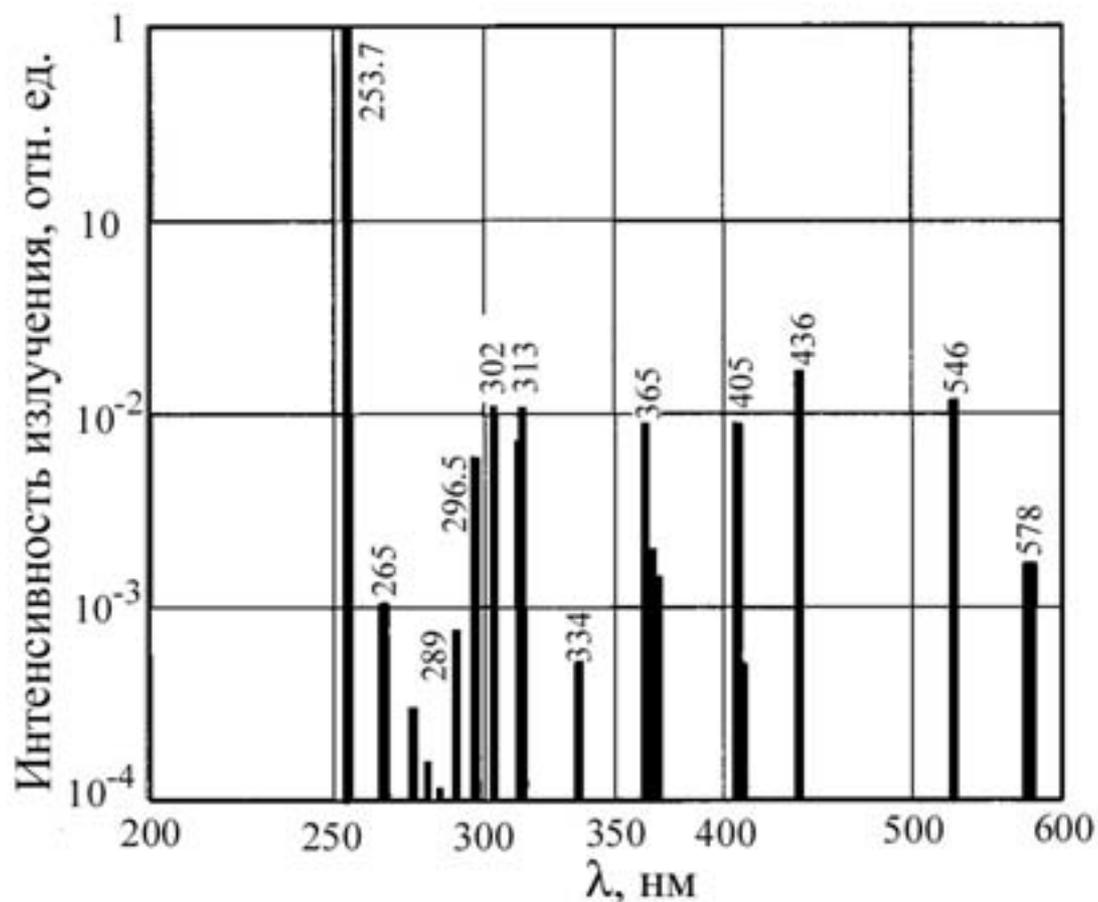
## 2. Традиционные источники ультрафиолетового излучения: ртутные лампы низкого давления

### Плюсы:

интенсивная линия излучения на 253.7 нм, а в случае использования колбы из плавленного кварца около 15% излучения приходится на 185 нм.

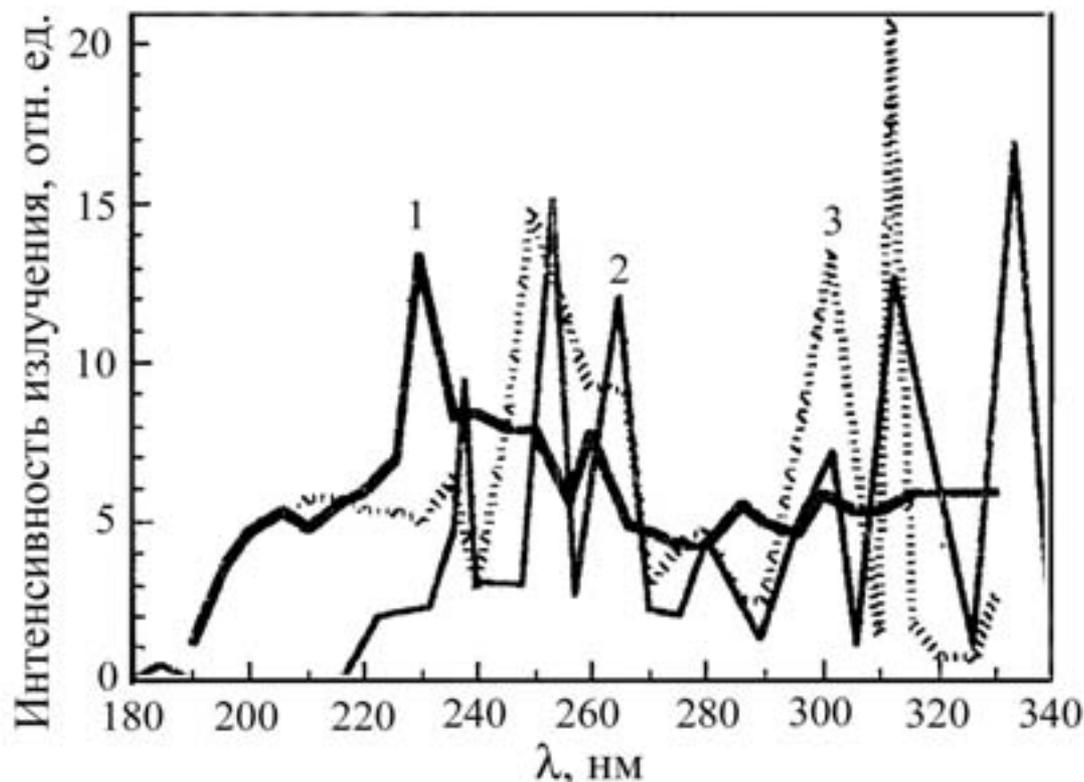
### Минусы:

небольшую светимость (доли мВт/см<sup>2</sup>), хотя доля излучения в диапазоне 280–315 нм в общем лучистом потоке у них может превышать 50%.



