



Санкт-Петербургский  
государственный  
университет



XIII Всероссийская конференция  
по анализу объектов окружающей среды

# Экоаналитика

# СБОРНИК ТЕЗИСОВ

19–23 мая 2025  
Санкт-Петербург

УДК 502.3/504.06  
ББК 20.18

ЭКОАНАЛИТИКА-2025: тезисы докладов XIII Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды с международным участием (Санкт-Петербург, 19-23 мая 2025) – СПб.: электронное издание, 2025 – 201с.

УДК 502.3/504.06  
ББК 20.18

## ***Организационный комитет***

### **Председатели:**

д.х.н. А.В. Булатов  
академик РАН Ю.А. Золотов

### **Заместитель председателя:**

|                      |
|----------------------|
| к.х.н. М.М. Залетина |
|----------------------|

### **Ученый секретарь:**

к.х.н. Ф.М. Крехова

### **Члены оргкомитета:**

д.х.н. В.В. Апяри  
к.х.н. Т.Н. Бочко  
д.х.н. С.Е. Винокуров  
к.х.н. Е.Г. Давыдова  
д.х.н. С.С. Ермаков  
академик РАН С.Н. Калмыков  
д.х.н. А.А. Карцова  
к.х.н. И.Н. Киселева  
д.х.н. Л.Н. Москвин  
д.х.н. Т.С. Папина  
д.х.н. И.В. Перминова  
к.х.н. А.С. Почивалов  
д.х.н. И.И. Тимофеева  
д.х.н. А.Ю. Шишов  
член-корр. РАН О.А. Шпигун  
д.х.н. С.Н. Яшкин

## ***Организаторы:***

**ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О МАТЕРИАЛАХ РАН  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ  
ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ «ЭКОАНАЛИТИКА»  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

*Генеральный спонсор:*



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ  
ОПЕРАТОР  
РОСАТОМ

*Спонсоры:*



**Крисмас**<sup>®</sup>

 **ПЕТРОАНАЛИТИКА**



**ФЛП**  
ФизЛабПрибор

 | **A90B.COM**

 **ИЛИМ**

 **ПРОМЫШЛЕННЫЕ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ЛАБОРАТОРИИ**  
pe-lab.ru

**EV  
SCIENCE**  
A PART OF 

  
**ЭНЕРГОЛАБ**

 **ЭЛТЕМИКС**  
ELTEMIKS-LAB

*Информационные партнеры:*

**ЛАБОРАТОРИЯ И  
ПРОИЗВОДСТВО**

 **ТЕХНОСФЕРА**  
РЕКОМАНДОВАННЫЙ ЦЕНТР  
[www.f-analytics.ru](http://www.f-analytics.ru)  
**Аналитика**  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**Всероссийская конференция  
по анализу объектов окружающей среды  
«ЭКОАНАЛИТИКА»  
проводилась на базе:**



1994 г.  
1996 г.  
1998 г.  
2000 г.     **Кубанского государственного университета**



2003 г.     **Санкт-Петербургского государственного университета**



2006 г.     **Самарского государственного технического университета**



2009 г.     **Марийского государственного университета**



2011 г.     **Архангельского государственного технического университета**



2014 г.     **Калининградского государственного технического университета**



2016 г.     **Института биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН**



2019 г.     **Пермского государственного национального  
исследовательского университета**



2022 г.     **В рамках IV Съезда аналитиков России (Москва)**



2025 г.     **Санкт-Петербургского государственного университета**



**ООО «Промышленные Экологические Лаборатории»** – надежный российский разработчик и производитель лабораторного оборудования с 16-летним опытом. Мы создаем решения для испытательных центров, научных организаций и образовательных учреждений, обеспечивая высокое качество и соответствие современным стандартам.

### Наши ключевые бренды:



**ECOVIEW™ (ЭКОВЬЮ)** – спектрофотометры для науки, фармацевтики и образования, включая новинки 2024 года российского производства с ксеноновыми лампами и ПО с госрегистрацией



**ULAB™ (ЮЛАБ)** – широкий ассортимент лабораторного оборудования: центрифуги, нагревательные плитки, шейкеры, сушильные шкафы российского производства. Полностью соответствует требованиям **ГОСТ 17025-2019**



**ULTRA OPTIC™ (УЛЬТРА ОПТИК)** – фотометрические кюветы из кварца и стекла, включая спецрешения под любые методики (производство США)

### Почему выбирают нас?

- ✓ **Собственное производство** (ООО «ПО Псков Экология») – контроль качества и доступные цены.
- ✓ **Оборудование для аккредитованных лабораторий** – валидация и соответствие отраслевым стандартам.
- ✓ **Экспертные консультации** – менеджеры с химическим образованием помогут подобрать оптимальное решение.
- ✓ **Надежный сервис** – оперативная поддержка и решение нестандартных задач.

**Мы рады предложить вам лучшие решения для вашей лаборатории!**

8 (800) 777-21-70



info@pe-lab.ru



www.pe-lab.ru



197341, г. Санкт-Петербург. Ул. Афонская д. 2





## Мы предлагаем:

- Аналитическое оборудование
- Лабораторное оборудование
- Мебель
- Химические реактивы
- Расходные материалы



Информационная  
поддержка



Гарантийное и  
постгарантийное  
обслуживание

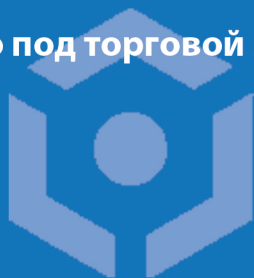


Оснащение  
лабораторий “под  
ключ”



## Собственное производство под торговой маркой **Laboratoroff:**

- вытяжные шкафы;
- столы лабораторные;
- тумбы лабораторные;
- столы-мойки и др.



[www.eltemiks.ru](http://www.eltemiks.ru) | [info@eltemiks.ru](mailto:info@eltemiks.ru)  
+7(812)602-77-94 (Санкт-Петербург)  
+7(499)322-90-04 (Москва)



**ПЕТРОАНАЛИТИКА – аккредитованный производитель СО**

### **Разработка и изготовление стандартных образцов**

Компания «ПЕТРОАНАЛИТИКА» – один из лидеров в разработке и изготовлении стандартных образцов состава и свойств материалов. Компания является аккредитованным производителем стандартных образцов в соответствии с ISO 17034:2016.

### **Стандартные образцы для следующих областей:**

- Нефтедобывающей и нефтехимической промышленности
- Нефтеперерабатывающей промышленности
- Химической и фармацевтической промышленности
- Экологии и мониторинга окружающей среды
- Агрохимической, пищевой и вино-водочной промышленности
- Парфюмерно-косметической и строительной отрасли
- Медицины и других отраслей



### **Контакты:**

- Телефон: +7 (812) 447-95-10
- Email: [info@petroanalytica.ru](mailto:info@petroanalytica.ru)
- Сайт: [petroanalytica.ru](http://petroanalytica.ru)

**Надежность, точность, качество – наши стандартные образцы на службе Вашего производства!**



AE.ENERGOLAB.COM

+7 (495) 926-02-14

+7 (495) 926-02-15

**ВАШ ПОСТАВЩИК  
ЛАБОРАТОРНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**



**Компания «Энерголаб» предлагает:**

- ◆ аналитические приборы и лабораторное оборудование ведущих производителей, отвечающие международным стандартам качества и безопасности;
- ◆ расходные материалы и запасные части;
- ◆ гарантийное и постгарантийное обслуживание.



**Sintecon**

Под торговой маркой Sintecon производятся современные аналитические приборы и лабораторное оборудование.

**Продукция является лучшей альтернативой западным брендам, отличаясь надежностью, высокой чувствительностью и более выгодной стоимостью.**

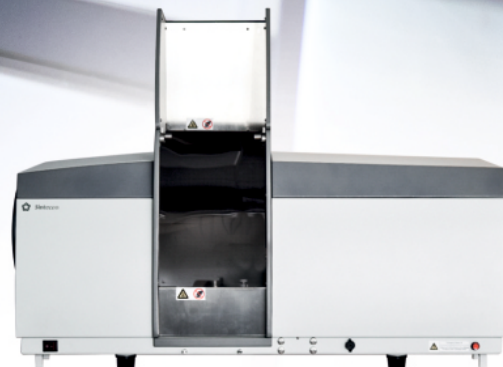
Мы предлагаем качественную продукцию, которая уже успела зарекомендовать себя на российском рынке.



Система ВЭЖХ  
Sintecon HPLC 10.600



УФ-ВИД спектрофотометр  
экспертного уровня  
Sintecon CDA-4



Атомно-абсорбционные спектрометры  
Sintecon AA-8



**Agilent**



**Sintecon**



**XiangYi  
Instruments**



**PERSEE**



**OPTOSKY**  
Spectroscopy Solutions



**SHIMADZU**  
Excellence in Science



**GBC**



**Thermo  
SCIENTIFIC**



**LECO**



**Rigaku**



**Metrohm**



**VIBRA**  
Measure the Future

**Waters**



**membraPure**  
WATER • TOC • AMINO • ION



**Anton Paar**



Компания ФИЗЛАБПРИБОР – официальный дистрибьютор ведущих мировых производителей хроматографического оборудования и сорбентов.



Осуществляются регулярные поставки материалов как для аналитической хроматографии, так и для процессов промышленной хроматографической очистки.



В штате нашей компании группа опытных научных консультантов, которые оказывают помощь в подборе оборудования и сорбентов под Вашу задачу.



Наличие собственной сервисной службы позволяет оказывать техническую поддержку заказчиков и осуществлять постгарантийное обслуживание на поставленное оборудование.



Широкий выбор оборудования: для аналитической, полупрепаративной и промышленной хроматографии высокого, среднего и низкого давлений. Возможность изменения конфигураций хроматографических систем позволяет значительно снизить расходы на закупку и максимально эффективно использовать бюджет. Вместе с хроматографическими системами поставляются стеклянные, стальные или акриловые пилотные колонны с диаметром до 2000 мм, а также колонны с динамической аксиальной компрессией (DAC) и вспомогательное оборудование для упаковки колонн.



Написать  
нам на почту

**Будем рады обращению в нашу компанию!**

fizlabpribor.ru +7(495)740-54-06, +7(495)740-54-30 info@fizlabpribor.ru



Компания ФИЗЛАБПРИБОР – официальный дистрибьютор ведущих мировых производителей хроматографического оборудования и сорбентов.



Жидкий сорбент Аммофлок-25 собственного производства для предварительной очистки в биотехнологических процессах, который позволяет удалять значительное количество отрицательно заряженных примесей, таких как липополисахариды (бактериальный эндотоксины), ДНК, белки клетки-хозяина, вирусные частицы и т.д. Также позволяет удалять и другие различные компоненты, препятствующие фильтрации растворов после процесса культивирования.



Большой ассортимент сорбентов с различными характеристиками позволяет выбрать оптимальное решение для Вашей научной или производственной задачи.

**СДЕЛАНО  
В  
РОССИИ**

## Сорбенты для промышленной хроматографии:

- аффинная хроматография для моноклональных антител: Protein A, L, G на сефарозной и полимерной матрицах.
- ионная хроматография: S/Q/DEAE/CM, солеустойчивые сорбенты с уникальными характеристиками. Размер частиц сорбента от 10 мкм до 100 мкм для всех стадий очистки (high resolution, intermediate purification, capture).
- HIC – широкий выбор сорбентов с различной гидрофобностью: Ether, PPG, Phenyl, Butyl, Hexyl.
- гель-проникающая хроматография на сорбентах высокого разрешения позволяют работать на скоростях потока до 300 см/ч
- аффинная хроматография: металл-хелатная, активированные смолы, реактивированные, групп специфичные сорбенты
- Mixed-Mode – удобное решение для многих задач
- Гидроксипатит
- обращенно-фазовые сорбенты на силикагельной и гибридной матрице с лигандами C18, C8, C4, Phenyl, C1
- нормально-фазные сорбенты серии HG(High Grade)
- хиральные сорбенты для разделения энантиомеров



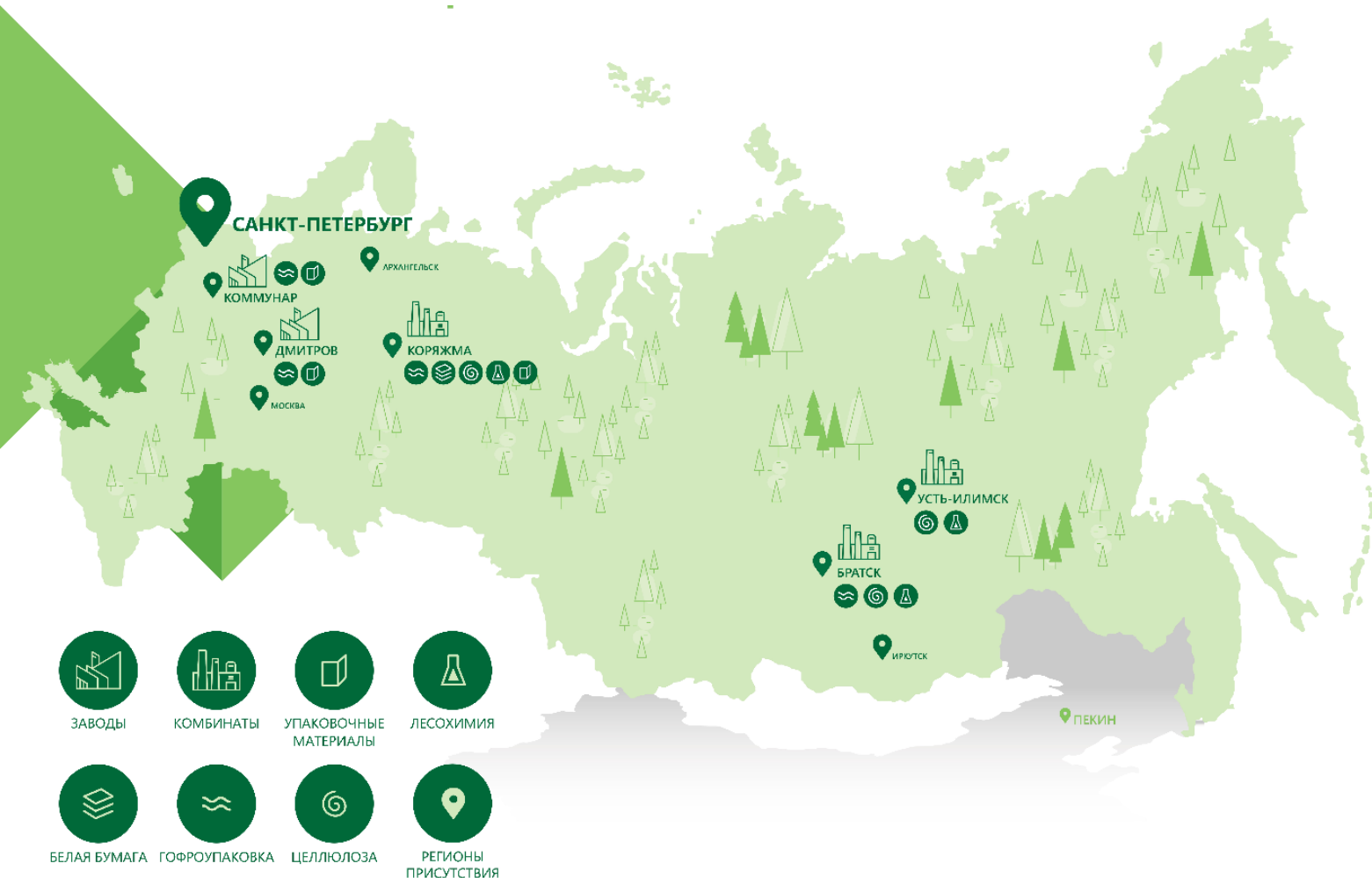
Написать  
нам на почту

## Будем рады обращению в нашу компанию!

fizlabpribor.ru +7(495)740-54-06, +7(495)740-54-30 info@fizlabpribor.ru



# ПОСТРОЙ СВОЮ КАРЬЕРУ С ЛИДЕРОМ ОТРАСЛИ



## ГРУППА «ИЛИМ»

КРУПНЕЙШИЙ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬ  
ЦБП В РОССИИ



## ПЕРВЫМИ

НАЧАЛИ ПРОИЗВОДИТЬ  
ЧИСТОЦЕЛЛЮЗНУЮ  
МЕЛОВАННУЮ БУМАГУ  
В РОССИИ



**335** МЛРД РУБ.

ОБЩИЙ ОБЪЕМ  
ИНВЕСТИЦИЙ  
ЗА 15 ЛЕТ



## КОМФОРТНЫЕ

УСЛОВИЯ РАБОТЫ: БЕЗОПАСНОСТЬ  
ТРУДА, СТАБИЛЬНОСТЬ,  
СИСТЕМА ЛЬГОТ И КОМПЕНСАЦИЙ



**16 000**

СОТРУДНИКОВ



**>4,2** МЛН ТОНН

ГОДОВОЙ ОБЪЕМ  
ПРОИЗВОДСТВА  
В КОМПАНИИ



**>70** СОТРУДНИКОВ

НА КЛЮЧЕВЫХ ПОЗИЦИЯХ  
РАБОТАЮТ В КОМПАНИИ  
БОЛЕЕ 10 ЛЕТ



**29** ЛЕТ

РАБОТЫ В КИТАЕ



**№1**

В КИТАЕ  
ПО ЧИСТОЦЕЛЛЮЗНЫМ  
ГОФРОМАТЕРИАЛАМ

Подробнее о компании вы можете узнать на сайте [www.ilimgroup.ru](http://www.ilimgroup.ru)



# Готовые решения для контроля окружающей среды, промышленного контроля и образования: портативное оборудование для химического анализа и практикумов



[christmas-plus.ru](http://christmas-plus.ru) ►

**ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ**  
**Крисмас**®

Разработчик  
и производитель  
ЗАО «Крисмас+»



Система менеджмента качества предприятия  
сертифицирована на соответствие требованиям  
международного стандарта ISO 9001

## Вода природная и водоподготовка

### Портативные лаборатории контроля воды серии НКВ



Анализ питьевой, природной воды, почвенных вытяжек, воды при контроле окружающей среды и в технологиях. Настольная лаборатория анализа воды модели НКВ-12.1 «Вода природная и водоподготовка» предназначена для анализа питьевой и природной воды (воды водоёмов хозяйственно-бытового, культурно-бытового назначения, поверхностных водоисточников и т.п.). Товар сертифицирован.

## Производственные воды (теплоэнергетика, промышленное оборудование)



Портативная водно-химическая экспресс-лаборатория котловая серии ВХЭЛ (5 модификаций) предназначена для проведения операционного аналитического химического контроля, предусмотренного при водно-химическом контроле котлоагрегатов, паровых газотрубных котлов, паровых и энерготехнологических котлов и котлов-утилизаторов (до 4 МПа), водогрейных котлов и т.п. Товар сертифицирован.

## Судовые лаборатории контроля воды, топлив и масел



Портативные судовые лаборатории предназначены:  
СЛКВ - для химического контроля качества воды, используемой в судовых силовых установках (конденсата, дистиллята, питательной, сетевой, котловой, охлаждающей), а также хозяйственно-питьевой;  
СТЛМ - для контроля топлив и масел, применяемых в различном оборудовании.  
Применяются на судах различного класса и на береговых объектах.  
Товар сертифицирован Российским морским регистром судоходства.

## Тест-комплекты химического контроля воды



Тест-комплекты – портативные наборы, предназначенные для выполнения количественного или полуколичественного химического анализа (воды, почвенной вытяжки, специальных сред) на содержание одного вещества (группы однородных веществ) в полевых, лабораторных или производственных условиях. Тест-комплекты «Крисмас» представляет собой компактно уложенную подборку готовых расходных материалов, принадлежностей, оборудования и документации. Входят в состав специализированных ранцевых лабораторий. Товар сертифицирован.

## Портативные переносные приборы контроля важнейших параметров воды



Приборы контроля воды предназначены для измерения заданных показателей в соответствии с выбранными методиками водно-химического контроля. Позволяют оптимизировать операционный контроль, дополняя химический контроль приборными измерениями (рН-метры, кондуктометры, оксиметры, ионометры, фотометры и др.).  
Товар сертифицирован.

## Индикаторные трубки



Индикаторные трубки – простые и эффективные приборы анализа газов, предназначены для экспресс-определения вредных веществ в воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах, охраны труда (оценку рабочих мест), в условиях чрезвычайных ситуаций, в области экологии, на промышленных предприятиях и др. Товар сертифицирован.

## Портативные лаборатории химического контроля воздуха



Мини-экспресс-лаборатория «Пчёлка-Р» и её модификации и аналоги предназначены для раннего экспресс-обнаружения загрязнения окружающей среды агрессивными химическими веществами и радиоактивными элементами. В состав полевых химических лабораторий входят средства химического экспресс-контроля (индикаторные трубки с аспиратором, тест-системы), а также дозиметрические приборы (по согласованию с потребителем). Товар сертифицирован.

В состав комплектов оборудования входят профессиональные мануалы (эксплуатационные, пооперационные) и справочно-информационные руководства оператора по химическому анализу.

## контакты ►

Отдел продаж ГК «Крисмас»:  
191119 Санкт-Петербург, ул. К. Заслонова, д. 6  
(812) 575-54-07; 575-55-43  
8 (800) 302-92-25 (звонок по России бесплатный)  
[info@christmas-plus.ru](mailto:info@christmas-plus.ru)

Эксклюзивный дилер в Москве:  
127247 г. Москва,  
Дмитровское шоссе, д. 96, корп. 2  
[n-chernyh@christmas-plus.ru](mailto:n-chernyh@christmas-plus.ru)  
[ecologlab.ru](http://ecologlab.ru)



Поставка оборудования  
Методическая поддержка  
Техническое обслуживание

## Оборудование для исследования состава и свойств материалов

от проработки задач до установки и обучения

- Элементный анализ (ICP-AES, ICP-MS, AA, XRF, GD-MS)
- Изотопный анализ (TIMS)
- Молекулярная спектроскопия (UV-Vis, флуориметрия, FT-IR)
- Термоанализ (TGA, DSC, TMA, STA)
- Гелиевая пикнометрия
- Анализаторы удельной поверхности и размера пор
- Каталитические реакторные установки
- Анализаторы хемосорбции
- Порошковая дифрактометрия
- Электроспиннинг



## Пробоподготовка

- Лабораторные прессы
- Лабораторные мельницы
- Системы очистки воды
- Системы очистки кислот
- Нагревательные плиты
- Графитовые блоки
- Системы микроволнового разложения



+7(495) 256-24-84  
[www.lab-test.ru](http://www.lab-test.ru)  
[info@lab-test.ru](mailto:info@lab-test.ru)

Москва, Ленинский пр.-т, д.19, с.1

## СОЗДАНИЕ

## СИСТЕМЫ ГИБКИХ ЛАБОРАТОРИЙ



- Проектирование гибких лабораторных пространств
- Сервисные потолки и системы скрытой подачи коммуникаций
- Интеллектуальные вытяжные шкафы и лабораторная мебель
- Трансформируемые перегородки и химические стены
- Системы безопасного хранения

Компания ООО «А90Б» - российское предприятие полного цикла в области дизайна и производства лабораторий - лидер в РФ - от проектирования до сдачи объекта в эксплуатацию, имеет большой опыт и превосходные референции от заказчиков

Высокие требования к материалам и качеству производимой продукции обеспечивают жизненный цикл более 25 лет



186

ВЫПОЛНЕННЫХ  
ПРОЕКТОВ



1150

ТОВАРОВ  
В КАТАЛОГЕ

**СИБУР** | **НИЖНЕКАМСК НЕФТЕХИМ**



Технопарк «СКОЛКОВО»  
Более 50 лабораторий



**EUROCHEM**

АО «ЕВРОХИМ»  
Комплекс лабораторий

**Skoltech**

Лаборатории Ресурсных центров  
Лаборатории Центра наук о жизни

**ТЕХНОПАРК**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
Научный парк живых систем  
(Russian-Finnish Life Science Park)



**РОСАТОМ**



ИППИ РАН  
Лабораторный комплекс



**ГИМНАЗИЯ**

ИМ. Е.М. ПРИМАКОВА



ПАО «АКРОН»  
Научно-исследовательский центр



**ТЕХНОПАРК**

Физтех-лицей им. П.Л. Капицы



Мы являемся производителем  
особочистых растворителей и  
реактивов для аналитической  
химии, биологии, синтеза  
олигонуклеотидов и т.д. Наша  
миссия – обеспечить клиентов  
высококачественными  
продуктами.

**Растворители для хроматографии**  
**Растворители для масс-спектрометрии**  
**Растворители для синтеза ДНК и РНК**  
**Растворители Ph. Eu.**  
**Растворители для биологии**  
**Безводные растворители**  
**Готовые смеси элюентов**

**РУ СДЕЛАНО  
В РОССИИ**



**GreenVan**

[evascience.ru](http://evascience.ru)  
8 (800) 444-64-91

[sales@green-van.ru](mailto:sales@green-van.ru)

# ООО «НПО «СПЕКТРОН»

Российский производитель спектрометров  
и анализаторов с 1989 года

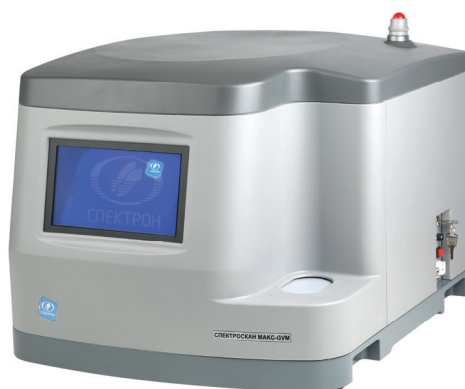
Настольные рентгенофлуоресцентные волнодисперсионные спектрометры серии «СПЕКТРОСКАН» широко применяются для экологического мониторинга и контроля. Спектрометры внесены в Государственный реестр СИ (№58305-14, №22525-07) и освобождены от радиационного контроля. Спектрометры обеспечивают определение элементов в различных материалах (твердых, жидких и порошкообразных) в широких диапазонах содержаний — от нижнего предела количественного обнаружения до 100 %.

ООО «НПО «СПЕКТРОН» является разработчиком следующих аттестованных методик количественного химического анализа для экологических исследований с применением WDXRF-спектрометров СПЕКТРОСКАН МАКС:

- Воздух рабочей зоны и вентиляционные выбросы (ФР1.31.2014.17344, ФР1.31.2011.09285)
- Растительные материалы и продукты питания (ФР1.31.2014.17343)
- Отходы минерального происхождения (ФР1.31.2015.20702)
- Экологический мониторинг химического анализа почв и донных отложений (ФР1.31.2018.32143)
- Природные, питьевые и сточные воды (ФР1.31.2011.09287)

## СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM

от **Na** до **U**



## СПЕКТРОСКАН МАКС-G/GF

**Ca** — **U**  
+ EDX каналы (Mg - Ca)



### ООО «НПО «Спектрон»

190020, Россия, г. Санкт-Петербург  
ул. Циолковского, д. 10А  
помещение 203

тел. +7 (812) 325-81-83  
факс +7 (812) 325-85-03  
info@spectronxray.ru  
www.spectronxray.ru



## **ЛЕД КАК ОБЪЕКТ АНАЛИЗА**

**Папина Т.С.**

*ФБГУН Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия*

*E-mail: [rapina@iwep.ru](mailto:rapina@iwep.ru)*

Среди объектов окружающей среды лед занимает особое положение, выполняя важную роль в перераспределении и круговороте воды в системе атмосферная влага – лед – пресные внутриконтинентальные воды, а также выступая в качестве биогеохимического барьера между разными средами (например, морская или пресная вода – лед). В последнее время лед высокогорных и покровных ледников нашел широкое применение в качестве природного палеоархива, имеющего высокое временное разрешение и позволяющего заглянуть в прошлое нашей планеты.

В докладе будут всесторонне рассмотрены вопросы методов и способов отбора проб льда ледников и ледовых покрытий, а также особых условий при подготовке проб к анализу. Будут рассмотрены требования, предъявляемые к методам анализа ледовых проб, и представлен критический анализ основных ошибок, возникающих при отборе, анализе и интерпретации полученных результатов анализа. На примере высокогорных ледников будет показана ценность полученной в результате послойного анализа ледовых кернов информации, позволяющей идентифицировать масштабные антропогенные события в прошлом.

*Работа выполнена в рамках гос. задания Института водных и экологических проблем СО РАН.*

**ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ В АНАЛИЗЕ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ:  
БИТВА ЗА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ**

***А.А.Васильев<sup>1</sup>, О.В.Куль<sup>2</sup>, А.В.Шапошник<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Государственный университет «Дубна», 141982, г. Дубна, ул. Университетская, 19

<sup>2</sup>ООО «С-Компонент», 125362, г. Москва, ул. Тушинская, д. 17

<sup>3</sup>Воронежский государственный аграрный университет, 394087, г.Воронеж,  
ул. Мичурина, 1

Email: [A-A-Vasiliev@yandex.ru](mailto:A-A-Vasiliev@yandex.ru)

Полупроводниковые, термokatалитические, электрохимические и оптические газовые сенсоры являются основой приборов для внелабораторного анализа окружающей среды. Постоянно ужесточающиеся требования к селективности, чувствительности и стабильности таких приборов, а также необходимость их использования в переносных и карманных устройствах, включая сотовые телефоны, накладывают ограничения на конструкцию и технологию сенсоров, которые должны обеспечивать минимизацию потребляемой мощности, необходимую для длительной автономной работы газоаналитических приборов.

Этой возможностью обладают электрохимические сенсоры, работающие при комнатной температуре, например жидкоэлектролитные сенсоры O<sub>2</sub> компании Оксоний (С-Петербург). Однако самые распространенные в настоящее время сенсоры полупроводникового и термokatалитического типов, работающие при высокой температуре чувствительного элемента (до 450 - 500°C) и предназначенные для определения концентраций наиболее распространенных примесей в воздухе (углеводородов, включая метан, СО, Н<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>С, паров растворителей), требуют серьезных технологических усилий для минимизации потребляемой мощности.

Технология изготовления полупроводниковых и термokatалитических сенсоров со времени создания первых таких приборов в НИФХИ им. Л.Я.Карпова в 1955 году прошла большой путь. Первоначально сенсоры изготавливались с использованием объемной керамической технологии. Чувствительный элемент представлял собой шарик из пористой керамики со встроенным нагревателем. Позже использовалась технология толстых пленок, кремниевый микромашиинг, технология керамических МЭМС. В результате, средняя потребляемая сенсором мощность была уменьшена с нескольких Вт до примерно 20 – 25 мВт в случае применения технологии МЭМС.

Дальнейшее снижение средней потребляемой мощности при использовании МЭМС технологии возможно, если отказаться от постоянного нагрева чувствительного элемента и нагревать каталитический газочувствительный слой только во время измерения концентрации. Это осуществимо также и потому, что время теплового отклика МЭМС сенсора составляет всего 50 – 200 мс, а использование высокой рабочей температуры делает коротким (~ 100 мс) время установления химического равновесия на поверхности катализатора. При использовании такого подхода появляется возможность сделать измерительный блок, включающий сенсор, электронный модуль и встроенный источник питания, работоспособным в течение всего срока службы сенсора и батареи, то есть около 5 лет.

Применение импульсного нагрева полупроводниковых и термokatалитических сенсоров имеет и другое преимущество. Оно позволяет быстро термически возбуждать каталитический газочувствительный слой, например, окисляя при высокой температуре палладий катализатора и используя окисленный палладий для селективного окисления целевых газов во время плавного снижения температуры газочувствительного слоя. Анализ отклика сенсора при импульсном нагреве обеспечивает воспроизводимый селективный анализ примесей в воздухе при использовании методов хемометрики.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

**Федотов П.С., Ермолин М.С., Иванеев А.И.**

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,*

*Москва, Россия*

*E-mail: fedotov\_ps@mail.ru*

Наночастицы окружающей среды до сих пор практически не изучены, хотя они и обладают рядом уникальных свойств, в том числе повышенной сорбционной емкостью, а также чрезвычайно высокой подвижностью и способностью легко проникать в организм человека. Данный пробел в значительной степени обусловлен малой долей наночастиц (обычно не более 0.01%) в полидисперсных объектах окружающей среды, таких, например, как вулканический пепел или городская пыль, и, как следствие, сложностью их выделения для последующего исследования.

Авторами предложен комплекс взаимодополняющих методов выделения, характеристики и анализа наночастиц окружающей среды, включающий проточное фракционирование в поперечном поле во вращающейся спиральной колонке (ВСК), динамическое светорассеяние, лазерную дифракцию, сканирующую электронную микроскопию, АЭС-ИСП и МС-ИСП. Для обработки результатов использованы метод главных компонент в сочетании с методом множественной линейной регрессии, кластерный анализ и метод факторизации положительно определенных матриц. Особое внимание уделено идентификации наноразмерных форм токсичных элементов в полидисперсных образцах городской пыли и вулканического пепла с использованием квадрупольной МС-ИСП в режиме анализа единичных частиц (МС-ИСП-ЕЧ).

Проведено не имеющее аналогов всестороннее исследование наночастиц городской пыли, основанное на (i) выделении фракций наночастиц из осевшей пыли Москвы (78 образцов) и Красноярска (68 образцов) с помощью предложенного авторами метода проточного фракционирования в ВСК, (ii) определении гранулометрического состава, морфологии и массы выделенных фракций, (iii) определении элементного состава наночастиц городской пыли, (iv) оценке степени загрязнения наночастиц городской пыли, (v) оценке экологических рисков и рисков для здоровья людей, обусловленных содержанием токсичных элементов в наночастицах городской пыли, (vi) идентификации и оценке вклада природных и антропогенных источников поступления токсичных элементов в наночастицы городской пыли.

Расчет индексов геоаккумуляции (Igeo) и коэффициентов обогащения (КО) показал, что наночастицы пыли Москвы и Красноярска сильно загрязнены такими элементами, как Cu, Cd, Sb, Sn, Pb, Zn и Hg. Полученные значения Igeo и КО в 5-8 раз выше по сравнению с соответствующими показателями, рассчитанными для исходных образцов пыли. При этом канцерогенные и неканцерогенные риски для здоровья жителей, обусловленные содержанием токсичных элементов в наночастицах пыли, могут быть до 14 раз выше, чем риски, оцененные для исходной пыли.

Изучение наночастиц вулканического пепла как носителей токсичных элементов в масштабе Земного шара показало, что концентрация Ni, Cu, As, Se, Ag, Cd, Sn, Te, Hg, Tl, Pb, Bi, в наночастицах может на один-два порядка превышать их валовое содержание в пепле. При помощи МС-ИСП-ЕЧ выявлено, что Ni, Zn, Tl, As, Hg, Bi, Pb, Ag, Cd присутствуют в наночастицах пеплов вулканов Камчатки в виде индивидуальных нанофаз.

Отдельной проблемой является отсутствие стандартных образцов природных наночастиц. Показано, что наночастицы монтмориллонита и мусковита перспективны для создания стандартных образцов.

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ПРОБЛЕМЫ МИКРО- И НАНОПЛАСТИКА:  
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ВОПРОСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

***Проскурнин М.А.***

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва, 119991 ГСП-2,  
Ленинские горы, дом 1, строение 3; эл. почта: [proskurnin@gmail.com](mailto:proskurnin@gmail.com)*

В обзорном докладе будет рассмотрено современное состояние в области химического анализа частиц пластика микрометрового, субмикрометрового и нанометрового характеристического размера как часть общей картины проблем анализа, мониторинга и снижения содержания микропластика в окружающей среде. Будет проведено краткое сравнение методологии анализа микропластика и нанопластика, отличия от методологии химического анализа других микрообъектов, объекты и задачи химического анализа микропластика как объекта и их определения как аналитов. Будут приведены примеры применения различных методов для идентификации и количественного анализа микро- и нанопластика, обсуждены текущие проблемы и задачи развития методологии химического анализа в этой области.

**СОСТОЯНИЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ  
ПО АНАЛИЗУ ПРИРОДНЫХ ВОД**

***С.В. Пирогова, А.В. Карташова***

*ЗАО «РОСА», Москва, Россия*

*E-mail: [pirogova@rossalab.ru](mailto:pirogova@rossalab.ru)*

Наша страна обладает огромными водными ресурсами, которые играют важную роль в экономике, экологии и жизни населения. Охрана водных объектов в России регулируется законодательством и направлена на сохранение водных ресурсов, предотвращение их загрязнения и обеспечение рационального использования. Базовыми документами являются Водный кодекс Российской Федерации, устанавливающий правовые основы для управления водными ресурсами, их использования, восстановления и охраны, и Федеральный закон № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды", устанавливающий общие принципы охраны природы, включая водные ресурсы.

Использование природной воды охватывает множество направлений, из которых можно выделить несколько основных категорий: питьевое и хозяйственно-бытовое водоснабжение, промышленность и энергетика, сельское хозяйство, рыболовство и рыбоводство, транспорт, рекреация и туризм, сброс сточных вод. В зависимости от категории использования установлены и закреплены в соответствующих законодательных актах нормативы состава природных вод. Например, вопросы качества воды, используемой для питьевых и хозяйственных нужд, регулирует Федеральный закон № 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения", для защиты водных экосистем и биоразнообразия работает Федеральный закон № 166-ФЗ "О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов".

Нормативно-техническая база по анализу природных вод включает в себя требования к качеству природных вод, стандарты, методики, руководства и нормативные акты, которые регулируют порядок проведения исследований. Эта база формируется на основе национальных и международных стандартов, а также научных исследований. Основным нормативным документом являются санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности факторов среды обитания", где указаны предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ, нормативы для микробиологических и радиологических показателей, а также требования к органолептическим свойствам воды.

Нормативы качества воды для промышленности зависят от конкретной отрасли, учитывают специфику производства или индивидуальные технические условия. Такую воду чаще относят к категории техническая вода.

Требования к природной воде для целей рыболовства и рыбоводства закреплены в Приказе Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения".

Для проведения комплексной оценки состояния водных экосистем выполняют физико-химические, химические, биологические, радиологические исследования, используя широкий спектр методов анализа, представленных в государственных стандартах и аттестованных методиках.

Противоречия в нормативной базе, регулирующей качество природной воды, возникают из-за различий в подходах, стандартах и требованиях, установленных разными документами. Регионы могут устанавливать свои нормативы, учитывающие местные природные условия, экологические особенности и уровень загрязнения. Существующая методическая база не охватывает все нормируемые показатели. Некоторые термины в нормативных документах могут трактоваться по-разному, что приводит к недопониманию и спорам между контролирующими органами и предприятиями.

Аналитические лаборатории играют важную роль в проведении контрольных и надзорных функций, предоставляя заинтересованным сторонам объективную информацию о составе и свойствах воды для принятия адекватных решений.

## **ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ В АНАЛИЗЕ ПРИРОДНЫХ ВОД: ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ**

**Муравьев А.Г.<sup>1</sup>, Богачёва А.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Закрытое акционерное общество «Крисмас+», Производственно-лабораторный комплекс, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Группа компаний «Крисмас», Учебный центр, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [muravyov@christmas-plus.ru](mailto:muravyov@christmas-plus.ru)*

Экспресс-методы, как и тест-методы, актуальны во многих областях профессиональной деятельности химиков-аналитиков. Во многом это связано с уникальными свойствами тест-методов, практическое воплощение которых позволило сделать химический анализ доступным для широкого круга потребителей.

Проблемой создания потребительских форм (продуктов) для химического анализа на основе тест-методов компания «Крисмас» занимается уже свыше 30 лет, в результате чего на рынке аналитических средств появились образцы тест-комплектов, тест-систем и портативных химических лабораторий на основе тест-методов, применимые, в том числе и в первую очередь, для химического анализа воды [1, 2]. Примечательно, что анализ воды имеет много общего с почвенно-химическим анализом в части методов, реагентов и технологий [3].

Аналитические задачи в химическом контроле воды разнообразны, как и виды вод, основными в которых выделяют – природные, питьевые, производственные. Такие воды наиболее важны для обеспечения и безопасности здоровья, охраны окружающей среды, функционирования разнообразных производственных, тепловых, энергетических предприятий, а также в сфере образования [4].

Научно-технические решения по созданию тест-методов и соответствующей продукции основываются преимущественно на модификации стандартизованных методов, уже применяющихся в анализе при анализе в лабораторных и внелабораторных условиях.

В сфере разработки тест-методов мы ориентируемся на прикладное использование продукции, создавая серийные образцы продукции, доступные для широкого круга потребителей, простые в применении, имеющими унифицированные технологии анализа. Работа по созданию продукции на основе тест-методов проводилась и проводится компанией в условиях самофинансирования, однако важно постоянное совершенствование существующих научно-технических решений, что обеспечивает лидерство в отрасли. Мы работаем также над миниатюризацией методов, реализуемых под действующие типовые, унифицированные и стандартизованные методики. Эффективные решения, отвечающие современным требованиям в области потребительского рынка, являются значимой предпосылкой их научно-практической востребованности.

Подробная информация об особенностях применяемых в продукции тест-методов, сведения о характеристиках методов и продукции, инновации в создании простой продукции для химического анализа для приведена в докладе.

*Широкое применение производимой продукции для химического анализа на основе экспресс-методов и тест-методов стала возможной благодаря многочисленным апробациям продукции как сообществом химиков-аналитиков, так и преподавателями и педагогам системы образования, за что компания «Крисмас» выражает глубокую благодарность.*

### **Литература**

1. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / А.Г. Муравьев, Н.А. Осадчая, Е.Б. Кравцова [и др.]; под ред. А. Г. Муравьева. 6-е изд., перераб. и доп. СПб., Крисмас+, 2025. 362 с.
2. Руководство по аналитическому химическому контролю при водоподготовке и эксплуатации котельного оборудования / А. Г. Муравьев, И. В. Субботина, Е. Б. Кравцова [и др.] ; под ред. А. Г. Муравьева. 2-е изд., доп. и испр. СПб., Крисмас+, 2024. 344 с.
3. Химический анализ почвы. Руководство по применению почвенных лабораторий и тест-комплектов / А. Г. Муравьев, Н. А. Осадчая, Е. Б. Кравцова [и др.] ; под ред. А. Г. Муравьева. 5-е изд., перераб. и доп. СПб., Крисмас+, 2023. 144 с.
4. Химико-экологический практикум с применением портативного оборудования (8–11 класс): методическое пособие для учителя / А.Г. Муравьев, Е.К. Орликова, И.П. Кондратюк [и др.] : под ред. А.Г. Муравьева. 2-е изд., перераб., доп. и испр. СПб., Крисмас+, 2024. 224 с.

**ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

***Шишов А.Ю., Булатов А.В.***

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [andrey.shishiv.rus@gmail.com](mailto:andrey.shishiv.rus@gmail.com)*

В последние годы эвтектические растворители (ЭР) активно используются для экстракции и последующего количественного определения в объектах окружающей среды различных загрязнителей, таких как тяжелые металлы, пестициды, полициклические ароматические углеводороды, лекарственные вещества. В отличие от традиционных органических растворителей, которые часто являются летучими, токсичными и опасными для окружающей среды, ЭР обеспечивают экологическую безопасность пробоподготовки, а также избирательность выделения целевых аналитов и большую прецизионность.

В данном докладе будет представлен обзор современных исследований, посвященных изучению возможностей применения ЭР для анализа объектов окружающей среды (вода, почва, воздух), а также приведены экспериментальные данные, полученные в ходе разработки новых способов микроэкстракции и анализа с применением ЭР.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 24-13-00118).*

## МОНИТОРИНГ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ (СОЗ) В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

*Запевалов М.А., Самсонов Д.Г., Кочетков А.И., Пасынкова Е.М., Левшин Д.Г.*

*ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун»,*

*г. Обнинск, Россия*

*E-mail: [zap@rpatyphoon.ru](mailto:zap@rpatyphoon.ru)*

В докладе рассмотрены методологические и практические вопросы проведения мониторинга СОЗ в атмосферном воздухе с учетом рекомендаций Стокгольмской конвенции о СОЗ (2001) и положений национального законодательства об охране окружающей среды.

За период 2013-2024 годов ФГБУ «НПО «Тайфун» накоплен значительный опыт практического осуществления мониторинга СОЗ на территории Российской Федерации в районах с различной антропогенной нагрузкой: фоновые районы (арктическая зона), удаленные районы (Байкал), территории городов с различным уровнем урбанизации (Обнинск, Санкт-Петербург).

В контексте достижения основной цели Стокгольмской конвенции по охране здоровья населения и окружающей среды от СОЗ нами сформулированы задачи мониторинга, которые варьируются в зависимости от уровня мониторинга (глобальный, региональный, локальный) и антропогенной нагрузки района.

Мониторинг СОЗ в окружающей среде, в том числе в атмосферном воздухе, требует значительных материальных ресурсов, высокой квалификации персонала и современного лабораторного оборудования. Эти обстоятельства затрудняют развитие этого актуального направления. Фактически, в настоящее время развитие мониторинга СОЗ идет фрагментарно, в рамках отдельных проектов ограниченной продолжительности. При этом нарушается один из основных принципов мониторинга – непрерывность.