## 2. Традиционные источники ультрафиолетового излучения: лампы среднего и высокого давления

Для импульсных ксеноновых ламп и для ртутных ламп среднего давления, как и для ксеноновых дуговых ламп на длинах волн короче 300 нм излучается не более 10-20% энергии.



Спектральное распределение интенсивности излучения импульсной ксеноновой лампы Rigus Pulsed Xe (1), ртутной лампы среднего давления Heraeus Ink Curing Lamp (2) и ртутной лампы среднего давления Hanovia Med. Press. Hg (3).

## **2. Традиционные источники ультрафиолетового излучения, общие **недостатки:****

**1.** Большинство органических веществ и  $H_2O_2$  поглощают ультрафиолет на  $\lambda < 250$  нм (полихлорбифенилы, фенолы, алифатические спирты, этилбензол, органические матрицы и т.д.), а многие совсем не поглощают в области  $\lambda > 300$  нм. Традиционные лампы (за исключением дейтериевой и водородной) интенсивно излучают лишь в видимой и ближней ультрафиолетовой областях спектра.

**2.** За счет интенсивного излучения в видимом и ИК-диапазонах лампы среднего давления сильно разогревают облучаемые пробы. Последнее требует интенсивного искусственного охлаждения и может привести к потерям летучих фракций РОВ.

**3.** При использовании воздушного охлаждения происходит сильное озонирование, что требует дополнительных мер по защите персонала аналитической службы.

**4.** Импульсные ксеноновые и криптоновые лампы требуют для своей работы устройств для коммутации сильноточных импульсов высокого напряжения.

По этим причинам на сегодняшний день, несмотря на небольшую мощность, в аналитических методах часто используются ртутные лампы низкого давления.

## Требования к источникам УФ-излучения для анализа или **идеальный конечный результат:**

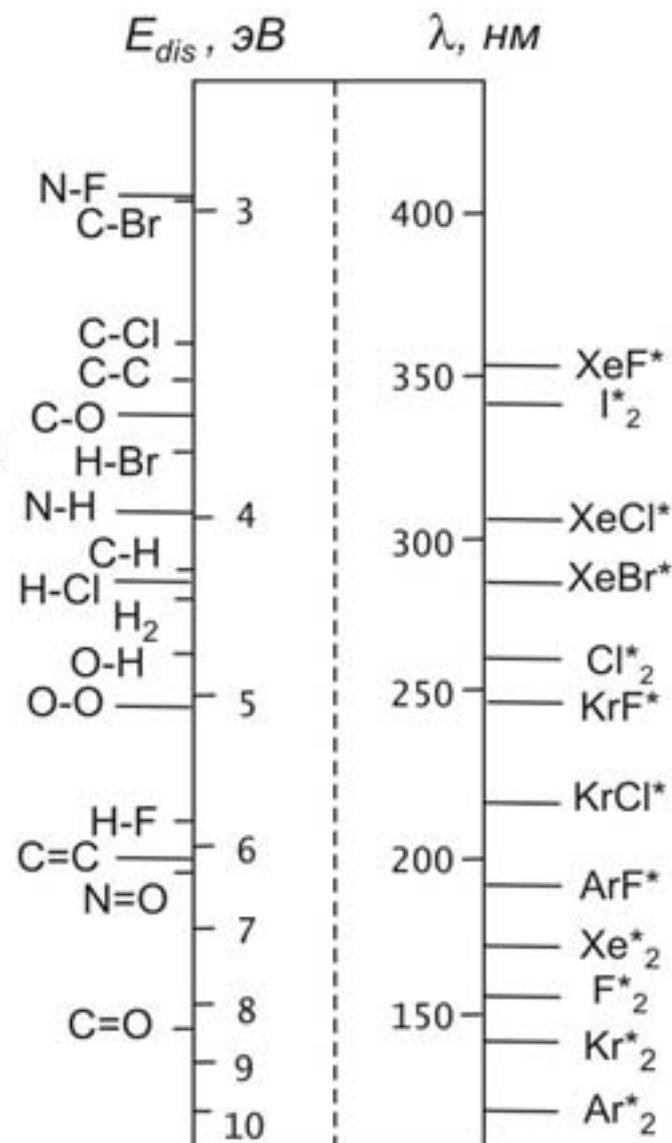


1. *Спектральный состав излучения:* лампа должна излучать в тех областях спектра, которые соответствуют максимуму поглощения РОВ;
2. Лампа должна иметь *высокую эффективность*, чтобы как можно меньше энергии тратилось на нагрев колбы и как можно больше энергии переходило в полезное по п.1 излучение;
3. Лампа должна быть *проста и безопасна* (озоно- и электробезопасна);
4. Лампа должна иметь *высокую удельную светимость* (не менее 10 мВт/см<sup>2</sup>).

### 3. Экцимерные и эксиплексные газоразрядные лампы (эксилампы)

Эксилампы являются *подклассом* разрядных ламп, излучающих за счет распада экцимерных молекул (экцимеров, - от англ. *excited complex* (exciplex) - возбужденный комплекс, если речь идет о гетероядерной молекуле или эксиплексных молекул (эксиплексов, - от англ. *excited dimer* (excimer) - возбужденный димер, если речь идет о молекуле, состоящей из одинаковых атомов).