В докладе изложены примеры выполнения проектов по мониторингу СОЗ в атмосферном воздухе на территории РФ в районах с различной антропогенной нагрузкой: арктическая зона (2015-2017 годы) [1], Байкальская природная территория (2014-2016, с 2021 года – по наст. время) [2], г. Обнинск (с 2014 года по наст. время), г. Санкт-Петербург (2023-2024 годы).

На основе регулярных наблюдений за период 2014-2024 г. (10 лет) впервые в Российской Федерации получены многолетние статистически обоснованные тренды концентраций ПХДД/ПХДФ и ПХБ в атмосферном воздухе г. Обнинска.

Результаты мониторинга показывают, что независимо от уровня антропогенной нагрузки наблюдается отчетливый сезонный ход концентраций. Максимумы концентраций могут не совпадать для разных групп (например, ПХБ, ДДТ, ГХЦГ). Причиной такой ситуации могут быть метеорологические факторы и различные источники поступления СОЗ. В условиях изменения климата возрастает роль вторичной эмиссии наиболее летучих СОЗ, что приводит к замедлению снижения концентраций СОЗ в атмосферном воздухе.

### Литература.

1. Запевалов М.А., Самсонов Д.П., Кочетков А.И., Пасынкова Е.М., Богачева Е.Г. Глобальный атмосферный перенос СОЗ в зону Российской Арктики // Метеорология и гидрология, 2020. №9. С. 90-103.
2. Самсонов Д.П., Кочетков А.И., Пасынкова Е.М., Запевалов М.А. Содержание стойких органических загрязнителей в компонентах уникальной экологической системы оз. Байкал // Метеорология и гидрология. 2017. №5. С.105-115.

**ОЦЕНКА ЭКСПОЗИЦИИ ЧЕЛОВЕКА К ЛЕТУЧИМ ПРОМЫШЛЕННЫМ  
ТОКСИКАНТАМ МЕТОДАМИ ХРОМАТОМАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ**

*Савельева Е.И., Шачнева М.Д., Каракашев Г.В., Беляков М.В., Венедиктов А.С.*

Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека,

Ленинградская область

*E-mail: saveleva@rihophe.site*

Экспозиция к летучим органическим соединениям (ЛОС) находится в ряду приоритетных факторов, оказывающих вредное воздействие на здоровье человека. Согласно современным оценкам, треть населения земного шара в зоне онкологического риска из-за воздействия ЛОС [1]. При оценке химических рисков для работников предприятий сформировать перечень приоритетных ЛОС не всегда возможно на основании доступных данных. Перечень может быть дополнен по результатам анализа методом ГХ-МС объектов окружающей среды в локациях, максимально приближенных к предполагаемым источникам загрязнения. Для оценки экспозиции к ЛОС работников химических предприятий важно, чтобы биопробы (кровь и моча) для анализа были отобраны в максимально короткие сроки после окончания рабочей смены. Однако и при соблюдении этого условия концентрации ЛОС в крови работников в штатных ситуациях не превышают уровней нескольких нг/мл, что препятствует обнаружению априори неожиданных ЛОС, поэтому в биомониторинге используется ГХ-МС или ГХ-МС/МС анализ, нацеленный на определение до 20 и более ЛОС из ранее установленного перечня. При определении ЛОС в цельной крови предпочтительной является техника твердофазной микроэкстракции из равновесного пара с использованием угольного микроволокну. При проведении анализа необходимо учитывать кросс-контаминацию на преаналитическом этапе. В наших условиях наблюдалась эмиссия циклогексана и метилциклопентана из пластиковых частей систем для отбора крови, а также толуола, стирола и ксилолов из крышек вакутейнеров. Почти все промышленные токсиканты из группы ЛОС либо сами являются электрофилами, либо образуют электрофильные метаболиты, атакующие нуклеофильные сайты биомолекул. Одной из важнейших мишеней электрофильной атаки является цистеин глутатиона. После конъюгации электрофила с глутатионом последовательно происходят потери глутаминовой кислоты и глицина и далее ацетилирование оставшегося цистеинового конъюгата. Для биомониторинга воздействия бензола, толуола и этилхлорида на работников химического предприятия была разработана методика определения аддуктов этих ЛОС с ацетилцистеином в моче методом ВЭЖХ-МС/МС. Определение метаболитов ЛОС в моче имеет ряд преимуществ, включая неинвазивность отбора, относительно более длительный период полувыведения (по сравнению с исходными соединениями) и отсутствие проблем, обусловленных загрязнением на преаналитическом этапе. При интерпретации результатов анализа необходимо учитывать статус курения. Так, медианное значение  $M[Q1, Q3]$  концентрации N-ацетил-S-бензил-L-цистеина в моче некурящих работников ( $n=38$ ) составило 21[13,34] нг/мл, а у курящих ( $n=35$ ) 35[19,57] нг/мл. Нецелевой скрининг аддуктов электрофилов с ацетилцистеином в моче может быть проведен после их выделения из общего пула веществ на основе специфической фрагментации ацетилцистеина, в частности нейтральной потери фрагмента –  $C_5H_7NO_3$  с массой 129,043 Да.

**Литература**

1. Xiong, Y., Du, K., Huang, Y. One-third of global population at cancer risk due to elevated volatile organic compounds levels // Clim Atmos Sci. 2024. Vol. 7, N 54. P.1-11.

## БАЙКАЛ КАК ПРИРОДНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ НА СЛЕДОВОМ УРОВНЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ

*Горшков А.Г., Кустова О.В., Изосимова О.Н., Григорьева Т.А.*

*Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук,  
Иркутск, Россия*

*E-mail: [gorchkov\\_ag@mail.ru](mailto:gorchkov_ag@mail.ru)*

Байкал выбран в качестве природной модели поверхностных вод для исследования стойких органических загрязнителей (СОЗ) на фоновом уровне концентраций. К числу приоритетных в экосистеме озера отнесены три класса поллютантов: полихлорированные бифенилы (ПХБ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и диэфиры о-фталевой кислоты (приоритетные фталаты, ПФ), отличающиеся индивидуальными свойствами, характеристиками источников, пространственным и временным распределением на уровне концентраций от 0.05 до 6000 нг/л. Для их контроля в водах озера предложены новые аналитические решения, такие как применение и развитие методов с высокой чувствительностью и надежностью результатов в рамках серийного анализа индикаторных конгенов ПХБ на ультраследовом уровне, ПАУ из приоритетного ряда в широком диапазоне концентраций и растворимости в воде, ПФ, отличающихся значимым вкладом лабораторного фона в результат определения и наличием биогенных и абиогенных источников поступления.

Методики определения СОЗ, валидированные для системы мониторинга, включают унифицированные стадии серийного анализа: ЖЖЭ поллютантов в *n*-гексан без фильтрования проб; концентрирование экстрактов или прямой анализ экстрактов; методы хромато-масс-спектрометрии с детектированием в режимах МВИ и МЗР в аналитическом окончании, метод ВЭЖХ в режиме онлайн с УФ детектированием для определения фталатов и с детектированием методом масс-спектрометрии высокого разрешения для измерения отношения изотопов  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  в структуре и качественной оценки генезиса фталатов: биогенного и абиогенного.

**Таблица 1.** Метрологические характеристики методик

| СОЗ                    | Объем пробы, л | Метод     | Диапазон концентраций, нг/л | Точность, $\pm \delta$ %<br>( $n=2$ , $P=0.95$ ) | Предел определения, нг/л |
|------------------------|----------------|-----------|-----------------------------|--|--------------------------|
| ПХБ                    | 1.0            | ГХ-МС-МЗР | 0.02 – 0.90                 | 35   | 0.02                     |
| ПАУ                    | 1.0            | ГХ-МС-МЗР | 0.02 – 10                   | 8.0 – 30   | 0.02                     |
|                        | 0.1            | ГХ-МС-МЗР | 0.20 – 50                   | 32 – 50  | 0.20                     |
| ДМФ, ДЭФ<br>ДнБФ, ДЭГФ | 1.0            | ГХ-МС-МВИ | 10 – 90                     | 12 – 13  | 8.0 – 22                 |
|                        |                |           | 260 – 660                   | 31 – 38  | 140 – 170                |
| ДнБФ,<br>ДЭГФ          | 0.004          | ВЭЖХ-УФ   | 150 – 6000                  | 10 – 15  | 150                      |
|                        |                |           |                             | 12 – 20  | 220                      |

ДМФ – диметилфталат, ДЭФ – диэтилфталат, ДнБФ – ди-*n*-бутилфталат, ДЭГФ – ди-(2-этилгексил)фталат.

Проведен анализ результатов мониторинга СОЗ в водах Байкала за период с 2015 до 2024 гг. методом PERMANOVA и установлены статистически значимые диапазоны и средние концентрации для каждого класса СОЗ, основные факторы, влияющие на уровень их концентраций. На основании корреляционного анализа между индивидуальными и суммарными концентрациями поллютантов в водах озера для каждого класса СОЗ выбраны оптимальные условия их мониторинга.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, проект № 0279-2021-0005 (№ гос. регистрации 121032300224-8) на оборудовании приборного центра коллективного пользования физико-химического ультрамикрoанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикрoанализ»).*

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЛЕТУЧИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

*Родинков О.В.<sup>1</sup>, Москвин Л.Н.<sup>1</sup>, Якимова Н.М.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [o.rodinkov@spbu.ru](mailto:o.rodinkov@spbu.ru)*

Важнейшей задачей метрологического обеспечения аналитического контроля атмосферного воздуха является создание новых и совершенствование существующих методов получения стандартных газовых смесей (СГС) с известной концентрацией соединений-загрязнителей [1]. Особенно актуально приготовление смесей с концентрациями целевых компонентов на уровне ПДК [2]. Различные методы получения СГС имеют свои достоинства и недостатки (табл. 1).

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика методов получения СГС.

| Характеристика               | Статические  | Динамические  |              |
|------------------------------|--------------|---------------|--------------|
|                              |              | неравновесные | равновесные  |
| Относительная погрешность, % | 0,3 – 3      | 4–10          | 3–6          |
| Термостатирование            | Не требуется | $\pm 0,1$ °C  | $\pm 0,1$ °C |
| Время приготовления, час     | 24 – 48      | 2–4           | 0,1 – 0,2    |
| Трудоемкость                 | Высокая      | Низкая        | Средняя      |

Статические методы получения СГС по существу копируют схему приготовления стандартных растворов и основаны на разбавлении известного количества целевых компонентов инертным газом-разбавителем в сосуде. Основным ограничением этих методов является физическая адсорбция и хемосорбция паров органических соединений на внутренних стенках сосуда. Для подобных соединений используют динамические способы получения СГС, основанные на непрерывном введении паров целевых компонентов в поток газа-разбавителя.

Динамические методы можно разделить на равновесные и неравновесные. В последних целевые компоненты из жидкой или газовой фазы с постоянной скоростью диффундируют в поток разбавителя через капилляр или мембрану. Их основными недостатками являются длительность выхода на стационарный режим генерирования СГС и сложность получения смеси с заранее заданными концентрациями целевых компонентов.

Равновесные способы основаны на насыщении потока газа-разбавителя целевыми компонентами при контакте с генерирующим раствором, содержащим эти компоненты в определенных концентрациях. Ограничениями равновесных способов является относительно небольшие расходы газа-разбавителя, при которых обеспечивается равновесное насыщение, и небольшие объемы генерируемых СГС из-за постепенного уменьшения концентрации целевых компонентов в генерирующем растворе. Эти ограничения частично или полностью преодолеваются при осуществлении динамического хроматомембранного варианта генерирования СГС.

### Литература

1. Платонов И.А., Родинков О.В., Горбачева А.Р., Москвин Л.Н., Колесниченко И.Н. Методы и средства приготовления стандартных газовых смесей // Журн. аналит. химии. 2018. Т. 73. № 2. С. 83–105.
2. Родинков О.В., Грегга М.Е., Спиваковский В.А., Знаменская Е.А., Желудовская А.А. Газоэкстракционное генерирование газовых смесей полярных органических соединений на уровне следовых концентраций // Журн. аналит. химии. 2024. Т. 79. № 4. С. 352–360.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЕГАЗАЦИИ ВОДЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА РАСТВОРЁННЫХ В ВОДЕ ГАЗОВ

*Сапрыкин О.А., Сафронов В.В., Зевакин Е.А.*

*Институт геохимии и аналитической химии имени В.И.Вернадского РАН,*

*Москва, Россия*

*E-mail: [oleg.sapr@gmail.com](mailto:oleg.sapr@gmail.com)*

Мониторинг состава и концентраций газов, растворённых в воде, - одна из важных проблем современной науки. Данные о газовом составе окружающих нас вод свидетельствуют о геохимических, биосферных и антропогенных процессах, происходящих в среде, о благополучии либо о наличии проблем для живого мира в этой среде. Трагедии озера Ньос в Камеруне, произошедшая в августе 1986 года, когда в результате внезапного выброса огромного количества углекислого газа из глубин озера, погибло более 1700 человек и 3500 животных - далеко не единственное свидетельство актуальности данной темы исследований [1].

Перечень средств, устройств, приборов, обеспечивающих решения данных задач достаточно велик [2]. Однако все эти технические средства мало мобильны (большая их часть требует стационарного размещения), подавляющая их часть работает на небольших глубинах (до нескольких десятков метров), требуют значительных энергозатрат и трудоёмкого сопровождения (например, работа с батометрами) .

Авторами предложена мобильная установка, позволяющая отбирать из воды растворённые газы, причём в широком диапазоне глубин (до 2000 метров), проводить их оперативный химический анализ (определение наименования и концентрации) в автоматическом режиме и в реальном масштабе времени (in situ). Особенность прибора - использование кавитационной камеры специальной формы, системы управляемых электромагнитов, магнитной жидкости и полупроводниковых сенсоров.

В частности, предложен новый тип кавитатора – струйно-циклического.

При радиусе камеры реактора 1 м и частоте 5000 об/мин (порядка 83 Гц) может быть достигнута линейная скорость выше 520 м/с. Разгон воды до таких скоростей при её прохождении через диффузор сопла Лавалья приводит к возникновению кавитации в воде и выделению всех газов, в ней растворённых [3].

Для газового анализа предложен электрофизический метод, использующий полупроводниковые датчики (сенсоры). Метод технологичен, может обеспечить многоканальность измерений и высокую точность.

*Авторы благодарят за помощь в исследованиях ООО «РР Технологии». Работа выполнена институтом геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского Российской академии наук в рамках госзадания № FMMZ-2024-0053.*

### Литература

1. Как озеро-убийца погубило почти две тысячи человек. URL: [https://pikabu.ru/story/kak\\_ozeroubiytsa\\_pogubilo\\_pochti\\_dve\\_tyisyachi\\_chelovek\\_6835117](https://pikabu.ru/story/kak_ozeroubiytsa_pogubilo_pochti_dve_tyisyachi_chelovek_6835117).
2. Курников А.С., Мизгирев Д.С., Михеева Т.А. Проектирование эжектора-кавитатора как одного из элементов судовых систем // Нижний Новгород: Научные проблемы водного транспорта. 2016. № 47, С. 68-75. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-ezhektora-kavitatora-kak-odnogo-iz-elementov-sudovyh-sistem> .
3. Ысламидинов А.Ы., Абдалиев У.К., Ташполотов Ы. Образование кавитационных пузырьков при прохождении водяной струи через сопло Лавалья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 7-5. С. 776-778; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=9957>.

## **ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВОЗДУХА. СЕГОДНЯ. ЗАВТРА.**

***И.А. Платонов, В.И. Платонов, Вал.И. Платонов, М.Г. Горюнов, М.Е. Ледяев***

*Самарский национальный исследовательский университет*

*e-mail: [pia@ssau.ru](mailto:pia@ssau.ru)*

Глобальное загрязнение окружающей среды и неблагоприятная экологическая ситуация во многих регионах Российской Федерации обуславливают необходимость ужесточения эколого-аналитического контроля. Несмотря на спад промышленного производства, имевший место в 80-90 годах, наблюдается выраженная тенденция роста уровня загрязнения окружающей среды, причем постоянно меняется не только качественный, но и количественный состав загрязнителей. Обеспечение экологической безопасности промышленных предприятий достигается путем разработки, совершенствования и внедрения природоохранных и ресурсосберегающих технологий (безотходных технологических схем производства, высокоэффективных систем очистки. Однако подавляющее большинство исследований проводятся в условиях удаленных лабораторий, что не соответствует требованиям непрерывности мониторинга и создает ситуацию отсроченного или запоздалого реагирования. Осуществление достоверного эколого-аналитического контроля возможно при осуществлении непрерывного потокового анализа «на месте», реализация которого определяется возможностями портативных аналитических приборов.

Доминирующими тенденциями современного аналитического приборостроения являются миниатюризация, автоматизация, гибридизация и внедрение нанотехнологий, что, в целом, отражает общие тенденции развития микроэлектроники, вычислительной техники и информационных технологий, лавинообразно разрастающихся в последние десятилетия. Создание подобных аналитических миниприборов во многом обусловлено и необходимостью получения результатов анализа на месте отбора проб в реальном времени для последующего их использования при принятии оперативных решений, что особенно актуально для проведения экологического мониторинга. В области газовой и жидкостной хроматографии суть микроаналитических систем сводится к интеграции всех конструктивных узлов хроматографа на плоской пластине с разветвленной системой каналов, в которых должны осуществляться отбор и предварительная подготовка пробы, разделение и последующее детектирование компонентов пробы.

Целью работы являлось создание инновационного приборно-аналитического комплекса на основе микрофлюидных систем, позволяющего проводить метрологически обеспеченный качественный и количественный анализ воздушных сред в он-лайн и off-лайн режиме.

Разработаны и апробированы микрохроматографические модули на основе микрофлюидных систем, в том числе предназначенные для определения летучих углеводородов в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны, промышленных выбросах. Приборно-аналитический комплекс обеспечивает возможность проводить анализ воздуха в автоматическом режиме, включая пробоподготовку, а также может использоваться в составе БПЛА-комплекса для обеспечения системы мобильного дистанционного мониторинга.

## СРАВНЕНИЕ СХЕМ ПОДГОТОВКИ ПРОБ ПОЧВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ В НИХ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ АЭС-ИСП

*Савинов С.С., Тлеужанова Р.Д.*

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [s.s.savinov@spbu.ru](mailto:s.s.savinov@spbu.ru)*

Одними из загрязняющих почву веществ являются тяжелые металлы (ТМ), которые даже в незначительных количествах оказывают негативное воздействие, наибольшую опасность представляют их подвижные формы. Обычно аналиты извлекают ацетатно-аммонийным буферным раствором с последующим определением различными методами, включая атомно-эмиссионную спектроскопию с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) [1-3]. Однако, схемы пробоподготовки в нормативных документах отличаются очередностью добавляемых реагентов и продолжительностью воздействия, что может сказаться на получаемых результатах. Поэтому целью работы является экспериментальное сравнение известных схем подготовки проб почв для последующего определения в них подвижных форм набора элементов, включая ТМ.

Анализ выполнялся с использованием спектрального прибора Shimadzu ICPE-9000 при стандартном режиме работы, рекомендованном производителем. Градуировочные растворы готовились разбавлением 1%  $\text{HNO}_3$  стандартных многоэлементных растворов CertiPUR IV и ICP-MS-68B. Показано, что концентрация ацетатно-аммонийного буферного раствора не влияет на аналитический сигнал, однако, при анализе реальных образцов почв может иметь место матричное влияние, которое проще всего устранить разбавлением экстрактов [4].

Установлено влияние схем извлечения аналитов, которые приведены в аттестованных методиках и отличаются продолжительностью контакта пробы с буферным раствором. В среднем при суточном настаивании экстрагируется в 2–4 раза больше подвижных форм элементов, чем при часовом встряхивании на шейкере. В последнем случае при увеличении числа оборотов с 110 до 150 в минуту наблюдается рост концентрации извлекаемых аналитов примерно на 20–30%. Дальнейшее увеличение интенсивности перемешивания не приводит к росту степени извлечения. Степень извлечения сильно зависит как от природы аналита, так и от типа почвы.

*Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра «Методы анализа состава вещества» Научного парка СПбГУ.*

### Литература

1. М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии.
2. ПНД Ф 16.1:2.3.3.50-08. Методика выполнения измерений массовых долей подвижных форм металлов (цинка, меди, никеля, марганца, свинца, кадмия, хрома, железа, алюминия, титана, кобальта, мышьяка, ванадия) в почвах, отходах, компостах, кеках, осадках сточных вод атомно-эмиссионным методом с атомизацией в индуктивно-связной аргонной плазме.
3. ГОСТ ИСО 22036-2014. Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием ИСП-АЭС.
4. Savinov S.S., Tleuzhanova R.D. Features of ICP-OES determination of the content of mobile form of elements in soils // Russian Journal of General Chemistry. 2024. Vol. 94 (sup. 1). P. S184-S192.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СОПРЯЖЕННЫХ СРЕД «ПОЧВА–РАСТЕНИЕ» МЕТОДОМ ДУГОВОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

**Васильева И.Е.<sup>1</sup>, Шабанова Е.В.<sup>1</sup>, Бямбасурэн Ц.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт физики и технологии АНМ, Улан-Батор, Монголия

E-mail: [vasira@igc.irk.ru](mailto:vasira@igc.irk.ru)

Растения участвуют в миграции химических элементов в природно-техногенных экосистемах, вариации их элементного состава указывают на состояние окружающей среды. В растениях разных видов найдены более 70 химических элементов, однако информация о содержаниях и роли каждого микроэлемента, входящего в неорганические и элементоорганические соединения конкретных видов растений, весьма ограничена. Известно, что генетические особенности и условия произрастания (тип почвы, климат, рельеф местности, соляризация и т.д.) растений определяют их элементный состав, отвечающий за синтез биологически активных соединений. Поэтому нередко при геоэкологическом мониторинге, оценке качества и безопасности используемых человеком продуктов питания и лекарственных препаратов растительного происхождения, регулировании их количества в рационах человека, домашних животных и птицы одновременно изучают элементный состав сопряженных сред «почва–растение».

Травянистые растения – чабрец дикорастущий (*Thymus serpyllum* L. и *Thymus baikalensis* Serg L.), одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale*, *Taraxacum vulgare*) и подорожник (*Plantaginaceae*) – были собраны на почвах с различной степенью антропогенной нагрузки. Воздушно-сухие пробы почв и растений измельчали до крупности –0.125 мкм. 24 элемента (Al, B, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Si, Sr, Ti, V, Zn и Zr) в почвах, корнях, стеблях, листьях и цветах были одновременно определены методом атомно-эмиссионной спектроскопии с дуговым разрядом [1-4]. Методика не использует озоление или кислотное разложение образцов растений и почв. Для калибровки использовали сертифицированные стандартные образцы растений (ЛБ-1, Тр-1, Эк-1 и ХСС-1), почв, рыхлых и донных отложений (серии СП-1÷3, СГХМ-1÷4, СГХ-1÷3, БИЛ-1,-2) из коллекции ИГХ СО РАН, а также СО производства Монголии и Китая. Правильность и последовательность полученных результатов оценивали по данным сертифицированных СО Тр-1 (Россия) и GSV-4 (Китай), измеренных методами АЭС/МС-ИСП. Средние значения RSD составили 10-25 %. Впервые описаны элементные профили травянистых растений в последовательности «почва–корни–стебли–листья–цветы». Показано преобладание генетической устойчивости растений над влиянием почвенно-климатических условий произрастания.

Аналитические исследования выполнены в ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» при финансировании темы госзадания ИГХ СО РАН № 0284-2021-0005.

### Литература

1. Васильева И.Е., Шабанова Е.В. Определение микроэлементов в растениях методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии // Аналитика и контроль. 2019. Т. 23. № 3. С. 298-313.
2. Vasil'eva I.E., Shabanova, E.V., Byambasuren T., Khuukhenkhuu B. Elemental profiles of wild *Thymus* L. plants growing in different soil and climate conditions //Applied Sciences. 2022. 12(8), 3904. <https://doi.org/10.3390/APP12083904>
3. Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Ступакова Г.А., Канева Е.В., Шакирова А.А., Игнатьева Е.Э. Стандартные образцы почв для исследований в агрохимии и геохимии: назначение, сходство и отличие // Плодородие. 2023. № 2. С. 47-55. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.131.11>.
4. Shtel'makh S.I., Zhilicheva A.N., Vasil'eva I.E. Determination of macro- and microelements concentrations by wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry in the objects of the technogenic ecosystem // X-Ray Spectrom. 2024;1–17. <https://doi.org/10.1002/xrs.3443>

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА, РАЗМЕРА И МОРФОЛОГИИ ТВЕРДЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ВОЗДУХА АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

*Цыганкова А.Р.<sup>1,2</sup>, Гусельникова Т.Я.<sup>1,2</sup>, Сапрыкин А.И.<sup>1</sup>*

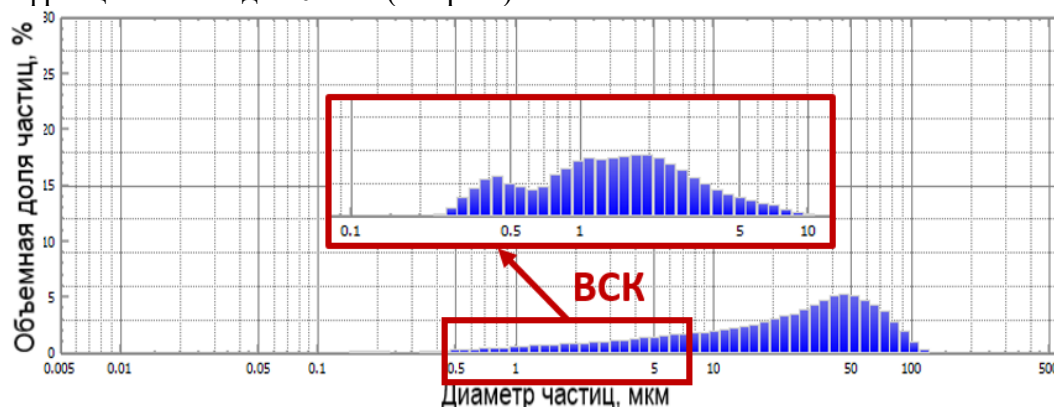
<sup>1</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 3

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2  
 E-mail: [alphiya@yandex.ru](mailto:alphiya@yandex.ru)

В настоящее время хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) находится на третьем месте в списке причин смерти от хронических неинфекционных заболеваний. При этом молекулярно-клеточные механизмы этого заболевания изучены недостаточно, кроме того, остаётся неизвестной роль твердых аэрозолей в воздухе рабочей зоны на ХОБЛ. Физико-химическое исследование состава, размера и морфологии частиц твердых аэрозолей позволит провести моделирование процесса внедрения и воздействия частиц на клеточные культуры и живые организмы. Новая информация позволит в последствии регулировать и/или снижать негативное воздействие на здоровье людей.

Объектами анализа являются твёрдые аэрозоли антропогенного происхождения – образцы угольной пыли с различных шахт и разрезов Кузнецкого угольного бассейна; частицы из воздуха рабочей зоны кузнечного пресса; пескоструйного и шлифовального участков; домны; сварочного цеха. Для изучения химического состава твёрдых частиц аэрозолей использовали методы элементного анализа – атомно-эмиссионную спектроскопию с различными источниками возбуждения спектров и сканирующая электронная микроскопия с энерго-дисперсионным анализатором. Для установления гранулометрического состава частиц использовали ситовой метод в сочетании с гравиметрическим; метод статического светорассеяния и различные методы микроскопии. Морфологию образцов и локальный размер изучали методом сканирующей электронной микроскопии.

Для концентрирования мельчайших частиц (менее 5 мкм) был применен комплекс методов, основанных на различных физических явлениях: мембранная фильтрация, фракционирование во вращающейся спиральной колонке и в поле ультразвуковой стоячей волны. Применение вращающейся спиральной колонки (ВСК) позволило выделить и сконцентрировать наиболее мелкую фракцию твердых частиц – 5 мкм и меньше. Мембранная фильтрация и поле ультразвуковой стоячей волны выделяет более крупную фракцию – от 1 до 10 мкм (см. рис.).



Полученные результаты в значительной степени способствуют развитию области исследования твёрдых аэрозолей воздуха промышленного происхождения и совершенствованию методологии выделения и исследования природно-техногенных сред. Работа выполнена при поддержке действующего РНФ проекта № 19-74-30011.

## МОНИТОРИНГ ПХБ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НЕОРГАНИЗОВАННОГО ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ

*Левшин Д.Г., Запевалов М.А., Бурков А.И.*

*ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун»,  
249038, Россия, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4*

*E-mail: [levshin@rpatyphoon.ru](mailto:levshin@rpatyphoon.ru)*

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) нашли широкое применение во многих отраслях производства (охлаждающие и изолирующие жидкости в силовых конденсаторах и трансформаторах, добавки в краски и др.). ПХБ содержатся также в составе отходов целлюлозно-бумажного производства как непреднамеренно образующиеся технологические примеси. Несмотря на запрет производства и использования ПХБ в большинстве стран в 1990-х годах, они до настоящего времени обнаруживаются в значимых концентрациях в объектах окружающей среде, особенно в районах расположения объектов накопленного вреда, что представляет особую опасность для особо охраняемых территорий.

В 2021 г. в центральной экологической зоне Байкальской природной территории начат регулярный мониторинг стойких органических загрязнителей (СОЗ). Вблизи бывшего Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) на территории метеостанции Байкальск запущена установка активного отбора проб воздуха с целью долговременного мониторинга уровней содержания в приземном слое атмосферы широкого спектра СОЗ, включая ПХБ. Одновременно с этим в 2021–2023 гг. проведены экспедиционные работы на территории г. Байкальска Иркутской области, в результате которых был обнаружен и исследован неорганизованный локальный источник загрязнения почвы ПХБ. Полученные экспериментальные данные по мониторингу ПХБ в атмосферном воздухе и почвах легли в основу модельных представлений математического описания сезонного хода концентраций ПХБ в воздухе в зависимости от параметров источника и метеорологических условий.

С использованием концепции фугитивностей были оценены направления потоков ПХБ в зависимости от температуры атмосферного воздуха, а также размеры территории, являющейся источником поступления ПХБ в атмосферный воздух. Источник расположен в районе промплощадки ныне не действующего БЦБК [1]. Для оценки потока испарения ПХБ в атмосферу с поверхности почвы была использована адаптированная квазиоднородная модель миграции загрязняющих веществ в системе почва–атмосфера [2], которая позволяет произвести расчеты не только величины потоков отдельных конгенов ПХБ в атмосферу, но и их массовые концентрации в воздухе над загрязненной поверхностью.

Для оценки качества модели прогнозируемые концентрации ПХБ в атмосфере сопоставляли с экспериментальными результатами наблюдений. Проведен расчет ряда статистических показателей, нормализованных по неопределенности измерений [3]. Сравнение расчетных и измеренных концентраций конгенов ПХБ в приземном воздухе продемонстрировало высокую степень сопоставимости данных.

### Литература

1. Левшин Д.Г., Запевалов М.А., Бурков А.И. Распределение полихлорированных бифенилов в системе почва–атмосфера на южном побережье озера Байкал // Гидрометеорология и экология. 2024. Вып. 77. С. 716–738.
2. Бурков А.И., Возженников О.И. Оценка концентрации загрязняющих веществ в атмосфере при испарении их из почвы. // Метеорология и гидрология. 2007. Вып. 6. С. 29–37.
3. Thunis P., Pederzoli A., Pernigotti D. Performance criteria to evaluate air quality modeling applications // Atmospheric Environment. 2012. Vol. 59. P. 476–482.

## РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ТВЕРДОГО ОСАДКА СНЕГА В ЗОНЕ ВЫБРОСОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Чубаров В.М., Амосова А.А., Просекин С.Н.*

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия*

*E-mail: [chubarov@igc.irk.ru](mailto:chubarov@igc.irk.ru)*

Неблагоприятное воздействие алюминиевого производства на окружающую среду обуславливает необходимость методических разработок с целью идентификации зон загрязнения, понимания миграционных маршрутов и оценки влияния на население потенциально загрязняемых территорий. Для областей с длительным зимним периодом снегостава перспективным является исследование снежного покрова, концентрирующего как газообразные вещества, так и твердые частицы из атмосферы. В данной работе приведены результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов твердого осадка снегового покрова, отобранных в 2022 году вблизи промышленных сооружений Иркутского алюминиевого завода (г. Шелехов, Иркутская область), с целью количественного определения основных элементов-загрязнителей в зоне выбросов алюминиевого производства (F, Na, Al).

Измерения проводили с помощью волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра S8 Tiger (Bruker), оснащенного рентгенооптической системой по Соллеру, рентгеновской трубкой с родиевым анодом, комплектом кристаллов-анализаторов (OVO-55, PET, LiF). Для определения фтора использовали способ пробоподготовки, основанный на прессовании образца в смеси со связующим веществом на подложке из борной кислоты в виде таблетки. По причине чувствительности интенсивности флуоресценции фтора к его форме вхождения [1], для построения градуировочных уравнений готовили искусственные смеси на основе стандартных образцов почв (комплект ООКО), криолита (СК-1) и глинозема ( $Al_2O_3$ ), близкие по элементному и фазовому составу исследуемым образцам. Для определения Na и Al (а также других макроэлементов: Mg, Si, P, K, Ca, Ti, Fe) использовали способ пробоподготовки, основанный на гомогенизации сплавлением с боратым флюсом, что позволило использовать для построения градуировочных уравнений стандартные образцы состава горных пород, почв и алюминиевых руд [2]. Среднеквадратическое отклонение данных рентгенофлуоресцентного метода от данных методик сравнения (потенциометрии, атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии) составило: 0.3 % мас. для диапазона содержаний F 0.4-1.6 % мас., 0.01 % мас. для диапазона содержаний Na 0.07-1.33 % мас. и 0.2 % мас. для диапазона содержаний Al 15.1-38.6 % мас. Согласно полученным данным, для отдельных областей в районе исследования наблюдается превышение регионального фона в 2-3 раза для Na и Al и более чем в 25 раз для F.

*Исследования выполнены на базе Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН в рамках выполнения государственного задания по проекту № 0284-2021-0005 «Развитие методов исследования химического состава и структурного состояния природных и техногенных сред в науках о Земле».*

### Литература

1. Кузьмина Т.Г., Ромашова Т.В., Тронева М.А., Хохлова И.В. Опыт определения фтора в горных породах рентгенофлуоресцентным методом // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78. С. 690-694.
2. Amosova A.A., Chubarov V.M., Prosekin S.N., Kaneva E.V. X-Ray Fluorescence Analysis Of Snow Cover Solid Phase For Investigation Of Emissions By Aluminum Industry And Combined Heat And Power Complex // Atomic Spectroscopy. 2023. Vol. 44. P. 169-177.

## СПЕЦИФИКА ВЫБОРА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

*Марютина Т.А., Савонина Е.Ю., Мусина Н.С., Романова Ю.Н.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.*

*Вернадского Российской академии наук, Россия, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.19.*

*E-mail: [t\\_maryutina@mail.ru](mailto:t_maryutina@mail.ru)*

Анализ почв (грунтов, донных отложений) на содержание нефтепродуктов проводится для решения различных экологических задач, таких как: мониторинг/оценка состояния окружающей среды, инженерно-экологические изыскания, разработка нормативов ПДК, идентификация источника загрязнения и др. Для общей оценки степени загрязнения традиционно определяют валовое содержание нефтепродуктов в почвах. Идентификация и количественное определение индивидуальных органических соединений в большинстве случаев необходимы при оценке опасности загрязнения для здоровья человека, идентификации источника загрязнения, контроля выбросов наиболее токсичных компонентов нефти (например, бенз(а)пирена).

Основными этапами анализа проб независимо от цели исследования являются пробоотбор, пробоподготовка и детектирование, вклад каждого этапа существенен для получения адекватной информации о характере загрязнения. Учитывая многовариативность состава углеводородов выбор метода анализа и способа пробоподготовке должен определяться задачей исследования.

Для определения нефтепродуктов в почвах разработаны методики, в основе которых лежат гравиметрический, ИК-спектроскопический, флуориметрический и хроматографический методы анализа. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. Например, наиболее широко распространенные для экологического контроля гравиметрический и ИК-спектроскопический методы, недостаточно чувствительны, в то время как высокочувствительный флуориметрический метод позволяет определять в основном лишь ароматические углеводороды. Кроме того, указанные выше аналитические методы основаны на различных принципах измерения, поэтому сравнивать данные, полученные разными методами, довольно сложно. Гравиметрия, спектроскопия и флуориметрия используется для определения суммарного содержания нефтепродуктов в почвах. Для решения задач идентификации индивидуальных углеводородов используют хроматографические методы (газовую и жидкостную хроматографию).

Однако случаются ситуации, когда необходимо использовать несколько методов для идентификации состава загрязнения (например, поиск виновника загрязнения нефтепродуктами). Известно, что нефти различных месторождений уникальны, отличаются по групповому углеводородному, элементному (CHNS) и микроэлементному (металлы и др.элементы) составу. Так, например, для идентификации источника загрязнения можно использовать характерное соотношение углеводородных компонентов нефти или элементов-примесей (Fe, Ni, V, Al, Cr, РЗЭ и др.). В этом случае целесообразно использовать комплексный подход, включающий в себя детальное исследование состава загрязнения.

Отдельное внимание в докладе уделено описанию комплексного подхода к анализу нефтезагрязненных проб, целью которого является определение источника загрязнения.

*Работа выполнена по госзаданию Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской Академии Наук (ГЕОХИ РАН).*

## ПРОБООТБОР И АНАЛИЗ ПЛЕНОК НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

*Зуев Б.К.<sup>1,2</sup>, Грибова Е.Д.<sup>2</sup>, Полотнянко Н.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва,  
Россия*

*<sup>2</sup>Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия*

*E-mail: [zubor127@yandex.ru](mailto:zubor127@yandex.ru)*

На поверхности раздела фаз вода - воздух протекает значительное количество важнейших биологических и химических процессов. При этом содержание веществ в микрослое на поверхности воды существенно отличается от их количества в толще воды [1]. Для анализа водного поверхностного слоя необходимы подходы, позволяющие разделять вещества, находящиеся на поверхности и в объеме. Особенно это важно для анализа пленок нефтепродуктов, попавших в водную экосистему в результате утечки нефтепродуктов и аварий на нефтеналивном флоте.

В настоящей работе предлагается два способа переноса пленки органических веществ с поверхности воды на твердую поверхность пробоотборника (зонда). В одном случае пробоотборник медленно извлекается из воды с пленкой нефтепродуктов, при этом происходит перенос пленки на внешнюю поверхность пробоотборника. Другой подход основан на отборе воды с пленкой во внутренней объем зонда с последующим медленным удалением воды. Второй способ позволяет оценить площадь водной поверхности, с которой происходит пробоотбор нефтепродуктов [2].

После эксперимента с использованием первого способа пробоотбора с помощью метода окситермографии (на примере моторного масла) в единицах ХПК определяли суммарное содержание органических веществ в пленке. Для анализа пленки, осажденной на внутренней поверхности зонда (второй вариант пробоотбора), использовали в качестве растворителя тетрахлорметан. Содержание в нём органических веществ определяли с помощью комбинации методов: ИК-спектromетрии, хроматографии, хромато-масс-спектротометрии, а также окситермографии.

Результаты показали, что предложенный подход исследования пленок нефти и нефтепродуктов с водной поверхности природных водоемов может быть использован для идентификации источников загрязнения водной среды и изучения процессов трансформации пленок нефтепродуктов.

### Литература

1. Зуев Б.К., Чудинова В.В., Коваленко В.В., Ягов В.В. Условия формирования химического состава морского поверхностного микрослоя воды и особенности анализа органического вещества в нем // Геохимия. 2001. № 7. С. 773.
2. Зуев Б.К. и др. Устройство для отбора плёнок нефти и нефтепродуктов с поверхности воды. Патент РФ № 2679232. 2019.

## БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

Лоншакова-Мукина В.И.<sup>1,2,3</sup>, Громова А.В.<sup>1,3</sup>, Есимбекова Е.Н.<sup>2,1</sup>, Кратасюк В.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет ИФБиТ

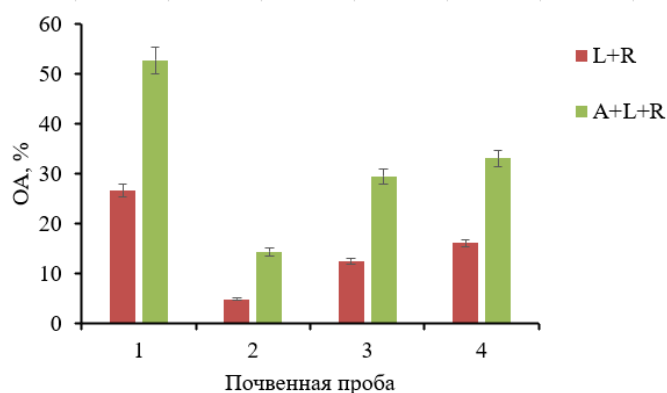
<sup>2</sup>Институт биофизики СО РАН

<sup>3</sup>Сургутский государственный университет

E-mail: [ylonshakova@sfu-kras.ru](mailto:ylonshakova@sfu-kras.ru)

В России, как и в зарубежных странах, утечки, происходящие вокруг нефтеперерабатывающих заводов и хранилищ, вносят значительный вклад в загрязнение почвенных экосистем. Это обуславливает необходимость создания эффективных методов экологического мониторинга для определения уровней нефтяного загрязнения как в момент утечки, так и с учетом временной динамики естественной деструкции нефти и нефтепродуктов [1]. Целью настоящей работы является оценка возможности использования биолюминесцентных методов анализа для определения степени нефтяного загрязнения почвы.

В работе исследовали активность двух сопряженных ферментных систем: биферментной (НАД(Ф)Н:ФМН-оксидоредуктаза+люцифераза (R+L) и триферментной (алкогольдегидрогеназа+НАД(Ф)Н:ФМН-оксидоредуктазой+люциферазой (A+R+L) в присутствии почвенных вытяжек, полученных из образцов почв, загрязненных различными количествами дизельного топлива (ДТ). Показано, что остаточная активность ферментных систем уменьшалась при увеличении количества внесенного ДТ в почву (Рис.1). Например, в присутствии вытяжки из почв, содержащей 5г/кг ДТ, максимальная интенсивность свечения системы L+R уменьшалась в 1,7 раза. Похожие результаты получены для триферментной системы A+L+R.



**Рисунок 1.** Зависимость остаточной активности (ОА) ферментных систем от вида почвенной вытяжки. 1 – чистая почва, 2 – почва + ДТ 20 г/кг, 3 – почва + ДТ 10 г/кг, 4 – почва + ДТ 5 г/кг (дата загрязнения 23.04.2024).

Таким образом, в настоящей работе продемонстрирована потенциальная возможность использования биолюминесцентных систем в ингибиторном анализе нефтяного загрязнения почв, а так же для анализа деградации нефтепродуктов в почвенной среде наряду с организменными методами анализа.

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 24-14-20030, <https://rscf.ru/project/24-14-20030/>.

### Литература

1. Ogbo E. M., Okhuoya J. A. Biodegradation of aliphatic, aromatic, resinic and asphaltic fractions of crude oil contaminated soils by *Pleurotus tuber-regium* Fr. Singer-a white rot fungus //African Journal of Biotechnology. 2008. Т. 7. №. 23. Р. 4291.

## АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МИКРОПЛАСТИКАМИ ПОЛИПРОПИЛЕНА, ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ВСПЕНЕННОГО ПОЛИСТИРОЛА

*Гусельникова Т.Я.<sup>1</sup>, Цыганкова А.Р.<sup>1,2</sup>, Лепешонкова Ю.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

*E-mail: gtya18@gmail.com*

Изделия из пластика используются повсеместно и ежеминутно практически каждым человеком на планете. Такое распространение приводит к тому, что не разлагаемые использованные изделия попадают в окружающую среду и оказывают отрицательное воздействие на все живое. Кроме того, под действием различных внешних природных факторов образуются вторичные контаминанты – микропластики. Загрязнение окружающей среды микропластиками невозможно оценить реалистично на основании имеющихся на сегодняшний день знаний. Микропластики способны оказывать двойное негативное влияние на организм человека. С одной стороны, попадая и накапливаясь в различных органах и тканях человека. С другой стороны, микропластики могут выступать носителями тяжелых металлов.

В работе изучена аккумуляция микропластиками различных металлов (Al, Ba, Co, Eu, Lu, Mg, Yb) в том числе тяжелых элементов (Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) из модельных растворов. Исследования проводили на примере индивидуальных микропластиков полипропилена (ПП), полиэтилентерефталата (ПЭТ) и вспененного полистирола (ПС). Индивидуальные микропластики получали в лабораторных условиях, путем механического измельчения коммерческих изделий из ПП, ПЭТ, ПС до требуемого размера. Исследования проводили при влиянии следующих параметров: длительность выдерживания без дополнительного воздействия, при воздействии излучения в диапазоне длин волн 380-840 нм и при интенсивном встряхивании. Микропластики ПП, ПЭТ и ПС выдерживали в растворе, содержащем все вышеперечисленные элементы в течение 3, 5, 7 и 10 дней без дополнительного воздействия; 8, 16, 32 и 48 часов при воздействии излучения и интенсивного встряхивания. В каждую временную точку микропластики отделяли от раствора и определяли их примесный состав методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС ИСП). Для этого ранее разработали АЭС ИСП методику количественного анализа пластиков ПП, ПЭТ и ПС. В разработанной методике пластики разлагали в смеси серной и азотной кислот при нагревании.