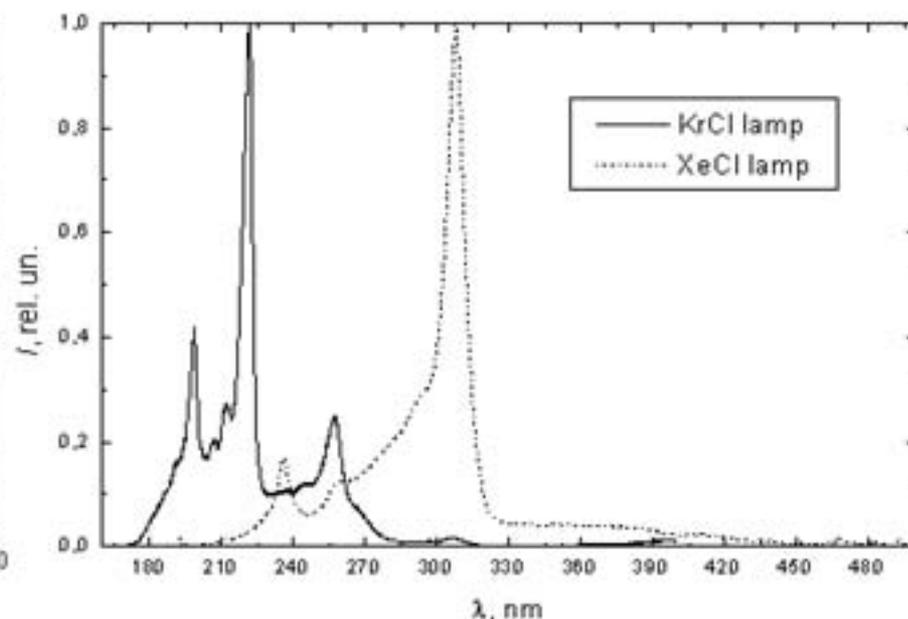
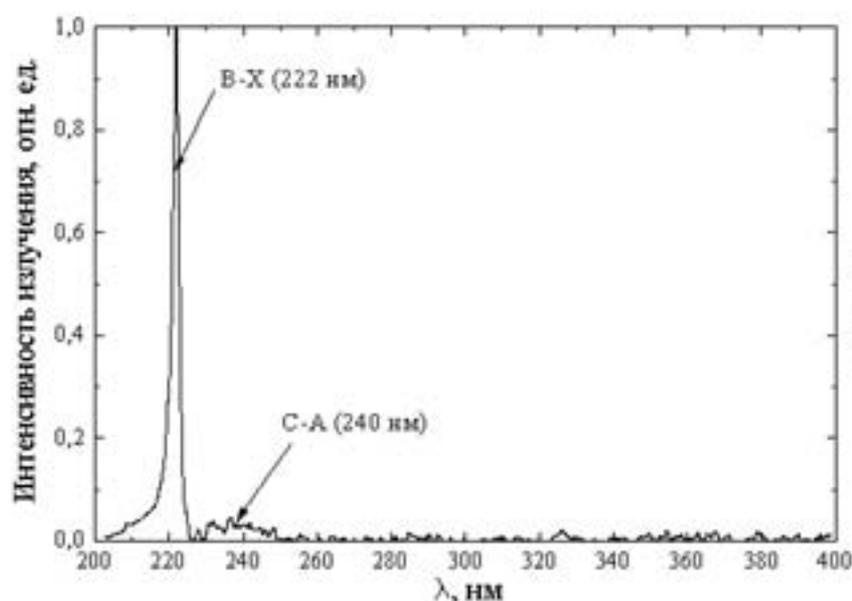
Эксилампы излучают в ультрафиолетовой (УФ) и вакуумной ультрафиолетовой (ВУФ) областях спектра. Селективность.



### 3.1. Спектральный состав излучения:

основная часть излучения (до 80% от общего светового потока) сосредоточена в узкой полосе имеющей ширину не более нескольких нанометров → высокая эффективность → относительно слабый разогрев лампы

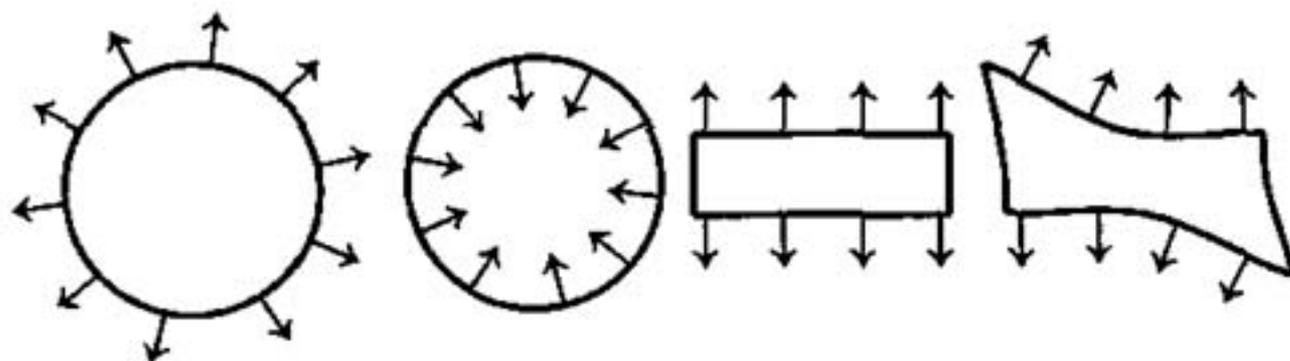
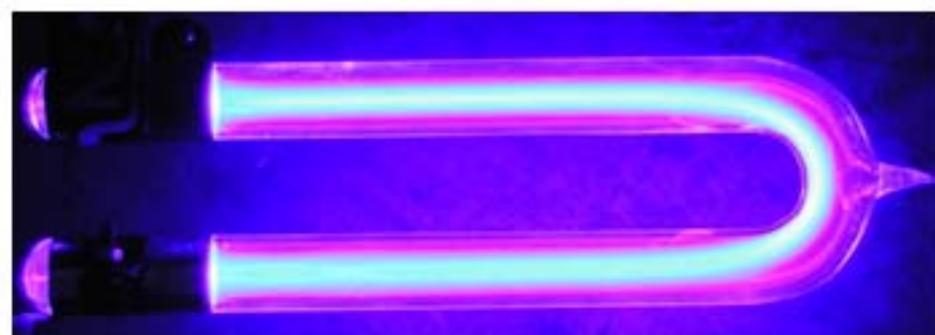
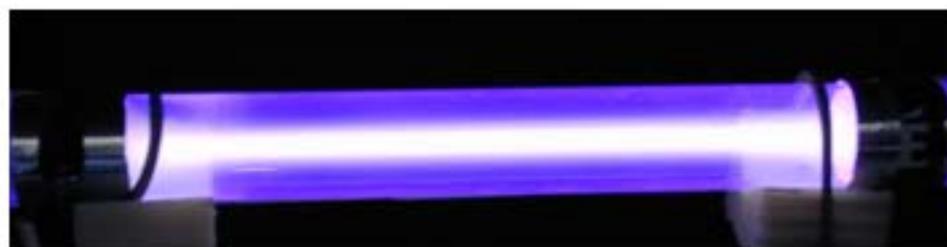
выбором рабочей молекулы и давления рабочей смеси можно обеспечить преимущественное облучение в заданном диапазоне длин волн – от вакуумного до длинноволнового УФ-излучения.