В результате проведенных экспериментов установлено, что ПС имеет наибольшую аккумулирующую способность для всех рассмотренных элементов; наименьшую – ПП. Концентрация элементов в микропластиках увеличивается при увеличении длительности выдерживания, воздействия излучения и встряхивания. Максимальная концентрация определена для Cd у всех изученных микропластиков. Более того содержание Cd увеличивается примерно в 2 раза при воздействии излучения. Содержание As, Hg и Pb в микропластиках было ниже пределов обнаружения методики анализа. Аналогичный результат имеют Ni и Zn для ПП и ПЭТ, в то время для аккумуляции Cr требуется время. Накопление Mn, Eu микропластиками ПП увеличивается при воздействии излучения. Под воздействием излучения в течение 8 часов в ПС установлено сопоставимая или большая концентрация элементов, чем при выдерживании в растворе в течение 3 дней без дополнительного воздействия.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-23-00105, <https://rscf.ru/en/project/24-23-00105/>*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ КАК ИНСТРУМЕНТ  
ДЛЯ ЭКСПРЕССНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ  
МЕТАБОЛИТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ - ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ  
ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Подольская Е.П.**

*Институт аналитического приборостроения РАН,*

*Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [ek.podolskaya@gmail.com](mailto:ek.podolskaya@gmail.com)*

На сегодняшний день список антропогенных загрязнителей, подлежащих мониторингу в природных водах, достаточно обширен. В него входят такие классы соединений, как пестициды, стойкие загрязнители (полихлорированные бифенилы и диоксины), полиароматические углеводороды (бенз(а)пирен), а также различные лекарственные средства. Например, диклофенак, широко используемый фармацевтический препарат, был выбран в качестве маркера антропогенного загрязнения окружающей среды в связи с его негативным влиянием на различные экосистемы и был включен в список приоритетных веществ, подлежащих мониторингу.

Современные методы очистки сточных вод на основе активированных окислительных процессов, подразумевающих последовательное использование химических окислителей и УФ излучения, могут приводить к образованию токсичных промежуточных продуктов трансформации ксенобиотиков и образованию реактивных метаболитов, способных при попадании в организм ковалентно связываться (образовывать аддукты) с биологическими макромолекулами, тем самым нарушая их функции. Такие нарушения, в свою очередь, могут приводить к негативным изменениям в биоценозе водоемов, в которые попадают сточные воды, прошедшие недостаточную очистку от продуктов окисления ксенобиотиков.

Таким образом, разработка подходов, позволяющих предсказывать возможное влияние превращения ксенобиотиков под воздействием окислительных факторов на окружающую среду и живые организмы, является актуальной задачей. При этом особый интерес представляют скрининговые методики, позволяющие осуществлять анализ большого количества образцов за короткое время. В связи с этим, разработка аналитической системы для быстрого выявления реакционноспособных метаболитов проводилась на основе метода МАЛДИ (матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация) масс-спектрометрии, который отличается не только высокой чувствительностью, но и экспрессностью.

В результате работы предложен подход для быстрого выявления реактивных метаболитов ксенобиотиков, включающий в себя: функционализацию поверхности МАЛДИ мишени фотокатализатором (наночастицами диоксида титана), с помощью разработанной установки для распыления наночастиц в бескапельном режиме; проведение на функционализированной поверхности УФ-индуцированного фотокаталитического окисления ксенобиотиков; инкубацию полученных продуктов с улавливающим агентом – белковой молекулой, способной образовывать аддукты; МАЛДИ масс-спектрометрический анализ. Разработанный подход отличается простотой, экспрессностью и дешевизной и позволяет надежно регистрировать образование реактивных метаболитов по их аддуктам с глутатионом и глобином человека методом МАЛДИ масс-спектрометрии и превосходит общепринятые подходы по следующим критериям: значительное снижение требуемого для анализа количества реактивов и исследуемых веществ; объединение нескольких стадий исследования в одну; возможность проведения нескольких экспериментов одновременно; выявление большего числа реактивных метаболитов.

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ ФЕРРАТНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

*Ермаков С.С.<sup>1</sup>, Наволоцкая Д.В.<sup>1</sup>, Пантин А.В.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [s.ermakov@spbu.ru](mailto:s.ermakov@spbu.ru)*

В настоящее время существует ряд проблем, связанных с очисткой сточных, промышленных и питьевых вод. Это высокая стоимость очистки, необходимость использования нескольких реагентов, образование токсичных побочных продуктов в случае использования традиционных окисляющих реагентов. Большинство этих проблем может быть решено с применением раствора феррата (VI). Во-первых, феррат (VI) характеризуется наибольшим значением окислительного потенциала по сравнению с другими реагентами-окислителями, которые традиционно используются в водоочистке с использованием процессов хлорирования и озонирования. Во-вторых, восстанавливаясь, феррат (VI) превращается в гидроксид железа (III), который является хорошим коагулянтом. Таким образом, при ферратной очистке воды отсутствует необходимость в дополнительных реагентах-коагулянтах. В-третьих, окисление загрязняющих воду веществ ферратом (VI) не приводит к образованию токсичных побочных продуктов. Кроме того, электролизный синтез феррата (VI) является быстрым, безопасным и экономически выгодным процессом.

В рамках проекта по созданию мобильной водоочистной установки был создан проточный электролизер для синтеза феррата (VI). Её технология применяет раствор феррата (VI) натрия в качестве реагента-окислителя. Раствор феррата (VI) добавляется до тех пор, пока все загрязняющие воду вещества не будут окислены.

Основными аналитическими задачами, которые возникли были: мониторинг концентрации феррата, генерируемого установкой и полнота его восстановления в результате окисления загрязнителей.

Были разработаны методы онлайн-анализа для мониторинга процессов производства и очистки проточной воды с помощью феррата (VI) на основе прямой потенциометрии, проточной амперометрии и проточной фотометрии. Отклонение результатов измерений указанными лабораторными методами составило в среднем 4,8%. Установленный диапазон концентраций для проточной фотометрии составил  $2.5 \cdot 10^{-5}$  –  $7.7 \cdot 10^{-4}$  М, для прямой потенциометрии, для амперометрии  $8.5 \cdot 10^{-5}$  М –  $7.1 \cdot 10^{-4}$  М. Для верификации методов онлайн-мониторинга был использован референтный спектрофотометрический метод.

## МЕТОДОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТАВА НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Мусина Н.С., Романова Ю.Н., Марютина Т.А.*

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской*

*Академии Наук, Москва, Россия*

*E-mail: [musinanatalya@gmail.com](mailto:musinanatalya@gmail.com)*

При исследовании нефтезагрязненных почв для оценки степени и масштабов нанесенного ущерба и прогнозирования последствий применяют различные методики анализа. Однако из-за широкой вариабельности состава образцов нефти и нефтепродуктов из различных источников и невозможности создания универсальных методик, результаты анализов, полученные разными методами, сильно разнятся. Расхождения в результатах приводят к ошибочным интерпретациям виновника загрязнения и к выбору неверных технологических решений при организации рекультивационных или восстановительных работ.

В настоящей работе авторами рассмотрены существующие на сегодняшний день комплексные подходы для идентификации состава нефтяного загрязнения почв и грунтов, показаны их преимущества и недостатки. На основе анализа данных и проведенных экспериментальных исследований авторами разработана и апробирована методология организации лабораторных исследований нефтезагрязненных почв и грунтов с целью определения источника, концентрации и углеводородного состава загрязнения. Разработанный комплекс аналитических методов включает в себя ИК-спектрометрию, газовую хроматографию с масс-селективным детектированием, тонкослойную хроматографию с пламенно-ионизационным детектированием и элементный анализ (C, H, N, S, O). Применение предложенного комплексного подхода позволяет с высокой достоверностью установить характер нефтяного загрязнения почв, оценить общее валовое содержание нефтепродуктов и их углеводородный состав, а также определить особенности индивидуального углеводородного состава (маркеры, присущие только определенному виду нефтепродуктов) и сделать выводы о потенциальном источнике загрязнения. В работе продемонстрирована важность учета потерь летучих нефтепродуктов на стадии транспортировки и пробоподготовки при загрязнении почв легкими нефтяными фракциями. Использование стандартных методов пробоподготовки (высушивание анализируемых проб) влечет за собой ошибки при оценке уровня загрязнения территорий летучими углеводородами и выборе способов восстановления загрязненных территорий. На реальных образцах почв, отобранных с нефтезагрязненных объектов и сопряженных с ними территорий, показаны возможные ошибки при интерпретации полученных результатов с использованием различных методов анализа, их влияние на определение идентичности загрязнения территорий, и важность применения комплексного подхода при формировании выводов об источнике (виновнике) загрязнения и организации рекультивационных работ.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ГЕОХИ РАН.*

## КОМПЛЕКС ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ОСОБО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

*Буряк А.К., Гриневич О.И., Пыцкий И.С., Миненкова И.С.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия*

*E-mail: [akburyak@mail.ru](mailto:akburyak@mail.ru)*

Особо загрязнённые объекты представляют опасность не только для окружающей среды, не только для операторов, отбирающих пробы, но и для приборов на которых проводится исследование таких высококонцентрированных проб.

В настоящей работе рассмотрены подходы к проведению анализов таких проб, которые позволяют получить максимальную информацию, но при этом минимизировать загрязнение оборудования. Традиционный подход - разбавление проб и их предварительная очистка. Вместе с тем, оба эти подхода могут приводить к потере веществ присутствующих в минимальных концентрациях, но при этом относящихся к высоко токсичным и определяющим опасность именно этого источника загрязнения. Альтернативным подходом может быть применение препаративных хроматографических методов, которые позволяют осуществлять разделение проб без потери чувствительности для их дальнейшего определения, сохраняя все компоненты в хроматографической системе. Одним из таких подходов является применение тонкослойной хроматографии для предварительного разделения и определения тех компонентов, для которых достигнуто удовлетворительное разделение. Следующий этап - применение углублённых методов анализа, включающих газовую и жидкостную хроматографию с масс-спектрометрическим детектированием. В настоящей работе рассмотрены примеры, применение таких подходов для исследования объектов особо загрязнённых продуктами трансформации несимметричного диметилгидразина и продуктами горения углеводородных топлив.

Использован набор хромато-масс-спектрометрических методов, включающий анализ равновесного пара над поверхностью образцов при нескольких температурах, микропрепаративное разделение в варианте тонкослойной хроматографии на нескольких сорбентах, лазерно-десорбционную масс-спектрометрию разделённых объектов в варианте положительных и отрицательных ионов, смывы растворителями разной полярности и проведение хромато-масс-спектрометрического исследования, включающего газовую хроматографию и высокую эффективную жидкостную хроматографию с двумерной масс-спектрометрией высокого разрешения. Результаты применения данного подхода приведены в ряде публикаций [1, 2].

Во всех случаях удалось добиться повышения эффективности разделения, информативности анализа и существенно снизить загрязнение хроматографической и масс-спектрометрической системы.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта № 075-15-2024-534).*

### Литература

1. A. Y. Sholokhova, D. D. Matyushin, O. I. Grinevich, S. A. Borovikova, A. K. Buryak. Intelligent workflow and software for non-target analysis of complex samples using a mixture of toxic transformation products of unsymmetrical dimethylhydrazine as an example // *Molecules*. 2023. V. 28. № 8. С. 3409.
2. Миненкова И.В., Пыцкий И.С., Буряк А.К. Применение ТСХ/МАЛДИ для идентификации и разделения моно- и дизамещенных нитробензойных кислот // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2022. Т. 58. № 6. С. 609-615.

## СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНИВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

*Шабанова Е.В.<sup>1</sup>, Васильева И.Е.<sup>1</sup>, Бямбасурэн Ц.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт физики и технологии АНМ, Улан-Батор, Монголия*

*E-mail: [shev@igc.irk.ru](mailto:shev@igc.irk.ru)*

Эколого-геохимическое состояние почв в настоящее время оценивается:

–сравнением установленных валовых (отдельных подвижных форм) содержаний металлов и металлоидов с их предельными допустимыми концентрациями, приведенными в санитарно-гигиенических нормативах;

–вычислением разнообразных статистических оценок – индексов загрязнения;

–применением многомерных методов статистического анализа (разведочный анализ данных, дисперсионный и дискриминантный анализ, вариации кластерного и факторного анализов) для выявления элементов, обладающих схожим геохимическим поведением при миграции и аккумуляции биогенных и токсических элементов, а также форм их переноса;

–расчётом интегральных характеристики биохимических процессов в растениях, например, таких как фотосинтез, ферментогенез и уровень загрязнения токсичными элементами через отношения валовых содержаний Fe/Mn, Cu/Zn и Pb/Mn.

Сравнение позволяет лишь приблизительно определить вероятность загрязнения узким кругом элементов и не представляет целостной информации о состоянии качества почвы. В случае индексного подхода согласованные показатели между разными индексами наблюдаются редко из-за не учёта категории земель, пригодности конкретного индекса загрязнения и погрешности (неопределённости) получаемых первичных аналитических данных. В связи с этим до сих пор продолжаются разработки новых индексов, а разные исследователи делают попытки классификации и выявления степени применимости существующих индексов. Зачастую использование многомерного статистического анализа осложнено из-за неполноты информации о природных системах. Установление экологического состояния почв по интегральным характеристикам биохимических процессов в растениях зависит от видовых особенностей растений и критерия сравнения между собой древесных и травяных растений.

В работе на примере почв и растений, отобранных на территории г. Улан-Батор, с помощью рациональных схем химического анализа образцов сопряжённых сред "почва – растение" изучено распределение 33 химических элементов. Показано, что для корректной интерпретации экологической ситуации и классификации источников поступления микроэлементов в городские почвы с помощью многомерного статистического анализа структура аналитико-геохимических данных должна содержать информацию о макро- и микроэлементном составе, а также показателях рН и  $S_{орг}$ . Надёжное описание экологического состояния городских почв достигается сочетанием геостатистического картирования (поиск и выделение источников загрязнения) и вычислением двух индексов: комплексный индекс загрязнения почв (Zс) и показатель токсичности для растений (отношение содержаний Pb/Mn).

*Работа выполнена на оборудовании ЦКП "Изотопно-геохимических исследований" ИГХ СО РАН в рамках государственного задания по теме НИР № 0284-2021-0005 "Развитие методов исследования химического состава и структурного состояния природных и техногенных сред в науках о Земле".*

## ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЫШЕННЫХ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА БЕНЗ(А)ПИРЕНОМ (БаП)

**Корунов АО.**

ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия

E-mail: [korunov-ao@rpatyphoon.ru](mailto:korunov-ao@rpatyphoon.ru)

ФГБУ «НПО «Тайфун» осуществляет регулярные наблюдения за содержанием БаП в атмосферном воздухе более чем в 140 городов РФ методом ВЭЖХ с флуориметрическим детектированием. Данные наблюдений используются при подготовке Ежегодников состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах на территории Российской Федерации [1].

Сравнение результатов наблюдений в городах Европейской (ЕЧР) и Азиатской частях (АЧР) России, позволяет выявить существенные различия в характеристиках загрязнения атмосферы БаП [1].

Помимо выбросов предприятий, накоплению различных токсичных веществ в атмосферном воздухе могут способствовать неблагоприятные метеорологические условия.

Для оценки способности атмосферы к самоочищению используют метеорологический потенциал загрязнения атмосферы (МПЗА), разработанный Селегей Т.С. и др:

$$МПЗА = \frac{(P_{0-1} + P_m)}{(P_{осад.} + P_{\geq 6})},$$

Где  $P_{0-1}$  – повторяемость скоростей ветра 0-1 м/с, %;  $P_t$  – повторяемость дней с туманом;  $P_{осад.}$  – повторяемость дней с осадками  $\geq 0,5$  мм;  $P_{\geq 6}$  – повторяемость скоростей ветра  $\geq 6$  м/с.

Если  $МПЗА < 1$ , то преобладают процессы, способствующие к самоочищению атмосферы, если  $МПЗА > 1$  – преобладают процессы, способствующие к накоплению примесей.

Результаты анализа содержания БаП в пробах атмосферного воздуха, отобранные на ПНЗ сети Росгидромета в городах Новокузнецк, Братск, Омск, Череповец, Медногорск, Липецк и значения МПЗА для этих городов осредненные за период с 2020 по 2022 представлены в таблице 1, из которой следует, что увеличением значения МПЗА увеличивается концентрация БаП. МПЗА может быть использован для предварительной оценки загрязнения атмосферного воздуха БаП для городов РФ с различным спектром источников выбросов.

**Таблица 1. МПЗА и содержание бенз(а)пирена в городах**

| Город       | МПЗА среднее за период 2020-2022 | Повторяемость случаев, когда МПЗА >1 за период 2020-2022, % | Среднегод. конц. БаП за период 2020-2022 (ПДК 1 нг/м <sup>3</sup> ), нг/м <sup>3</sup> |
|-------------|----------------------------------|---|--|
| Новокузнецк | 3,8                              | 53%   | 7,3  |
| Братск      | 3,3                              | 50%   | 5,0  |
| Омск        | 1,3                              | 8,3%  | 1,3  |
| Череповец   | 1,5                              | 19,4%   | 0,68   |
| Медногорск  | 1,8                              | 25%   | 0,55   |
| Липецк      | 1,0                              | 2,8%  | 0,47   |

### Литература

1. ФГБУ «ГГО», Ежегодник состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах на территории Российской Федерации, 2023, С. 53.

**ОБНАРУЖЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ДЕЙСТВУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ  
СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ В ОБЪЕКТАХ ЭКСПЕРТНОГО  
ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО-МАСС-  
СПЕКТРОМЕТРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ ПРОБОПОДГОТОВКИ  
QUECHERS**

**Стрижаков Д.А.**

*Государственный комитет судебных экспертиз Республики Беларусь,  
центральный аппарат, Минск, Республика Беларусь*

E-mail: [unsub@sudexpert.gov.by](mailto:unsub@sudexpert.gov.by)

В последнее время среди назначаемых в Государственный комитет судебных экспертиз Республики Беларусь материалов выросло количество экспертиз, проводимых по фактам уничтожения объектов растительного и животного мира, отравления людей, хищения материальных ценностей. При этом предметом исследования в названных случаях зачастую являются различного рода средства защиты растений.

На экспертизу по данным фактам предоставляются части растений, образцы почв, корма для животных. В постановлениях о назначении экспертиз ставится вопрос: «Имеются ли на поверхности предоставленных на исследование объектов средства защиты растений (пестициды)». В связи с чем, возникла необходимость в идентификации пестицидных препаратов на поверхности предоставляемых на исследование объектов.

Целью настоящей научно-исследовательской работы является разработка методики идентификации средств защиты растений на поверхности предоставляемых на экспертизу объектов, направленной на повышение эффективности и сокращение сроков производства экспертизы материалов, веществ и изделий.

Подтверждение наличия на поверхности предоставляемых на исследование объектов следовых количеств средств защиты растений возможно лишь в случае обнаружения в образцах, полученных в результате пробоподготовки, основных действующих веществ пестицидов (далее-ДВП) – компонентов, обладающих биологической активностью по отношению к вредным организмам или оказывающих влияние на рост и развитие растений.

Исследование пестицидных препаратов делится на два основных этапа: пробоподготовку и непосредственную идентификацию ДВП с использованием современного аналитического оборудования.

В рамках настоящей научно-исследовательской работы пробоподготовка осуществлялась по методике QuEChERS, в основе которой лежит выделение ДВП из анализируемых проб и последующая очистка получаемых экстрактов от нежелательных примесей (органических кислот, липидов, пигментов, сахаров) с помощью дисперсионной твердофазной экстракции.

Исследование получаемых концентратов экстрактов проводили методом газожидкостной хроматографии с использованием хромато-масс-спектрометрической системы Agilent Technologies GC6850Network/MSD5977B (капиллярная колонка DB-5MS). Идентификацию компонентов проводили с применением электронной библиотеки NIST 20.

В результате проведенного исследования разработаны методические подходы к обнаружению 32 действующих веществ пестицидов в объектах экспертного исследования. Методика пробоподготовки QuEChERS была адаптирована под задачи, решаемые при проведении судебных экспертиз. Показана эффективность идентификации различных классов пестицидов (неоникатиноидов, пиретроидов, феноксикарбоновых кислот, арилоксифеноксипропионатов и др.) по их структурным характеристическим ионам.

**ИММУНОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ  
ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В ОБЪЕКТАХ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Жердев А.В., Дзантиев Б.Б.**

*Институт биохимии им. А.Н. Баха, Федеральный исследовательский центр  
“Фундаментальные основы биотехнологии” Российской академии наук  
Россия, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 33  
e-mail: zherdev@inbi.ras.ru*

Интенсивное применение химических средств защиты растений обуславливает необходимость массового мониторинга их содержания в объектах окружающей среде, прежде всего в природных водах и почве, а также в сельскохозяйственной продукции, позволяющего оценивать состояние экосистем и риски для человека. В последние годы все более востребованными средствами такого контроля становятся иммунохимические тест-системы, которые могут использоваться непосредственно в местах отбора проб и принимать оперативные решения о состоянии характеризующих объектов. Эффективность тестирования «по месту требования» (point of care testing) с помощью иммунохроматографических тест-полосок убедительно показана при решении многих задач медицинской диагностики и представляет несомненный интерес для экологического мониторинга. Однако переход к широкому внелабораторному иммунохроматографическому контролю пестицидов требует решения ряда дополнительных задач, связанных с адаптацией тест-систем к особенностям характеризующих проб и выявляемых соединений. В сообщении представлены разработки, направленные на снижение пределов иммунохроматографического обнаружения пестицидов при сохранении методической простоты и экспрессности.

Проанализированы теоретические зависимости концентрации детектируемых иммунных комплексов в тест-системах и с их учетом определены параметры, лимитирующие минимальные выявляемые концентрации аналитов. Сопоставлены возможности использования в иммунохроматографии наночастиц-маркеров разных размеров и формы, а также их комплексов с антителами разного состава. Охарактеризованы процессы усиления оптических сигналов в иммунохроматографии, основанные на наращивании наночастиц восстановлением на их поверхности солей металлов, а также на каталитической (нанозимной) трансформации хромогенных субстратов. Определены эффективные протоколы использования золотых наночастиц с разветвленной поверхностью (наноцветов), золото-платиновых и золото-серебряных нанозимов. При использовании в иммунохроматографии наночастиц магнетита показаны возможности концентрирования целевых аналитов из больших объемов проб, отделения от компонентов матрикса и последующей прямой оптической детекции меченых иммунных комплексов.