## 3.2. Конструкции

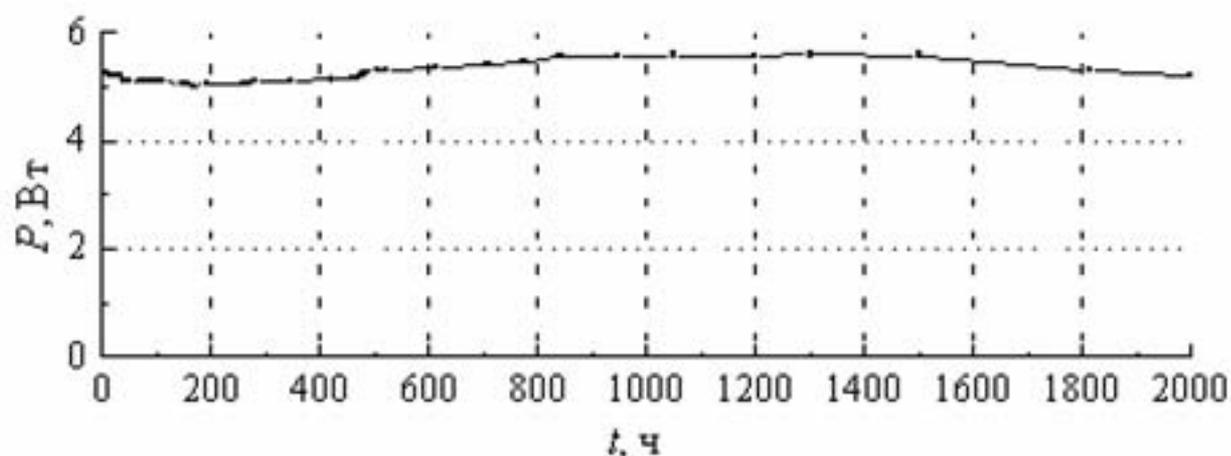
- + возможность масштабирования
- + возможность выбора произвольной геометрии излучающей поверхности

Различные формы колб эксипамп емкостного разряда (справа) и эксипамп барьерного разряда (внизу). Показаны оболочки ламп, а стрелками - направление выхода излучения



### 3.3. Достоинства эксиламп, важные для лаборанта-аналитика:

- + *электробезопасность*: типичные токи через лампу не превышают нескольких десятков миллиампер;
- + *высокая удельная светимость* – до нескольких сотен мВт/см<sup>2</sup>;
- + *отсутствие ртути в колбах*;
- + *быстрый выход* (за несколько секунд) на рабочий режим;
- + *высокий срок службы* без существенного спада интенсивности излучения (на рис. пример работы КгСг-эксилампы с начальной плотностью мощности излучения 12 мВт/см<sup>2</sup>).



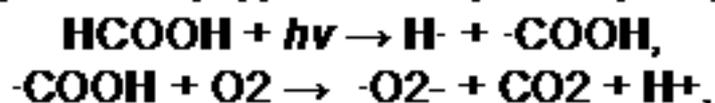
**Вывод:** по совокупности своих свойств эксилампы являются потенциально перспективной системой, которая могла бы быть использована для решения различных задач аналитической химии.

## 4. Примеры использования эксиламп в вольтамперометрическом анализе

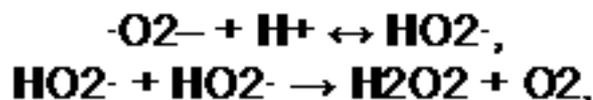
### 4.1. Фотохимическая дезактивация кислорода в растворах

Традиционно удаление кислорода из полярографируемого раствора производят при помощи УФ-излучения ртутно-кварцевой лампы. В раствор вносятся небольшие добавки карбоновых или окси-кислот, служащих фоном, на первом этапе происходит фотодиссоциация органических молекул с образованием активных к кислороду радикалов  $\cdot R$ , а затем вторичные реакции по механизму присоединения ( $\cdot R + O_2 \rightarrow RO_2\cdot$ ) или переноса ( $\cdot R + O_2 \rightarrow R^+ + \cdot O_2^-$ ) электрона.

Механизм дезактивации кислорода в 0.5 М растворе муравьиной кислоты:



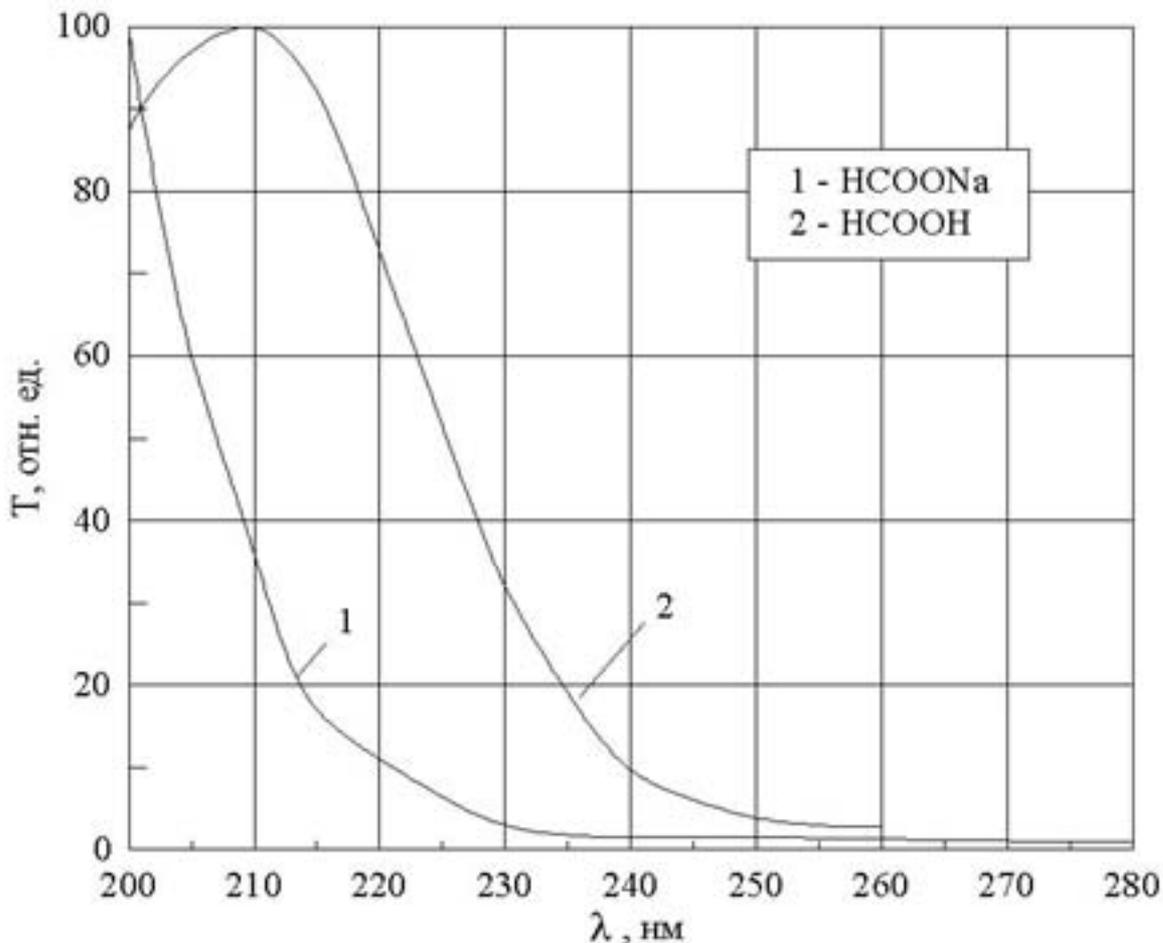
далее анион-радикал  $\cdot O_2^-$  в кислой среде быстро диспропорционирует:



а образованные пероксид водорода  $H_2O_2$  и кислород участвуют в фотохимических реакциях. В результате количество растворенного в воде кислорода уменьшается, что ведет к устранению фарадеевской составляющей остаточного тока.

(Г.М. Мокроусов, Э.А. Захарова, Т.Н. Клевцова, Г.А. Катаев, В.Н. Волкова, 1982)

## Совершенствование оптической схемы облучения



Кислоты, используемые в качестве фонов, имеют различные по длинам волн коэффициенты поглощения излучения. Видно, что поглощение самой интенсивной линии 254 нм ртутной лампы является на порядок меньшим, чем на длинах волн короче 220 нм.



Идея использования КгСг-эксилампы или лампы на парах йода, излучающие соответственно на 222 и 206 нм.

Поглощение 0.5 М растворов муравьиной кислоты и формиата натрия, используемых в качестве полярографического фона.

## Результат применения эксиламп

Деактивацию растворенного кислорода осуществляли излучением ХеВг- и КгСг- эксилампами (см. табл.), а в качестве фонового электролита использовался 0.2-0.5 моль/дм<sup>3</sup> раствор муравьиной кислоты. При прочих равных условиях облучение ХеВг- и КгСг- эксиламп позволяло удалять волну кислорода за 20 и 5 минут, соответственно. Это позволило применять эксилампы для удаления кислорода вместо барботажа анализируемого раствора инертным газом, аналогично ртутным по способу, предложенному авторами.

(Носкова Г.Н., Соснин Э.А., Иванова Е.Е., Мержа А.Н., Тарасенко В.Ф. / Оптика атмосферы и океана. 2004. №2-3)

Параметр	КгСг-эксилампа	ХеВг-эксилампа
Длина волны (В-Х переход), нм	222	283
Полуширина полосы излучения В-Х, нм	5	5
Плотность мощности УФ-излучения, мВт/см <sup>2</sup>	до 20	До 10

## **4.2. Разрушение ПАОВ, РОВ и комплексов металлов с гуминовыми и фульвокислотами**

### **Задача:**

Источником помех в вольтамерометрических измерениях могут выступать гуминовые кислоты (ГК) и поверхностно-активные органические вещества (ПАОВ).

ПАОВ и ГК адсорбируются на рабочем электроде, уменьшая его площадь, и образуют прочные комплексы с определяемыми ионами металлов. И то, и другое препятствует восстановлению ионов на поверхности рабочих электродов.