Рассмотрено применение вышеописанных подходов для иммунохроматографического контроля представителей разных классов пестицидов – параквата, имидаклоприда, 2,4-хлорфеноксисукусной кислоты, фипронила, диурона, изопротурона, хлорпирифоса и др. Достигаемые пределы обнаружения находятся в диапазоне от 0,02 до 2,1 нг/мл, соответствуя требованиям к предельно допустимым уровням контаминации. Помимо качественного визуального контроля превышения порогового уровня контаминации, возможна количественная оценка содержания пестицида на основании интенсивности окрашенной зоны тест-полоски. Степень выявления пестицидов в природных пробах варьирует от 75 до 112%.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-43-00196 (<https://rscf.ru/project/24-43-00196/>).*

## НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЛЬТАМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ЭКОТОКСИКАНТОВ НА ОРГАНО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДАХ

*Слепченко Г.Б., Дорожко Е.В., Нурпейис Е., Нурмаметова А.А.*

*Томский политехнический университет,*

*634050, г.Томск, пр. Ленина 30*

*e-mail: [microlab@tpu.ru](mailto:microlab@tpu.ru)*

Основная задача экоаналитического контроля предполагает определять микроколичества элементов и органических веществ с высокой точностью и селективностью в широких интервалах определяемых содержаний при условии невысоких финансовых затрат.

Контроль качества экологических объектов на содержание неорганических и органических экотоксикантов проводится различными физико-химическими методами, среди которых метод инверсионной вольтамперометрии (ИВ) занимает в настоящее время одно из ведущее мест.

Необходимая селективность и высокая чувствительность определений обеспечиваются за счет специфических свойств поверхности, сформированной на органо-модифицированных электродах. Интерес к этим разработкам связан не только с применением органо-модифицированных электродов в вольтамперометрическом анализе. Их широко используют в качестве преобразователей биохимического отклика в современных биосенсорах. Создание новых сенсоров, основанное на модифицировании электродов, позволяет решить данную задачу.

В практике создания новых электрохимических сенсоров наиболее часто используются различные материалы – это платина, золото, серебро и углеродные материалы, которые обладают рядом уникальных свойств. Углеродные материалы, такие как графит, пирографит и др. позволяют синтезировать материал компактной или дисперсной формы с заданной пористостью, составом поверхностных групп, что обеспечивает применение их для практических целей. В работе изучено влияние различных заместителей тозилатных солей арендиазония и металлических модификаторов на вольтамперометрическое определение элементов. Проведены исследования вольтамперометрического поведения некоторых неорганических элементов на различных типах электродах, модифицированных солями арендиазония тозилата.

Нами проведены исследования по использованию различных нанокompозитных материалов в сочетании с органическими веществами и неорганическими соединениями. При этом чувствительность возрастает в 2-4 раза, предел обнаружения уменьшается.

Разработаны рабочие условия определения некоторых органических соединений на фоновом электролите - 0,1М  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  на различных подложках органо-модифицированных электродах – стеклоуглеродной (для amino-, гидроксисоединений и соединений с конденсированными бензольными ядрами) и серебро – для нитросоединений. Рабочие условия определения ароматических соединений с конденсированными бензольными ядрами: нафталина и аценафтена позволяют ценить их потенциалы аналитических сигналов и доказать, что при процессе электроокисления происходит разрыв цикла. На основании полученных результатов разработаны способы получения органо-модифицированных электродов и методики вольтамперометрического определения I, Se, Ni, Cu и Fe, а также органических соединений в водах различного типа.

## **ПОДХОДЫ К РЕКУЛЬТИВАЦИИ И ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА. РОЛЬ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ.**

**Калмыков С.Н.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Президиум Российской академии наук, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: [SNKalmykov@pran.ru](mailto:SNKalmykov@pran.ru)*

Государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде насчитывает (по состоянию на 31.03.2025) 1060 различных объектов во всех регионах Российской Федерации. В реестр включены очень сложные по составу загрязнителей и масштабу распространения загрязнения объекты. Выбор технологии рекультивации объектов накопленного экологического вреда основывается на данных паспортизации отходов, включающей точное определение их состава, причем в том числе компонентов, содержащихся в небольших количествах, особенно если речь идет о веществах I или II класса опасности. Кроме того, необходима информация о распространении отходов в пространстве, в том числе по глубине.

Примером того, насколько сложным может быть состав отходов, служит объект «Черная дыра» - неорганизованная свалка промышленных отходов бывшего производства ОАО «Оргстекло», г. Дзержинск. Методами электротомографии удалось сделать оценку мощности и объема загрязненных неоднородных техногенных грунтов на акватории шламонакопителя. При выполненном анализе паст и пластифицированных отходов было установлено, что в составе отхода можно выделить минеральную и органическую составляющую, при доминировании (от 79 до 99,8 %) последней.

Среди основных низкомолекулярных органических веществ были определены н-бутилметакрилат, стирол, метилстирол, изопропилбензол, ацетофенон, фенол, дибутилфталат, диизобутилфталат, п-кумилфенол, додецилметакрилат. Содержание перечисленных веществ варьируется в исследуемых пробах отходов диапазоне от 0,05 до 20 %, что опять же показывает высокую неоднородность исследуемого объекта. Основными компонентами полимерной фракции отходов являются метилметакрилат и бутилметакрилат, сополимеры метилакрилата, бутилакрилата и стирола, фенол-содержащие полимеры, фенолформальдегидная смола. Было выполнено высокое содержание хлорорганических пестицидов (ХОП) и полихлорированных бифенилов (ПХБ) в образцах отхода. Сумма ПХБ для всех исследованных точек отбора составила более 1000 мг/кг (или 0,1%) при ПДК в почве – 0,02 мг/кг. Среди компонентов золы после озонения отходов найдены свинец, никель, медь и цинк в концентрациях, значительно превышающих ПДК/ОДК, что свидетельствует о высоком классе опасности золы и необходимости решения задачи ее дальнейшей утилизации.

Важнейшим заключением из данных геофизических исследований, определения компонентов отходов, с учетом неоднородности, является выбор метода утилизации отходов – от пиролиза (важен выбор температурного режима, доочистка отходящих газов) и перевода в инертные форму для хранения, до захоронения на месте. Подходы, при которых невозможно полное изъятие отходов и загрязненных компонентов окружающей среды, включают создание системы противомиграционных барьеров и завес с использованием глинистых материалов, обеспечивающих в зависимости от состава необходимые диффузионные, миграционные и сорбционные свойства. Была создана база данных по глинистым промышленным месторождениям, включающая 24 критические важные характеристики этих глинистых материалов.

## **АНАЛИТИКА СОСТАВА ОТХОДОВ КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА**

**Жабриков С.Ю., Оспанова Т.Е.**

*ФГУП «Федеральный экологический оператор»*

Ликвидация накопленного экологического вреда является приоритетной экологической задачей. Ключевым этапом является аналитическое определение состава отходов, накопленных на территориях бывших промышленных объектов [1]. Правильно идентифицированные химические соединения и их количественные параметры позволяют эффективно разрабатывать технологии безопасной утилизации и рекультивации загрязнённых территорий.

Для иллюстрации рассмотрены три объекта: бывшее предприятие «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское), Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК) и полигон «Красный Бор».

На территории «Усольехимпрома» находилось более 250 ёмкостей с неизвестными веществами. Аналитическая задача состояла в идентификации веществ и определении концентраций. Конкретные параметры образца №26: вода – 86,6%, метилцеллюлоза – 12,3%, сульфат железа – 0,912%, натрий – 0,0243%, магний – 0,0311%, алюминий – 0,0307%, кремний – 0,0643%, сера – 0,0286%. Использовались ИК-Фурье спектроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, газовая хроматография с масс-спектрометрией, атомно-абсорбционная спектрометрия, гравиметрические и титриметрические методы [2, 4].

На территории БЦБК БЫЛИ обнаружены щёлокосодержащие отходы с высоким содержанием сульфатного щёлока и остатки химических реагентов. Основная задача – определение агрегатного состояния, pH среды (варьировал от 8,2 до 11,7) и химического состава отходов. Применялись газовая хроматография, ИК-Фурье спектроскопия, атомно-абсорбционная спектрометрия и качественные реакции на ионы (сульфаты, нитраты, аммоний) [3].

Полигон «Красный Бор» характеризуется накоплением более 334 тыс. м<sup>3</sup> жидких отходов с выраженной стратификацией. Аналитическая задача – послойная идентификация и количественная оценка тяжёлых металлов (Pb, Hg, Cd), полициклических ароматических углеводородов (до 35 мг/кг) и диоксинов, содержание ртути достигало 12 мг/кг. Использовались методы газовой и жидкостной хроматографии, атомно-абсорбционной спектрометрии, фотометрические и качественные реакции [4].

Комплексное применение аналитических методов позволяет получать точные результаты для разработки эффективных экологических решений для реабилитации нарушенных промышленных территорий [1].

### **Литература**

1. Ахметов В.Г., Ларионов А.Н. Современные методы анализа экологически опасных отходов // Экологический анализ и мониторинг. – 2020. – №2 (15). – С. 45–51.
2. Горюнова И.В., Кузнецов Д.С. Аналитическое обеспечение проектов ликвидации накопленного вреда окружающей среде: практические подходы и решения // Журнал прикладной химии. – 2021. – Т. 94, №4. – С. 455–463.
3. Чуприна С.А., Самсонова Н.В., Шиповская Е.В. Использование газовой хроматографии в эколого-аналитических исследованиях токсичных отходов // Химическая промышленность сегодня. – 2022. – №1. – С. 78–83.
4. Environmental Analytical Chemistry. Methods and Protocols / Ed. by D. Pérez-Bendito, A. Rubio. – Springer Nature, 2021. – 330 p.

## **УСОЛЬЕХИМПРОМ - ИСТОРИЯ КАТАСТРОФЫ, ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ И ВЫЗОВЫ ДЛЯ ХИМИИ**

**Иванов А.В.**

*Федеральный исследовательский центр «Иркутский институт химии им. А.Е.  
Фаворского» Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия  
E-mail: [ivanov@irioch.irk.ru](mailto:ivanov@irioch.irk.ru)*

ПО «Химпром» в г. Усолье-Сибирское было основано в 1936 году. Завод был предназначен для выпуска этиловой жидкости, в дальнейшем, были запущены производства перекиси водорода (1956), кислорода, азота, очистка рассола (1961), ацетилен и поливинилового смолы (1963), кремнийорганических полимеров (1964), крупнотоннажное производство карбида кальция, необходимого для получения ацетилен (1966), метилцеллюлозы (1969), каустической соды методом ртутного электролиза и кремний-органических мономеров (1970), первое в РСФСР производство нейтрального гипохлорита кальция (1974), трихлорэтилена (1975), металлического натрия (1983), эпихлоргидрина (1988). «Химпром» являлся градообразующим предприятием и одним из лидеров химической индустрии в стране. Численность работников предприятия в пике его деятельности составляла 12 тыс. человек. Численность городского населения в те годы достигала 108 тыс. человек. В 1990-е годы «Усольехимпром» вступил в период кризиса, но еще продолжал свою деятельность, количество работников предприятия сократилось до 7,7 тыс. человек. В 2003 г. «Усольехимпром» прекратил свое существование. В 2002-2017 гг на площадке «Усольехимпрома» располагалась компания «Нитол», занимавшаяся проектом «Солнечный кремний». В связи резким падением цен на мировом рынке на поликремний в те годы компания не выдержала конкуренции и объявила себя банкротом. На фоне всех этих негативных событий, в том числе и в связи с растущими экологическими проблемами, население города еще сократилось до 83,3 тыс. жителей. На территории бывшего «Усольехимпрома» площадью более 1600 га было заброшено 200 зданий и сооружений, 20 км железнодорожного, почти 50 км наземных и подземных коммуникаций. Почва, грунтовые и подземные воды были пропитаны токсичными загрязняющими веществами и тяжёлыми металлами, представлявшими масштабную экологическую проблему. Проблемой являлось то, что большая часть загрязнений находилась в разных формах неидентифицированных отходов, например, в скважинах рассолопромысла не обнаруживалась хлорорганика, которая исторически там была, ртуть была распределена по все территории, в разных формах и на разных глубинах. Основным фактором риска была угроза сползания нефтяной линзы в водный бассейн реки Ангары (около 14,5 тыс. тонн загрязненных грунтов, объем нефтепродуктов – около 1,5 тыс. тонн). Нужны были нестандартные и нетривиальные решения по ликвидации накопленного экологического ущерба.

В настоящее время в г. Усолье-Сибирское в рамках нацпроекта «Новые материалы и химия» реализуется федеральный проект по созданию и развитию Федерального центра химии (ФЦХ), в работе над которым непосредственное участие принимает ИрИХ СО РАН. ФЦХ станет пилотной площадкой для создания промышленных центров инновационных химических производств, среди которых уже определены хлорная, фосфорной, серная, аммиачная и изоцианатная специализации. Все новые производства будут создаваться с использованием современных технологий, основываться на принципах зеленой химии, будут экологически безопасными для окружающей среды.

## МЕТОДИКА НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ДИАГНОСТИКИ РАДИОАКТИВНЫХ МИКРОЧАСТИЦ

**Полякова Т.Р., Власова И.Э., Калмыков С.Н.**

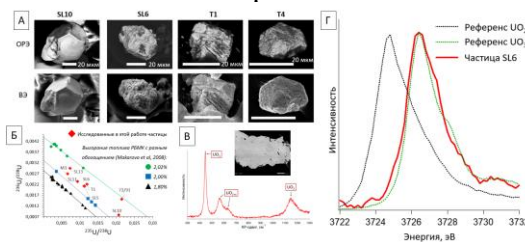
*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
 Химический факультет, кафедра Радиохимии, Москва, Россия  
 E-mail: poliakova.radiochem@mail.ru*

«Горячие» частицы – дискретные высокорadioактивные микрочастицы, приводящие к неоднородному распределению радионуклидов в среде. Скорость их разрушения зависит не только от условий их нахождения в условиях окружающей среды, но и от условий образования. Источниками «горячих» частиц являются испытания ядерного оружия, добыча урана, использования боеприпасов с обедненным ураном и аварии на предприятиях ядерного топливного цикла.

Частицы имеют размер от нескольких десятков нанометров до нескольких десятков микрометров. Их активность позволяет проводить поиск частиц с использованием метода цифровой авторадииграфии. «Горячую» частицу выделяют в малый объем пробы и наносят пробу на клейкую подложку для дальнейшего поиска частицы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). С использованием режима вторичных электронов (ВЭ) в СЭМ устанавливают морфологию частицы (рис. 1А), а метод энергодисперсионного анализа позволяет оценить ее элементный состав. По результатам визуализации частицу достаточно большого размера – более 5 мкм в диаметре, выделяют на вольфрамовую иглу, встроенную в микроманипулятор в корпусе электронного микроскопа.

После локализации «горячей» частицы методом масс-спектрометрии вторичных ионов определяют соотношение различных изотопов (рис. 1В), в том числе, урана и плутония. Спектроскопия комбинационного рассеяния (рис. 1В) и спектроскопия рентгеновского поглощения (рис. 1Г) позволят определить степень окисления урана в частицах.

Комплекс неразрушающих методов характеристики отдельных микрочастиц, применяемый в данной работе, может быть использован как для целей радиозащиты, так и для ядерной криминалистики и дозиметрии.



**Рисунок 1.** Этапы диагностики «горячих» частиц: СЭМ-изображения (А), спектр комбинационного рассеяния (Б), значения изотопных соотношений урана (В), XANES спектры (Г).

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант номер 23-73-30006*

### Литература

1. Poliakova T. R., Weiss, M., Trigub, A. L., Yapaskurt V. O., Zheltonozhskaya M. V., Vlasova I. E., Walther C., Kalmykov S. N. Chernobyl fuel microparticles: uranium oxidation state and isotope ratio by HERFD-XANES and SIMS // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2024. V. 333, P. 1-10.
2. Poliakova T. R., Vlasova I. E., Kalmykov S. N. Imaging plate radiography for non-destructive determination of the radioactivity fraction in “hot” particles // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2024. V. 1065. P. 169555.



## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ЛЕТУЧИХ СЕРАОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ВОЗДУХА

*Абдрахманова Э.Ф.<sup>1</sup>, Хатмуллина Р.М.<sup>2</sup>, Галактионова Е.Б.<sup>1</sup>, Сафарова В.И.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Государственное бюджетное учреждение Республики Башкортостан*

*Управление государственного аналитического контроля (ГБУРБУГАК)*

*450104 Россия, Уфа, ул. Российской, 21*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Уфимский нефтяной технический университет*

*450062 Россия, Уфа, ул. Космонавтов, дом 1*

Проблема определения микроколичеств летучих органических соединений (ЛОС) в атмосферном воздухе остается весьма актуальной. Особое внимание уделяется серосодержащим ЛОС, источниками которых является углеводородное сырье.

В настоящее время применяется ряд различных хроматографических, спектральных, электрохимических и хромато-масс-спектрометрических методов анализа ЛОС. Следует отметить, что при исследовании воздушной среды особенно важную роль занимает стадия отбора проб, которая является одним из определяющих критериев достоверности получаемых результатов. Для пробоотбора применяется метод аспирирования воздуха через сорбционные ловушки, заполненные различными типами сорбентов с хорошо развитой поверхностью (силикагель, тенаксы, активированный уголь, хромсорбы и др.).

Целью данной работы является исследование сорбционного концентрирования серосодержащих ЛОС из атмосферного воздуха с использованием различных типов сорбентов. Объектами исследования являлись пробы атмосферного воздуха, отобранные на месте разлива газового конденсата.

Отбор проб воздуха осуществляли с использованием аспиратора Хроматэк ПВ-2 (Россия). Для концентрирования использовали стеклянные и металлические сорбционные трубки с двухслойным наполнителем (Carbograph TD-1 и Carboxen) и с трехслойным наполнителем (CarbographTD-1, Carboxen и TenaxTA).

Определение ЛОС проводили на газовом хроматографе Shimadzu GCMS-QP2010 Plus (Япония). Исследования проводили в режиме ионизации электронным ударом. Режим регистрации – сканирование по полному ионному току в диапазоне массовых чисел  $m/z$  34-280. Идентификацию аналитов проводили по параметрам удерживания и на основании сравнения масс-спектров хроматографических пиков с масс-спектрами электронной базы данных NIST. Для термодесорбции использовали двухстадийный термодесорбер Unity-2 (Markes International).

Установлено, что применение стеклянных материалов для сорбционных ловушек предпочтительнее, так как стекло обладает большей химической инертностью. Также можно визуально проконтролировать состояние сорбента. Недостатком является хрупкость материала.

Применение многослойных сорбентов (трехслойной трубки) обеспечивает более эффективное концентрирование серосодержащих ЛОС, что подтверждается более высокой интенсивностью хроматографических пиков при прочих равных условиях.

В пробах атмосферного воздуха, отобранных на месте разлива газового конденсата, обнаружены метилэтилсульфид, изопропилметилсульфид, диэтилсульфид, метилпропилсульфид, диметилсульфид и другие соединения.



## КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ ТЕСТ-СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛОКУЛЯНТА ПОЛИДАДМАХ В ВОДЕ

*Антонова А.Н., Кочеткова М.А., Тимофеева И.И., Шишов А.Ю., Булатов А.В.*

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [alyonaant16@gmail.com](mailto:alyonaant16@gmail.com)*

В настоящее время важной задачей является контроль качества очищенной воды, которая отводится в природные водоёмы. Процесс очистки сточной воды включает использование флокулянтов и коагулянтов, необходимых для удаления нерастворимых взвешенных примесей [1]. Часто используемым реагентом является катионный полиэлектролит полидиаллилдиметиламмоний хлорид (полиДАДМАХ). В результате неполного осаждения на фильтрах или использования его в количествах, превышающих рекомендации, полиДАДМАХ может оставаться в очищенной воде и негативно воздействовать на водные организмы. Кроме того, под действием хлорсодержащих веществ возможно образование нитрозаминов, являющихся канцерогенами [2]. Существующие способы определения полиДАДМАХ в воде не позволяют установить концентрацию аналита на уровне ПДК, который составляет 0.1 мг/л [3], а также требуют применения дорогостоящего оборудования. Таким образом, разработка простого способа с низким пределом обнаружения и низкой стоимостью для определения полиДАДМАХ в водных объектах является актуальной задачей.

В настоящей работе был предложен тест-способ колориметрического определения полиДАДМАХ в пробах воды. Данный способ предполагает образование ионного ассоциата между катионным полиэлектролитом и анионным красителем и последующее детектирование уменьшения интенсивности окраски с использованием камеры смартфона. Для уменьшения предела обнаружения и повышения чувствительности способа проводится экстракция непрореагировавшего красителя в глубокий эвтектический растворитель. Разработанный способ был апробирован на различных образцах воды.

*Проект выполнен при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета, код проекта 115679504.*

### Литература

1. Mwangi I.W. et al. Preconcentration and spectrophotometric determination of polyDADMAC in treated water by in situ co-precipitation with naphthalene // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2014. Vol. 72–75. P. 54–60.
2. Manickum T. Occurrence, Fate and Preliminary Environmental Risk Assessment of Residual Poly-Diallyldimethyl Ammonium Chloride, and Some Disinfection By-Products, in Treated (Potable), and Environmental, Waters in the Umgeni Water Catchment in Kwazulu-Natal (South Africa) // SM Journal of Public Health and Epidemiology. 2017. Vol. 3. P. 1043–1050.
3. Методические указания 2.1.4.1060-01 Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием синтетических полиэлектролитов в практике питьевого водоснабжения.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОД ДЛЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

*Баронин М.Е.<sup>1,2</sup>, Слепченко Г.Б.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ОАО «Красноярский завод цветных металлов им. В.Н. Гулидова»,  
 Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
 Томск, Россия

E-mail: [me.baronin@gmail.com](mailto:me.baronin@gmail.com)

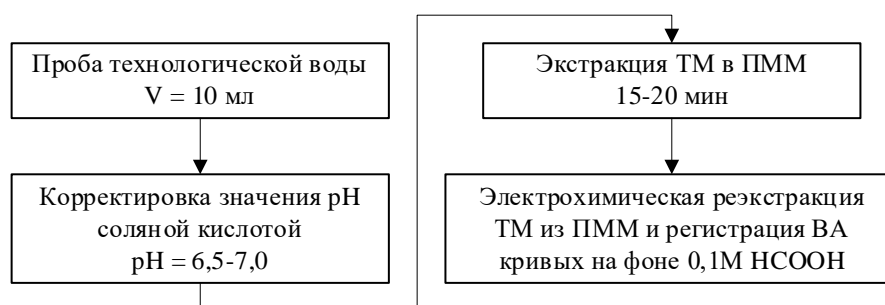
Ключевой стратегией современных промышленных предприятий является автоматизация технологических процессов, для чего требуются экспрессные и экономичные аналитические методы, способные обеспечить необходимую чувствительность и селективность при работе в режиме реального времени. Таким требованиям в полной мере удовлетворяют методы вольтамперометрии и, в частности, инверсионной вольтамперометрии (ИВА) в различных ее вариантах.

Проведению вольтамперометрического (ВА) измерения концентрации металлов и неорганических элементов предшествует этап пробоподготовки, существенно зависящий от состава матрицы анализируемого образца, и, как правило, лимитирующий скорость выполнения анализа.

Полиметакрилатные матрицы (ПММ) получили широкое применение в оптических методах анализа для концентрирования анализируемых веществ, однако в электроанализе ПММ ранее не применялись. Матрицы представляют собой полимерный материал на основе полиметилметакрилата в виде прозрачных пластин толщиной  $0.60 \pm 0.05$  мм и размером  $6.0 \times 8.0$  мм.

Целью данной работы являлось исследование возможности интенсификации пробоподготовки для вольтамперометрического определения ряда тяжелых металлов (ТМ = Zn, Cd, Pb, Cu) в технологических средах.

Авторами проведены лабораторные исследования для установления оптимальных условий экстракции аналитов в ПММ: pH среды, время контакта, соотношение Т:Ж, катионно-анионный состав. Эксперименты проводились с использованием вольтамперометрического анализатора TA-Lab (ООО «НПП «Томьаналит», г. Томск), а все измерения проводились по известной методике. Разработанная схема анализа технологических вод представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Анализ технологических вод при определении ТМ методом ВА.

В результате степень извлечения из объекта – технологической воды составила 95–98%. Преимущества использования ПММ: 1) сокращение времени пробоподготовки; 2) не требуется применение химических реактивов для проведения мокрого озоления и вспомогательного оборудования – устройств для нагревания; 3) минимизация или практически полное устранение матричных эффектов, связанных с негативным влиянием органических веществ на аналитический сигнал.



## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ХЕМОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ РОЛИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПОСТУПЛЕНИИ МИКРОПЛАСТИКА ИЗ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА В БЕЛОЕ И БАРЕНЦЕВО МОРЯ

*Белесов А.В., Молоткова Е.Ю., Покрышкин С.А., Кожевников А.Ю.*

*Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,*

*Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика»,*

*Архангельск, Россия*

*E-mail: [a.belesov@narfu.ru](mailto:a.belesov@narfu.ru)*

Микропластик может накапливаться в донных отложениях после деградации в водных экосистемах, вызывая ряд пагубных последствий. К ним относятся накопление и перенос химических загрязнителей [1] и возможная биоаккумуляция микропластика, как это наблюдается для других загрязнителей [2].

В рамках представленной работы с использованием методов хемометрического анализа (кластерный анализ и метод главных компонент) было установлено, что донные отложения реки Северная Двина играют важнейшую роль в экологической динамике загрязнения микропластиком Арктического региона. Так, донные отложения района разветвления способны улавливать более 30 % микропластика, ежегодно загрязняющего городскую территорию. В процессе переноса микропластика из городской агломерации в район разветвления реки частицы подвергаются деструкции за счет истирания, что приводит к удвоению количества частиц до максимального значения 650 частиц/кг при снижении их концентрации до 130 мг/кг. В районе разветвления реки скапливаются более концентрированные частицы ABS-пластика (до 30%). Это повышает класс опасности микропластикового загрязнения до IV уровня. Класс опасности загрязнения микропластиком повышается из-за обилия частиц размером менее 0,3 мм с шероховатой поверхностью и трещинами, которые способны переносить другие загрязняющие вещества. Кроме того, интенсивное перемешивание донных отложений реки Северная Двина приводит к значительным годовым колебаниям загрязнения микропластиком и способствует постепенному переносу загрязнения микропластиком из донных отложений реки Северная Двина в Белое и Баренцево моря.

Основываясь на данных хемометрического анализа можно сделать вывод о том, что район разветвления реки Северная Двина может рассматриваться как одна из «горячих точек» загрязнения микропластиком и играть значительную роль в экологической динамике поступления микропластика в Арктический регион.

*Работа выполнена в рамках государственного задания FSRU-2024-0003 с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.*

### Литература

1. Li, B., Song, J., Guan, M., Chen, Z., Tang, B., Long, Y., Mao, R., Zhao, J., Xu, W., Zhang, Y. With spatial distribution, risk evaluation of heavy metals and microplastics to emphasize the composite mechanism in hyporheic sediments of Beiluo River // Journal of Hazardous Materials. 2024. Vol. 462. P. 132784.
2. Aydın, H., Tepe, Y., Ustaoglu, F. A holistic approach to the eco-geochemical risk assessment of trace elements in the estuarine sediments of the Southeastern Black Sea // Marine Pollution Bulletin. 2023. Vol. 189. P. 114732.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНОГО ОБЪЕКТА НЕФТЮ – АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЮРИДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

*Бородин А.В.<sup>1</sup>, Еришов Т.Д.<sup>2</sup>, Ларичкин М.П.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ООО «Инфраспек», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН Институт аналитического приборостроения Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>ООО «ЦФТИ «Аналитик», Санкт-Петербург, Россия

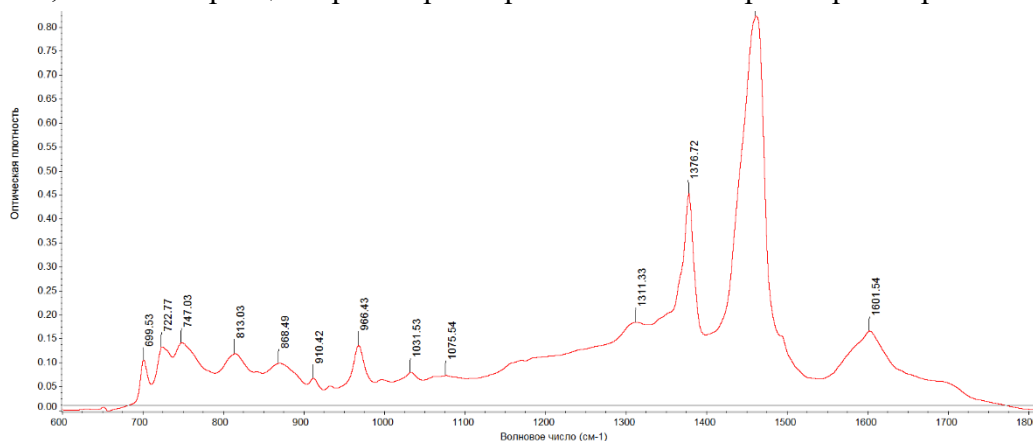
E-mail: [aleks.borodin.spb@yandex.ru](mailto:aleks.borodin.spb@yandex.ru)

При разливе нефти для идентификации источника загрязнения применяются разные аналитические методы: инфракрасная (ИК) или флуоресцентная спектроскопия, газовая и жидкостная хроматография, хромато-масс-спектрометрия (ГХ-МС) [1]. Методы молекулярной спектроскопии используются на первом этапе с исключением проб потенциальных источников из дальнейшей процедуры идентификации. ГХ-МС рекомендуется применять в случае сильного выветривания нефти и нефтепродуктов. Достоверность идентификации при использовании комплекса методов может достигать 0,99 и выше.

В России, несмотря на дату разработки, действующим нормативным документом для идентификации источника загрязнения водного объекта нефтью являются Инструкция Минприроды [2], утвержденная в 1994 г.

В докладе на практических примерах приведены современные возможности метода ИК Фурье-спектрометрии для идентификации источника загрязнения, включая различные способы регистрации спектров и их математической обработки с использованием стандартного приборного программного обеспечения. Не исключая способ визуального распознавания образов экспертом, компьютерная обработка спектральных данных, включая определение степени соответствия корреляционными методами, позволяет уменьшить вероятность получения ложноотрицательного или ложноположительного результатов при идентификации источника загрязнения.

На рисунке 1 приведен ИК спектр дорожного битума с коррекцией базовой линии и разметкой пиков. Техника эксперимента – формирование капиллярного слоя (пленки) на окне KBr, после экстракции пробы трихлорэтиленом и испарения растворителя.



**Рисунок 1.** ИК спектр дорожного битума, разметка пиков полос поглощения, используемых для идентификации источника загрязнения.

### Литература

1. Standard Practice for Identification of Waterborne Oils. ASTM Book of Standards: Water and Environmental Technology: Water (II). 2017. Vol. 11.02. ASTM D3415-98.
2. Инструкция по идентификации источника загрязнения водного объекта нефтью: Приказ Минприроды России от 2 августа 1994 г. № 241. [Доступ из справ.-правовой системы Гарант. Текст: электронный.]

## КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В НЕСКОЛЬКИХ ТОЧКАХ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Васильева Д.Е.<sup>1,2</sup>, Наговицына Е.С.<sup>1,2</sup>, Гадельшин В.М.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

<sup>2</sup>*Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия*

*E-mail: [daria\\_v00@mail.ru](mailto:daria_v00@mail.ru)*

Для получения информации об уровне аэрозольного загрязнения в точке пространства, в которой не проводятся прямые измерения или которая для них недоступна, лаборатория эколого-климатических проблем Арктики ИПЭ УрО РАН (г. Екатеринбург) разрабатывает собственный метод физико-математического моделирования средних полей концентрации загрязняющих веществ в воздухе – метод флюид-локации атмосферы (ФЛА) [1]. В качестве исходных данных используются результаты долгосрочных измерений в одном или нескольких пунктах непрерывных наблюдений, а также информация об обратных траекториях движения воздушных потоков, приходящих в эти пункты. Согласно продвигаемой лабораторией концепции системы мониторинга атмосферных примесей, новые пункты измерений должны располагаться таким образом, чтобы задаваемые ими зоны моделирования, т. е. области пространства, в которых плотность числа обратных траекторий достаточно велика для выполнения содержательного анализа результатов, пересекались вплоть до попадания отдельных пунктов в зону других. Как следствие, возникает возможность проведения кросс-валидации результатов численного расчёта концентрации аэрозольных примесей или их верификации по данным прямых измерений.

Мониторинг состояния атмосферы Арктического региона и прилегающих территорий является одной из основных задач лаборатории. Для наблюдения за содержанием аэрозоля PM<sub>2.5</sub> в атмосфере Северного и Среднего Урала с 2016 года развёрнуты пункты непрерывного мониторинга на площадке Коуровской астрономической обсерватории (КАО) УрФУ и на внутренней территории Института промышленной экологии (ИПЭ) УрО РАН [2]. В 2024 году начаты измерения на территории Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики (ФИЦКИА) УрО РАН (г. Архангельск).

В докладе представлена концепция системы мониторинга атмосферных примесей по данным прямых измерений в нескольких точках. Приведено сравнение результатов численного расчёта средних полей концентрации аэрозоля PM<sub>2.5</sub> методом ФЛА, построенных по имеющимся данным параллельных измерений в пунктах мониторинга ИПЭ, КАО и ФИЦКИА, с последующим анализом соответствия результатов моделирования между собой.

*Исследование выполнено за счет субсидий Минобрнауки РФ на выполнение научной темы FUMN-2024-0004.*

### Литература

1. Поддубный В.А., Дубинкина Е.С. Задача о пассивной локации атмосферы ветровыми потоками для оценки полей концентрации и определения источников примеси // Оптика атмосф. и океана. 2017. Т. 30, № 10. С. 862–870.
2. Васильева Д.Е. и др. Комплекс измерения концентрации PM<sub>2.5</sub> и метеопараметров для многоточечной сети аэрозольного наблюдения в Екатеринбурге // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т. 36, № 6(413). С. 494–501.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФОРМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ, ПИТЬЕВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

*Вельямидова А.В., Колпакова Е.С.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук,  
Архангельск, Россия  
E-mail: [allavel@yandex.ru](mailto:allavel@yandex.ru)*

Хлороформ – летучее органическое соединение, относящееся к классу галогеналканов. Небольшая часть (9,5 %) его эмиссии в окружающую среду приходится на антропогенные источники; наиболее значимым считается целлюлозно-бумажная промышленность, где образование хлороформа происходит преимущественно на ступенях отбелики целлюлозы с использованием молекулярного хлора и гипохлорита натрия. Хлороформ является основным компонентом группы летучих соединений и входит в перечень приоритетных показателей качества сточных вод предприятий ЦБП. Хлороформ образуется также в процессе дезинфекции питьевой воды при окислении органических соединений хлорсодержащими дезинфектантами. Основная же часть хлороформа поступает в окружающую среду от источников природного происхождения [1]. Крупнейшим природным источником являются океанические/морские воды: присутствие хлороформа связывают с поступлением из литосферы, процессами ферментативного биосинтеза растительностью и живыми организмами, а также образованием в результате химических процессов в тропосфере.

Хлороформ входит в перечень загрязняющих веществ (водных объектов), в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 20.10.2023 № 2909-р (ред. от 05.06.2024 г.). ПДК хлороформа в воде нормируется Приказом Минсельхоза РФ от 13.12.2016 № 552.

В ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН для контроля качества и исследования питьевых, природных и сточных вод используется аттестованная методика ФР.1.31.2021.40831: «Методика измерений массовой концентрации хлороформа в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газовой хроматографии» (Свидетельство о метрологической аттестации № 88-16207-041-RA.RU.310657-2021 от 26.07.2021), разработанная на основе ISO 10301.

Метод основан на предварительном экстракционном концентрировании хлороформа из пробы исследуемой воды органическим растворителем (гексаном) с последующим количественным определением капиллярной газовой хроматографией с электронозахватным детектированием («Кристалл 5000.1, СКБ «Хроматэк», Россия). Идентификация целевого соединения проводится по времени удерживания, а количественное определение – методом абсолютной калибровки с использованием государственного стандартного образца состава хлороформа. Условия газохроматографического анализа: температура колонки – 40°C, температура детектора – 200°C, температура испарителя – 180°C, расход газа-носителя (азота особой чистоты) через колонку – 2 см<sup>3</sup>/мин, объем вводимой в испаритель пробы – 1 мм<sup>3</sup>.

### Литература

1. Gribble G.W. Naturally Occurring Organohalogen Compounds – A Comprehensive // Naturally Occurring Organohalogen Compounds. 2023. P. 1-546.

**НОВЫЙ СПОСОБ ЖИДКОСТНО-ЖИДКОСТНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ НА  
ОСНОВЕ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ПОСЛЕДНЕГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ  
УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИРОДНОЙ ВОДЕ**

**Веселова Д.С., Барбаянов К.А., Тимофеева И.И., Булатов А.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [st106779@student.spbu.ru](mailto:st106779@student.spbu.ru)*

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют собой обширный класс органических соединений, состоящих из двух или более конденсированных бензольных колец [1]. Данные вещества образуются в результате различных высокотемпературных природных процессов, а также из-за антропогенных факторов, таких как транспортные выхлопы, работа промышленных предприятий. ПАУ относятся к экотоксикантам и проявляют высокие мутагенные и канцерогенные свойства, провоцируя изменение органов и тканей, мутации клеток, что повышает риск развития онкологических заболеваний [2]. ПАУ способны накапливаться также в природных объектах, в частности в природных водах, что делает их опасными для здоровья живых организмов [3], поэтому их содержание в различных источниках строго регламентируется. Таким образом, в настоящее время регулирование содержания ПАУ в природных водах является актуальной аналитической задачей.

Сложность определения ПАУ заключается в том, что многие из них содержатся в природных водах на микроуровне, что обуславливает необходимость предварительного концентрирования аналитов на этапе пробоподготовки. Одним из используемых для этого методов является жидкостно-жидкостная микроэкстракция, обладающая рядом преимуществ, таких как простота осуществления, дешевизна, экспрессность. Кроме того, в качестве экстрагентов возможно использование растворителей последнего поколения (ионные жидкости, эвтектические или супрамолекулярные растворители), что повышает экологичность метода. В последнее время широкое распространение получили эвтектические растворители на основе природных соединений растительного происхождения (тимол, ментол, камфора) ввиду легкости приготовления и широкого ряда варьруемых свойств.

В настоящей работе предложен способ определения ПАУ, включающий микроэкстракционное извлечение аналитов из образцов природной воды в экстрагент на основе камфоры и цитраля с последующим анализом полученного экстракта методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием.

*Данный проект выполнен при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-23-00052, <https://rscf.ru/project/24-23-00052/>).*

**Литература**

1. EFSA. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food, Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain // The EFSA J. 2008. Vol. 724. P. 1–114.
2. Plotnikova O.A., Melnikov G.V., Tikhomirova E.I. Polycyclic aromatic hydrocarbons: characteristics, sources, standardization, spectroscopic determination methods // Theoretical and Applied Ecology. 2021. № 4. P. 12–19.
3. Чугаева А.И., Лисицкая И.Г. Современные методы экоаналитического контроля содержания полиароматических углеводородов // Вологдинские чтения. 2008. Т. S. С. 178–180.

# КОНТРОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, АДсорбированных ИЗ ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, МЕТОДОМ ОКСИТЕРМОГРАФИИ

**М.Ю. Воробьёва<sup>1,2,3</sup>, Б.К. Зуев<sup>1,3</sup>, Д.В. Философов<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, 119991, г. Москва, ул. Косыгина д.19, Россия

<sup>2</sup> Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри д.6, Россия

<sup>3</sup> Федеральное образовательное учреждение высшего образования Московской области Международный университет природы, общества и человека “Дубна”, 141982, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская д.19, Россия  
 E-mail: [ymu.chemist@mail.ru](mailto:ymu.chemist@mail.ru)

Загрязнение органическими соединениями воздуха не только вне, но и внутри помещений могут представлять серьёзные проблемы для исследований, где требуются «стерильные» условия с минимальным присутствием органических веществ на поверхности используемых материалов. Наличие таких загрязнений может отрицательно сказаться на точности экспериментальных результатов и качестве получаемых изделий. В настоящее время насчитывается более сотни различных методов анализа поверхности [1]. Как правило, эти методы локальны, большинство из них требуют вакуумирование образца, что приводит к существенному отличию от поверхностной концентрации органических веществ на воздухе. Для решения этой проблемы нами предложен подход, основанный на окситермографическом [2] определении органического вещества на поверхности исследуемого материала после нахождения материала на воздухе помещения в течение фиксированного времени.

Апробация метода проходила в лабораторных помещениях двух различных организаций. Определяли суммарное содержание органических веществ, извлекаемых на поверхности платины, палладия и кварца, после нахождения образцов на воздухе помещений от 10 мин до 34 дней. Выявлены различия в адсорбции в зависимости от состава материала поверхности, а также класса чистоты помещений, в которых проводится анализ. Метод позволяет проводить исследования без транспортировки образцов в другие помещения.

**Таблица 1.** Содержание (мкг/см<sup>2</sup>) адсорбированного углерода на поверхности твёрдых тел в аудитории Университета “Дубна” и Объединенного института ядерных исследований (*курсив*), полученное методом окситермографии.

| Образец  | Время адсорбции |      |      |        |       |       |         |         |         |         |
|----------|-----------------|------|------|--------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
|          | 10 мин          | 1 ч  | 3 ч  | 1 день | 2 сут | 3 сут | 5 сут   | 7 сут   | 14 сут  | 34 дня  |
| Кварц    | <ПО             | <ПО  | <ПО  | <ПО    | <ПО   | <ПО   | 0.4±0.1 | 0.4±0.1 | 0.4±0.1 | 0.4±0.1 |
| Платина  | <ПО             | 19±2 | 20±2 | 55±8   | 79±9  | 100±9 |         | 272±14  | 516±16  | 517±17  |
|          | <ПО             | <ПО  | <ПО  | <ПО    | <ПО   | <ПО   |         | 14±1    | 35±3    | 78±8    |
| Палладий | <ПО             | <ПО  | <ПО  | <ПО    | <ПО   | <ПО   | 9±1     | 13±2    | 28±3    | 80±7    |
|          | <ПО             | <ПО  | <ПО  | <ПО    | <ПО   | <ПО   |         | <ПО     | <ПО     | 24±3    |

\*ПО – предел обнаружения.

## Литература

- Вудраф Д. Современные методы исследования поверхности. М.: Мир. 1989. С. 564.
- Зуев Б.К. Способ окситермографии. Патент РФ № 2411509. Заявка № 2010101137 от 15.01.2010, опубл. 10.02.2011.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ И ФОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Воронич С.С., Роева Н.Н., Зайцев Д.А., Хлопаев А.Г.*

*Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),*

*Москва, Россия*

*E-mail: [s-v80@mail.ru](mailto:s-v80@mail.ru)*

Известно, что атмосфера является накопителем загрязняющих веществ (далее – ЗВ), поступающих в неё за счет антропогенных и природных источников. Для прогнозирования дальнего и трансграничного переноса ЗВ целесообразным представляется применения математического моделирования.

Целью доклада являлось выявления зон интенсивного загрязнения воздуха на урбанизированных и фоновых территориях России (Московская. Тульская. Рязанская, Челябинская, Воронежская области) в результате антропогенного воздействия действующих предприятий этих регионов методами математического моделирования с помощью программного комплекса «Призма».

Базовой основой для моделирования являлся банк данных, содержащий информацию об объёмах, месте и времени выбросов.

Проведена инвентаризация источников вредных выбросов в атмосферу. Для этого были использованы данные, полученные методами дистанционного зондирования с применением с различных приборов многозональных сканирующих устройств, спектрометров, лидаров, радиометров и др., позволяющих нам получить информацию о биофизических параметрах атмосферы (оптической толщине, альбедо химический состав, концентрация примесей, пространственно-временное распределение и т.д.).

Проведено определение среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с применением методов жидкостной хроматографии, квазилинейчатых спектров люминесценции с использованием добавок и атомно-абсорбционного анализа.

Для прогнозирования загрязнения в атмосферном воздухе на исследуемых территориях использована модель, предусматривающая оценку потенциального риска канцерогенного воздействия ЗВ на людей и позволяющая потенциально оценить тенденцию его увеличение, в основе которой были заложены такие параметры как среднесуточная в течение года токсикация токсического вещества в зоне воздействия: среднесуточная в течение года экспозиция воздействия: токсического вещества в зоне среднесуточная предельно допустимая концентрация вещества (нормативный показатель), среднесуточная экспозиция вещества, не вызывающая неблагоприятных эффектов на протяжении жизни, экспонента, моделирующая усредненный показатель дополнительного риска от токсического воздействия вещества в динамике возрастания его концентрации. коэффициент, учитывающий особенности динамики токсического действия загрязняющего вещества.

Проведена оценка потенциального не канцерогенного риска воздействия ЗВ на население обследуемых территорий с учетом таких показателей как площадь объекта в пределах данной зоны загрязнения, плотности населения на единице площади объекта в пределах данной зоны загрязнений и индивидуального ингаляционного не канцерогенного риска хронического токсического действия вещества.