Множество природных объектов, таких как естественные природные воды, земля, торф и т.д., содержат гуминовые (ГК) и фульвокислоты, влияние которых необходимо устранять.

### **Традиционно:**

ПАОВ разрушают микроволновом и лазерным излучением, а также ультразвуком. Часто применяется озонирование раствора вокруг электродов. Иногда используется облучение ртутной лампой низкого давления.

## **Экспериментальная процедура**

**Получение методом ИВА значимых анодных пиков ионов металлов Zn, Cu, Cd, Pb на фоне 0.5 М HCOOH**



**добавка мешающего вещества (лаурилсульфата натрия или ГК), которая вела к исчезновению аналитического сигнала**



**озонирование или УФО раствора за время, необходимое для восстановления сигнала.**

**УФО осуществляли ртутно-кварцевой лампой ( $\lambda=254$  нм) либо КгСг-эксипампой емкостного разряда ( $\lambda\sim 222$  нм).**

**(Sosnin E.A., Batalova V.N., Slepchenko G.B., Tarasenko V.F. / Proc. SPIE. 2002. V.4747. P.352-357; Sosnin E.A., Batalova V.N., Buyanova E.Yu., Tarasenko V.F. / In Proc. of Int. Conf. PHYSCON 2003, Aug. 20-22, St.-Peterburg, Russia. P.350-352)**

## Результат испытаний эксилампы

1. Исследование добавок лаурилсульфата Na показало, что это ПАОВ подавляет пики свинца и кадмия, имеет слабое влияние на сигнал меди и не влияет на сигнал цинка. Озонирование оказалось успешным только при восстановлении сигналов ионов меди. Было показано, что облучение KгСl-эксилампой является наиболее эффективным для разрушения лаурилсульфата Na. Действие излучения Hg-лампы даже в присутствии в растворе фотокатализатора TiO2 было менее эффективным. Последнее имело место для всех элементов в течение всех экспериментов.

2. Деградацию ГК под действием озона и излучения KгСl-эксилампы демонстрирует табл. Видно, что ГК сильнее всего подавляло аналитический сигнал Zn. Облучение KгСl-эксилампой всегда приводило к полной деградации ГК.

Элемент	Пик анодного тока, мкА			
	Начальный раствор	После добавки гуминовой кислоты	После 50 с озонирования раствора	После 120 с облучения KгСl-эксилампой
Zn	0.040	0.002	0.002	0.041
Cd	0.161	0.025	0.034	0.165
Pb	0.095	0.021	0.032	0.100
Cu	0.089	0.023	0.024	0.093

## **5. Использование эксиламп при определении содержания ртути в пищевых продуктах**

### **Задачи:**

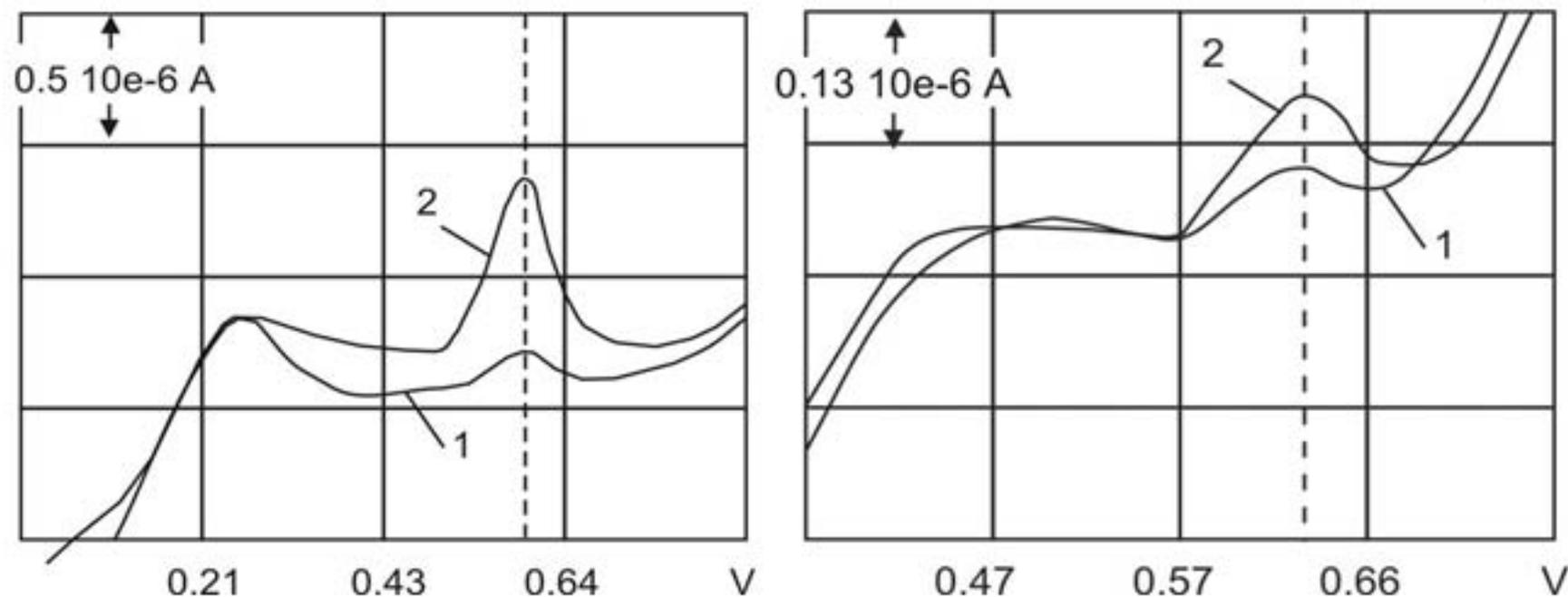
- 1. Определить потенциал применения эксиламп в вольтамперметрических измерениях содержания ртути в пробах пищевых продуктов.**
- 2. Сравнить действие цилиндрических ХеСf-, ХеВг- и КгСf-эксиламп емкостного разряда и U-образной ртутно-кварцевой лампы ДРФХ-204.**
- 3. Оптимизировать процедуру пробоподготовки.**

**(Sosnin E.A., Batalova V.N., Slepchenko G.B., Tarasenko V.F. / Proc. SPIE. 2002. V.4747;  
Bytalskaya O.A., Sosnin E.A., Batalova V.N. / Digest of the VI International Conference "Atomic  
and Molecular Pulsed Lasers", Tomsk (15.09.03 - 19.09.03), 2003. F-18.)**

# Экспериментальная аппаратура

<b>Метод:</b>	Анодная инверсионная вольтамперометрия (АИВ)
<b>Оборудование:</b>	Анализатор СТА-1 4215-001-2064097 (ИТМ, Томск, Россия) в комплекте с IBM-совместимым компьютером, позволяющий проводить одновременное проведение анализа трех проб и автоматический расчет метрологических характеристик. Сменные стаканчики из кварцевого стекла вместимостью 15-20 см <sup>3</sup>
<b>Электроды:</b>	Рабочий электрод: золотографитовый электрод (ЗГЭ) на основе графитового, напыленный в режиме «in situ» электролизом из раствора хлорида золота с концентрацией 100 мг/дм <sup>3</sup> . Электрод сравнения: Хлор-серебрянный электрод в насыщенном растворе КСl с сопротивлением не более 3.0 кОм Mixer MM (Польша)
<b>Магнитная мешалка:</b>	ДП-1-50, ДП-1-200, ДП-1-1000
<b>Дозаторы:</b>	
<b>Реактивы:</b>	Стандартные растворы Hg (100 мг/л) и Au (10000 мг/л), дважды дистиллированная вода

## Результаты испытаний (1)



Вольтамперограммы, полученные при анализе пробы **огурца (слева)** после облучения ХеСl-эксимером в течение 30 мин (1); после стандартной добавки  $\text{Hg}^{2+}$ (2) и **молока (справа)** после облучения КгСl-эксимером в течение 30 мин (1); после стандартной добавки  $\text{Hg}^{2+}$  в раствор (2). Пунктирная линия обозначает анодный пик, соответствующий количеству осажденных на рабочем электроде ионов.

## Результаты испытаний (2)

Содержание ионов  $Hg^{2+}$  (мг/кг), полученное методом ИВА с УФО (содержание ртути в пробах менее 0,005-0,001 мг/кг, ртуть вводили в пробы перед пробоподготовкой)

Объект анализа	Источник излучения	Время облучения, мин	Содержание ионов $Hg^{2+}$ после первой и второй добавок стандарта $Hg^{2+}$	
Огурец	XeCl-эксплампа	80	0.052	0.054
Молоко #1	KrCl-эксплампа	45	0.012	0.012
Молоко #1	KrCl-эксплампа	55	0.038	0.030
Молоко #1	Hg-лампа	55	0.071	0.120
Сметана	KrCl-эксплампа	30	0.003	0.003
Молоко #2	KrCl-эксплампа	60	0.014	0.015
Морковь	KrCl-эксплампа	60	0.313	0.317
Картофель	KrCl-эксплампа	50	0.114	0.120
Картофель	Hg-лампа	50	0.162	0.169
Мясо	KrCl-эксплампа	60	0.060	0.063

**Вывод:** эксперименты показали, что все исследуемые эксипампы могут быть альтернативной системой для пробоподготовки наряду с традиционными ртутными лампами низкого давления.

## **Дополнительные особенности**

При оптимизации условий пробоподготовки при определении ионов ртути в молочных продуктах и овощах за счет использования ХеВг-эксилампы нам удалось:

**1)** в 2 раза *сократить время анализа* по сравнению с методикой №08 – 47/081), Томск 1998.

**2)** *исключить применение фотокатализатора  $TiO_2$  и стадию фильтрования пробы,*

**3)** ХеВг-эксилампа отработала более *500 часов без заметного спада интенсивности излучения;*

**4)** *удобство для химика-аналитика:* спектр лампы имеет максимум на длине волны 283 нм, что, с одной стороны, позволяет проводить необходимые фотохимические реакции, а с другой стороны, *уменьшает продукцию озона в слое воздуха между лампой и облучаемым объектом.*

**5)** время выхода ХеВг-эксилампы на режим составляет несколько секунд, между тем традиционные ртутные лампы перед использованием должны предварительно разогреваться в течение нескольких минут.

**6)** отсутствие ртути в колбе лампы.

## **6. Использование эксилламп при определении содержания йода в урине**

### **Задача:**

1. Чувствительность инверсионной вольтамперометрии позволяет проводить измерение концентрации йода в разбавленных пробах мочи. Однако при анализе разбавленной даже в 100 раз мочи не удается выделить аналитический сигнал иодид-ионов без предварительной обработки пробы, так как присутствие в моче органических составных элементов приводит к появлению на вольтамперограммах острых адсорбционных пиков, маскирующих аналитический сигнал йода.

2. Кроме того, йод в моче может находиться в различных формах, перед измерением содержания йода их необходимо перевести в электрохимически активную форму.

### **Традиционно:**

Ультрафиолетовое облучение водных растворов позволяет восстановить соединения йода с положительной валентностью до иодид-ионов.

### **Предложение:**

Изучить возможности эксилламп в данной задаче.

## Экспериментальная аппаратура

- Метод:** Анодная инверсионная вольтамперометрия (АИВ)
- Оборудование:** Анализатор ТА-4 (ООО НПП «Томьяналит», Томск, Россия) в комплекте с IBM-совместимым компьютером, позволяющий проводить одновременное проведение анализа трех проб и автоматический расчет метрологических характеристик.
- Электроды:** Сменные стаканчики из кварцевого стекла вместимостью 15-20 см<sup>3</sup>  
Рабочий электрод: ртутно-пеночный электрод (РПЭ), приготовленный путем электролитического осаждения ртути на серебряную проволоку диаметром 1.1 мм и длиной 8-9 мм, запрессованную в полимерный стержень, из насыщенного раствора  $Hg_2(NO_3)_2$  при постоянном токе 1.5 мА в течение 600 секунд.  
Электрод сравнения: хлоридсеребряный электрод (в 1 М КСД).
- Дозаторы:** ДП-1-50, ДП-1-200, ДП-1-1000
- Экци лампы:** Экци лампы емкостного разряда на рабочих молекулах  $KrCl^*$  ( $\lambda \sim 222$  nm) и  $XeBr^*$  ( $\lambda \sim 283$  nm) с плотностью мощности излучения до 18 мВт/см<sup>2</sup>.

**Влияние ультрафиолетового облучения на степень  
разрушения органических веществ и получение  
воспроизводимого пика иодид-ионов**

Разбавление мочи	Добавка окислителя	Время УФО, мин.	
		KгСl-эксциллампа	ХеВг-эксциллампа
1:100 (0.1 мкг мочи на 10 мл воды)	Без добавок	180	Не удастся зарегистрировать АС
	0.2 мкг H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30%	120	Не разрушается H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
1:200 (0.05 мкг мочи на 10 мл воды)	Без добавок	120	Не удастся зарегистрировать АС
	0.2 мкг H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30%	60	Не разрушается H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
	0.5 мкг HCOOH конц.	60	Не удастся зарегистрировать АС
	0.1 мкг H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30% + 0.05 мкг 1М KNO <sub>3</sub>	40	120
0.03 мкг мочи на 10 мл воды	Без добавок	90	Не удастся зарегистрировать АС
	0.1 мкг H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30% + 0.05 мкг 1М KNO <sub>3</sub>	20	20

## **Показано, что:**

- 1) Для подготовки проб мочи можно использовать обе эксилампы.**
- 2) Минимальное время облучения KгСг-лампой проб мочи составляет 20 минут.**
- 3) Использование ХеВг-лампы возможно только при введении добавок окислителей в облучаемый раствор, интенсивном перемешивании облучаемого раствора и минимальном расстоянии между лампой и стаканчиком с раствором.**
- 4) Применение KгСг-лампы имеет два преимущества:**
  - 4.1) возможность разрушения органических веществ без добавок окислителей**
  - 4.2) ускоренное устранение мешающего влияния кислорода фотохимическим способом при регистрации сигнала йода.**

## **Итог:**

**Проведенные исследования показывают, что использование эксиламп позволяет снизить время определения содержания йода в моче до 30 минут.**

**(Носкова Г.Н., Соснин Э.А., Иванова Е.Е., Мерка А.Н., Тарасенко В.Ф. / Оптика атмосферы и океана. 2004. №2-3.)**

## 7. Выводы и прогнозы

Среди перспективных областей аналитической химии, где стоило бы попробовать использовать эксилампы, на наш взгляд можно было бы назвать следующие:

1) Использование УФО в стадии пробоподготовки в неорганическом анализе разнообразных объектов (экологических и биообъектов, пищевых продуктов, лекарственных веществ и др.) как непосредственно, так и с использованием окислителей;

2) Очистка воды от органических загрязнителей с использованием окислителей;

3) Определение в водах общего органического углерода, азота и фосфора;

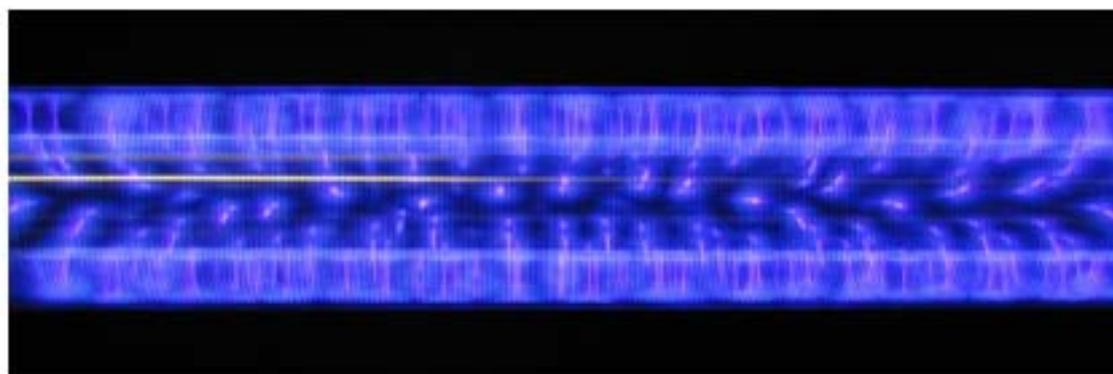
4) Определение форм металлов (для изменения степени окисления ионов, разрушения металлоорганических комплексов и т.д.);

5) Фотоокисление/восстановление в растворах (например при фотохимическом титровании) с помощью фотогенерированных восстановителей и окислителей;

6) Применение фотохимических реакторов для детектирования веществ после хроматографического разделения. Например, получение фотохимическим путем веществ электроактивных в амперометрическом детекторе;

7) Для обезвреживания токсичных реагентов - микотоксинов, цианидов, в системах проточного анализа (например, для превращения нитратов в нитриты).

## **Благодарности**



**Автор благодарит своих коллег по исследованиям из ИСЭ СО РАН (профессора Тарасенко В.Ф., Ерофеева М.В., Шитца Д.В. и Липатова Е.И.), руководителя фирмы «ЮМХ» Г.В. Слепченко, магистрантку ТГУ Буянову Е.Ю, сотрудников НПП «ТомьАналит» (Чернова В.И., Иванову Е.Е. и Носкову Г.Н.), Вилисова Г.Т. (ООО «ИТМ»).**

**В полном объеме материал будет опубликован в журнале «Заводская лаборатория» в 2004 г.**