## СКРИНИНГ 35 АНТИБИОТИКОВ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ В СТОЧНОЙ ВОДЕ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ – ТАНДЕМНОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

*Воронов И.С., Фалёв Д.И., Ульяновский Н.В., Косяков Д.С.*

*Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северный*

*(Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова*

*Набережная Северной Двины, д. 17, 163002, г. Архангельск, Россия*

*E-mail: [i.voronov@narfu.ru](mailto:i.voronov@narfu.ru)*

Поступление антибиотиков в природные объекты уже несколько десятилетий привлекает большое внимание исследователей. Современные технологии очистки стоков не позволяют полностью разрушать такие соединения, что обуславливает их поступление в природные водоемы со сбрасываемой сточной водой после очистных сооружений. Присутствие фармацевтических препаратов в природных объектах несет вред экологической среде, а широкое использование противомикробных препаратов в медицине и животноводстве и попадание их в природные объекты увеличили развитие устойчивости у бактерий к антибиотикам [1]. Особенно актуальной эта проблема является для Арктического региона, вследствие низкой устойчивости природных экосистем к различным антропогенным вмешательствам.

На данный момент список фармацевтических препаратов и антибиотиков, которые используются в медицине и ветеринарии, насчитывает огромное количество наименований, и каждый из препаратов заслуживает пристального внимания. Поэтому целью данного исследования была разработка нового подхода к скринингу широкого круга антибиотиков, принадлежащих к различным группам, таким как макролиды, пенициллины, цефалоспорины, хинолоны, сульфонамиды, тетрациклины, а также других лекарств в сточной воде. Наиболее перспективным методом является высокоэффективная жидкостная хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС/МС). Для извлечения аналитов из сточной воды была оптимизирована методика твердофазной экстракции (ТФЭ) [2]. Наиболее оптимальным рН для экстракции фармацевтических препаратов было значение 4. Степень извлечения аналитов составила от 30 до 97%.

Разработанный подход был применен для определения выбранных аналитов образцах сточной воды, отобранной на муниципальных очистных сооружениях г. Архангельска. В образцах сточной воды были обнаружены 25 соединений из 35 исследуемых. Содержание лекарств в сточных водах составило от 0,2 нг/л до 1600 нг/л. Концентрации некоторых антибиотиков превысили безопасные уровни, сигнализирующие об опасности развития у бактерий резистентных генов.

*Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» САФУ имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект госзадания FSRU-2024-0003).*

### Литература

1. Bajkacz S., Felis E., Kycia-Słocka E., Harnisz M., Korzeniewska E. Development of a new SLE-SPE-HPLC-MS/MS method for the determination of selected antibiotics and their transformation products in anthropogenically altered solid environmental matrices // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 726. 138071.
2. Voronov I.S., Falev D.I., Ul'yanovskii N.V., Kosyakov D.S., Suspect Screening and Semi-Quantification of Macrolide Antibiotics in Municipal Wastewater by High-Performance Liquid Chromatography—Precursor Ion Scan Tandem Mass Spectrometry // Chemosensors. 2023. Vol. 11(1). 44.

**МНОГОКОМПОНЕНТНОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ОСТАТКОВ 55 ВETERЕНАРНЫХ  
ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РЕЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ  
МАГНИТНОЙ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРАКЦИИ С ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ  
МАГНИТНОГО СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ**

**Гончаров Н.О.<sup>1</sup>, Толмачева В.В.<sup>1,2</sup>, Мелехин А.О.<sup>2</sup>, Бирюкова М.А.<sup>1</sup>, Аняри В.В.<sup>1</sup>,  
Дмитриенко С.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический  
факультет, Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральный центр охраны здоровья животных, Владимир, Россия  
E-mail: [nikita.goncharov@chemistry.msu.ru](mailto:nikita.goncharov@chemistry.msu.ru)

Лекарственные вещества и, в частности, антибиотики широко используют во многих странах как для лечения и профилактики заболеваний у животных, так и в качестве кормовых добавок для стимуляции их роста [1]. Со сточными водами фармпредприятий и ферм эти вещества попадают в природные воды, оказывая негативное воздействие на экосистемы. Для успешного мониторинга и понимания судьбы антибиотиков в окружающей среде необходим поиск новых эффективных способов их выделения и концентрирования.

В качестве современного способа пробоподготовки для многокомпонентного выделения остатков 55 ветеринарных лекарственных веществ (12 сульфаниламидов, триметоприма, 4 амфениколов, 9 нитрозоимидазолов, 9  $\beta$ -лактамов, 6 хинолонов, 9 макролидов, 3 линкозамидов и 2 плевомутилинов) из речных вод перед их ВЭЖХ-МС/МС определением впервые применили вариант магнитной твердофазной экстракции с диспергированием магнитного сорбента углекислым газом. В качестве сорбента использовали магнитный сверхсшитый полистирол. Его спрессовывали в таблетку вместе с гидрокарбонатом натрия, лимонной кислотой и ЭДТА. Интенсивное выделение углекислого газа при её растворении позволяло обойтись без использования перемешивающих устройств, образующийся буферный раствор обеспечивал подходящий pH, а магнитные свойства сорбента давали возможность отделить его без применения центрифугирования и фильтрации, в результате чего процедура пробоподготовки (твердофазной экстракции) занимала менее 3 мин.

Способ обеспечивал относительные степени извлечения от 79 до 122 % и хорошую воспроизводимость ( $s_r \leq 0.12$ ). Лекарственные вещества идентифицировали по точным массам ионов аналитов, образующихся при электрораспылительной ионизации с переключением полярности. Матричный эффект для всех лекарственных веществ был ниже 20%. Определение проводили методом матричной градуировки, пределы обнаружения и определения составили 0.012 и 0.04 мкг/л для большинства сульфаниламидов, триметоприма, амфениколов, нитроимидазолов, макролидов, плевомутилинов и линкозамидов и 0.06 и 0.2 мкг/л для  $\beta$ -лактамов и хинолонов, соответственно.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24-23-20004). Исследование выполнено в рамках государственного задания тема № АААА-А21-121011990021-7 и при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».*

#### **Литература**

1. Sarmah A.K., Meyer M.T., Boxall A.B.A. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment // Chemosphere. 2006. Vol. 65. P. 725-759.

## НЕЦЕЛЕВОЙ СКРИНИНГ ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СТОЧНЫХ ВОДАХ МЕТОДАМИ ВЭЖХ С КОМБИНИРОВАННЫМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ ИСП-МС И ИЭР-МСВР

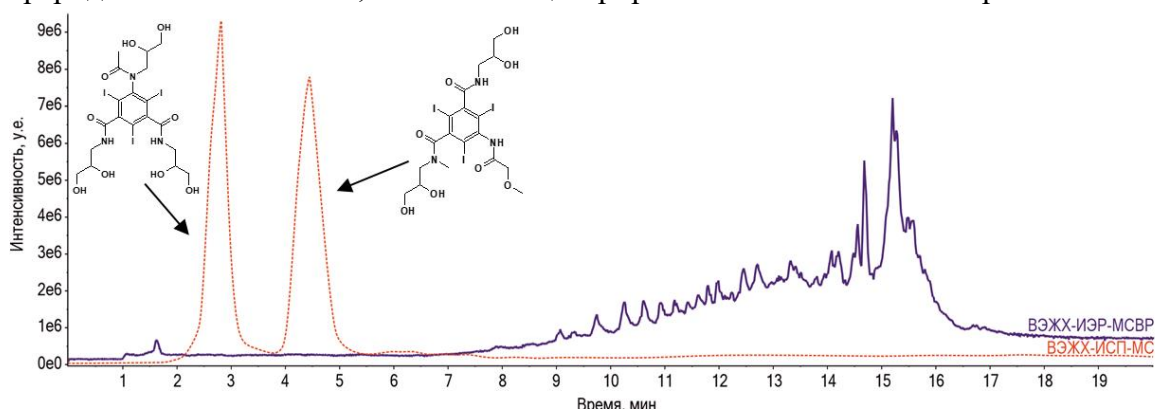
Данилова Э.В., Сыпалов С.А., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

E-mail: [danilovaelya2000@mail.ru](mailto:danilovaelya2000@mail.ru)

Галогенсодержащие органические вещества, попадающие на очистные сооружения канализации города, в ходе технологических процессов могут образовывать побочные продукты дезинфекции (ППД). Среди данных соединений и их ППД наибольший интерес вызывают бром- и иодсодержащие, которые, согласно литературным данным, обладают повышенной токсичностью, по сравнению с хлорсодержащими аналогами. В связи с этим важной задачей является проведение поиска и контроля галогенорганических соединений и побочных продуктов их дезинфекции в сточных водах. Для достижения поставленной цели в данной работе предложен новый подход, основанный на применении метода высокоэффективной жидкостной хроматографии и комбинированного масс-спектрометрического детектирования с индуктивно связанной плазмой (ВЭЖХ-ИСП-МС) и высокого разрешения с ионизацией электрораспылением (ВЭЖХ-ИЭР-МСВР).

В качестве объекта исследования были отобраны образцы сточной воды центральных очистных сооружений канализации города Архангельск на разных этапах очистки. Подготовку образцов проводили методом твердофазной экстракции на картриджах Bond Elut PPL, степень концентрирования составила  $\times 2000$  раз.



**Рисунок 1.** Хроматограммы экстракта сточной воды с этапа первичной очистки полученные методами ВЭЖХ-ИЭР-МСВР и ВЭЖХ-ИСП-МС.

Применение данного сочетания обладает преимуществами для нецелевого поиска галогенсодержащих соединений, благодаря высокой чувствительности и селективному аналитическому отклику ИСП-МС было обнаружено два хроматографических пика соответствующие иодорганическим соединениям. Однако основным недостатком является потеря информации о структуре соединений, поэтому комбинация с методом ИЭР-МСВР позволила провести предварительную идентификацию обнаруженных соединений. Данные аналиты предположительно являются рентгенконтрастными веществами, Иогексол и Иопромид. Градуировку ВЭЖХ-ИСП-МС осуществляли по растворам иодида калия, в результате концентрация иогексола в исследуемых образцах составила от 6,2 мкг/л до 2,1 мкг/л, а иопромида – от 6,8 мкг/л до 3,6 мкг/л.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» САФУ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект госзадания № FSRU–2024–0003).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕСКА НЕФТЕПРОДУКТАМИ МЕТОДОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

*Дженлода Р.Х., Марютина Т.А.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена  
Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И. Вернадского Российской академии наук, Москва, Россия  
E-mail: [dzhenloda@geokhi.ru](mailto:dzhenloda@geokhi.ru)*

Использование метода пиролитической газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ПГХ-МС) позволяет определять состав индивидуальных загрязняющих органических веществ в песках, почвах, грунтах и донных отложениях, в том числе без дополнительной пробоподготовки анализируемых образцов, поскольку идентификация веществ может быть выполнена путем непосредственного ввода пробы в пиролизер хроматографа.

В докладе описывается использование ПГХ-МС для исследования состава загрязнений прибрежного песка Краснодарского края после разлива мазута в Керченском проливе в декабре 2024 года.

Представлены результаты ПГХ-МС исследования как экстрактов углеводородного загрязнения из песка в дихлорметане, так и самого песка (без стадии пробоподготовки). Было показано, что в составе мазута, выделенного из песка, содержатся различные предельные углеводороды  $C_{12}$  -  $C_{44}$ .

На основе полученных масс-спектрометрических данных были идентифицированы органические вещества, качественный состав которых позволил установить состав загрязнений пляжных территорий мазутом.

Проведенные исследования показали, что использованием ПГХ-МС для быстрого анализа большого числа нелетучих органических веществ может дать более полную картину загрязнений объектов окружающей среды. Также данный метод может быть использован для исследования процессов выветривания нефтепродуктов на поверхности песка.

*Работа выполнена по теме государственного задания Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).*



**ПРОТОЧНОЕ ЭКСТРАКЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО НА ОСНОВЕ  
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
ПРОБОПОДГОТОВКИ ВОДНЫХ СРЕД. ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В  
ПРИРОДНЫХ ВОДАХ**

*Должанская Т.Р.<sup>1</sup>, Banerjee T.<sup>2</sup>, Шишов А.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Индийский технологический институт Гувахати, Индия  
E-mail: [st101519@student.spbu.ru](mailto:st101519@student.spbu.ru)

Экологический мониторинг природных вод наиболее эффективен в он-лайн режиме при наименьшем временном интервале от отбора пробы до получения аналитической информации. С этой точки зрения актуальной задачей современной аналитической химии является разработка автоматизированных и роботизированных аналитических устройств для непрерывного химического анализа природных объектов. При этом, с точки зрения массового анализа важным остается минимизации расхода, или полный отказ от использования токсичных органических растворителей на стадии пробоподготовки. В качестве альтернативы в последнее время в аналитической практике используются новый класс экологически безопасных растворителей – глубокие эвтектические растворители.

В данной работе впервые продемонстрированы аналитические возможности нового автоматизированного устройства пробоподготовки с вращающимся диском, модифицированным глубокими эвтектическими растворителем на основе природных соединений (природных терпеноидов). В качестве аналитической задачи была выбрана задача определение содержания полициклических ароматических углеводородов в природных водах.

Полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) называют многочисленную группу органических соединений с двумя или более конденсированными ароматическими кольцами. В связи с ростом промышленной деятельности степень загрязнения объектов окружающей среды ПАУ многократно возрастает. Одним из основных показателей токсичности полициклических ароматических углеводородов является их канцерогенность.

В данной работе предложено новое устройство для он-лайн концентрирования и определения ПАУ в природных водах. Для этого методом 3Д печати была изготовлена проточная ячейка, внутри которой находился инертный вращающийся диск, поверхность которого была модифицирована эвтектическим растворителем. ПАУ удерживались на данном диске при покачивании через устройство пробы воды и после элюирования их концентрация была определена методом ВЭЖХ-ФЛ. В ходе работы были изучены и оптимизированы такие параметры, как топология ячейки, гидродинамические параметры, такие как скорости и объемы пропускания пробы и элюенты, влияние природы материала диска и эвтектического растворителя. В оптимальных условиях были процедура позволяла определять одновременно 10 ПАУ с пределом обнаружения на уровне 1 мкг/л.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта фонда РФ (22-73-10039). Научные исследования частично выполнялись в ресурсном центре «Методы анализа состава вещества» и «Исследование экстремальных состояний материалов и конструкций» СПбГУ.*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ЛОВОЗЕРСКОГО РАЙОНА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Дрогобужская С.В.<sup>1</sup>, Мазухина С.И.<sup>2</sup>, Маслобоев В.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья  
 им. И.В. Тананаева – обособленное подразделение ФИЦ «КНЦ РАН», Россия

<sup>2</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера - обособленное подразделение  
 ФИЦ «КНЦ РАН», Россия

E-mail: [drogosv@yandex.ru](mailto:drogosv@yandex.ru)

В последнее время растет интерес к редкоземельным элементам (РЗЭ). В Ловозерском районе Мурманской области находится месторождение РЗЭ и осуществляется добыча и переработка. Поэтому важным является изучение миграции РЗЭ в природные среды. В местах, обогащенных легкорастворимыми минералами РЗЭ, могут загрязняться подземные и поверхностные воды. Цель данного исследования – определение РЗЭ в природных водах Ловозерского района. Отбор образцов проводили с 2020 по 2024 г, в ручьях, реках, озерах и колодцах пгт. Ревда, села Ловозеро и села Краснощелье. Для определения РЗЭ в природных водах использовали чувствительный метод анализа - масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой (ИСП МС). Измерения проводили на приборе ELAN 9000 DRC-e (Perkin Elmer, США). При определении тяжелых РЗЭ методом ИСП МС учитывали интерференции за счет оксидов легких РЗЭ (математическая коррекция). Концентрации РЗЭ в водах достаточно низкие, поэтому большое внимание уделяли холостому загрязнению. Предел обнаружения элементов и результаты определения в поверхностных и подземных водах приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Концентрации редких и РЗЭ в поверхностных и подземных водах, мкг/л

| Объект анализа             |                | Элемент |        |         |        |       |
|----------------------------|----------------|---------|--------|---------|--------|-------|
|                            |                | Sc      | Y      | РЗЭ     | Th     | U     |
| Предел обнаружения, нг/л   |                | 1,5     | 18     | 0,1-0,8 | 1,4    | 0,8   |
| Сток оз. Ильма             |                | 0,64    | 0,095  | 0,65    | 0,017  | 0,081 |
| р. Шомийок                 |                | 1,42    | 0,11   | 0,66    | 0,017  | 0,064 |
| руч. Лопаритовый           |                | 2,31    | 0,15   | 1,57    | 0,66   | 0,86  |
| Сток с хвостохранилища     |                | 1,6     | 1,9    | 79,5    | 3,6    | 1,7   |
| род. Парковый, пгт. Ревда  |                | 1,45    | 0,11   | 0,23    | 0,01   | 0,065 |
| р. Вирма, с. Ловозеро      |                | 0,48    | 0,15   | 0,85    | 0,022  | 0,012 |
| оз. Ревдозеро              |                | 0,36    | <0,001 | 0,011   | <0,001 | 0,014 |
| оз.Сикир, пгт. Ревда       |                | 0,29    | 0,070  | 0,57    | 0,071  | 0,046 |
| колодец 1                  | с. Краснощелье | 1,38    | 13,7   | 43,6    | 0,059  | 0,019 |
| колодец 2                  |                | 1,54    | 0,32   | 0,53    | 0,003  | 0,001 |
| колодец 3                  |                | 1,34    | 16,0   | 50,2    | 0,012  | 0,011 |
| колодец 4                  |                | 1,38    | 0,95   | 4,2     | 0,006  | 0,007 |
| колодец 5                  |                | 1,38    | 3,98   | 21,3    | 0,135  | 0,091 |
| р. Поной, с. Краснощелье   |                | 2,03    | 0,37   | 1,57    | 0,032  | 0,083 |
| Шумесозеро, с. Краснощелье |                | 0,77    | 0,15   | 0,47    | 0,016  | 0,001 |

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 24-17-00114 «Оценка химического состояния природных и питьевых вод Мурманской области, форм миграции, влияние на элементный статус жителей».*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

*Дядищев М.Е.<sup>1</sup>, Моргачева Н.В.<sup>1</sup>, Зяблов А.Н.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина, Медицинский факультет, Елец, Россия*

<sup>2</sup>*Воронежский государственный университет, Химический факультет, Воронеж, Россия*

*E-mail: [dyadisheff.mischa@yandex.ru](mailto:dyadisheff.mischa@yandex.ru)*

Проблемные вопросы экологии и экологической безопасности продолжают оставаться наиболее насущными проблемами во всем мире. Значительный негативный отпечаток накладывают производственные сточные воды, которые без труда загрязняются деятельностью человека. В настоящее время необходимо создание эффективных систем контроля водных объектов окружающей среды [1].

Главными преимуществами инструментальных методов анализа являются высокие показатели избирательности и низкие пределы обнаружения анализируемого вещества. К недостаткам следует отнести высокую стоимость оборудования и необходимость иметь высококвалифицированный персонал. Разработка и внедрение способов внелабораторного анализа представляет огромный научный и практический интерес. В частности, одними из перспективных являются амперометрические сенсорные системы, обладающие рядом преимуществ, среди которых: экспрессность, компактность, финансовая доступность, минимальная энергозатратность и простота использования.

В данной работе разработан способ определения додецилсульфата натрия в модельных растворах и сточных водах. Методом термопринтинга на фольгированном текстолите созданы планарные двухэлектродные амперометрические сенсоры. Поверхность которых модифицирована молекулярно-импринтированным полимером на основе полиимида [2]. В ходе работы экспериментально установлены метрологические характеристики полученных сенсоров. Диапазон определяемых концентраций составил 0.03 – 0.5 г/дм<sup>3</sup>, предел обнаружения – 0.015 г/дм<sup>3</sup>. Относительное стандартное отклонение не превышает 7%.

В данной работе, на основе модельных растворов и образцах сточных вод, проведена апробация полученных сенсоров. Показана возможность использования их при анализе многокомпонентных жидких сред.

### Литература

1. Шаока З. А. Ч., Большаков Д. С., Амелин В. Г. Использование смартфона в химическом анализе // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78. № 4. С. 317–353
2. Меренкова А.А., Ву Х.И., Гречкина М.В., Зяблов А.Н. Морфология поверхности полимеров с молекулярными отпечатками на основе полиимида // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. Т. 20. № 6. С. 760-764.

# МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «УДОБРЕНИЕ – ПОЧВА – РАСТЕНИЕ»

*Егорова И.В., Панова Л.П., Родионова Н.А., Смирнова В.Н.*  
 Благовещенский государственный педагогический университет,  
 Благовещенск, Россия  
 E-mail: [bgpu.chim.egorova@mail.ru](mailto:bgpu.chim.egorova@mail.ru)

Минеральные удобрения, вносимые в почвы фермерских хозяйств, влияют на подвижность тяжелых металлов (ТМ) и представляют потенциальную опасность загрязнения ими овощной продукции. В связи с этим, актуальным является определение тяжелых металлов в системе «удобрение – почва – растение».

Объекты исследования: почвы крестьянско-фермерского хозяйства (с. Каникурган Благовещенского района Амурской области), вносимые удобрения и выращенная овощная продукция.

Отбор и анализ проб осуществляли согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017, ГОСТ 34668-2020, МУ 08-47/203, ГОСТ 33824-2016 в течение 2021-2024 годов. Исследования проводили в аналитической лаборатории Благовещенского государственного педагогического университета с использованием прибора СТА-1.

**Таблица 1.** Содержание тяжелых металлов в почве и удобрениях.

| Объект                 | Концентрация, мг/кг (Р = 0.95) |             |              |              |
|------------------------|--------------------------------|-------------|--------------|--------------|
|                        | Цинк                           | Кадмий      | Свинец       | Медь         |
| Почва                  | 26.4 ± 3.9                     | 1.11 ± 0.17 | 14.1 ± 2.1   | 8.8 ± 1.3    |
| Фон [1]                | 25                             | 0.9         | 12.5         | 8.5          |
| ОДК (ГН 2.1.7.2511-09) | 220                            | 2.0         | 130          | 132          |
| ПДК (ГН 2.1.7.2041-06) | 23                             | –           | 32           | 3            |
| Суперфосфат            | 25.41 ± 3.81                   | 0.21 ± 0.03 | 12.51 ± 0.88 | 13.22 ± 1.98 |
| Карбамид               | 18.9 ± 2.8                     | 0.22 ± 0.03 | 13.52 ± 2.03 | 23.5 ± 3.5   |

Анализ полученных данных (таблица 1) и значения коэффициента биологического поглощения КБП (> 1) позволяет сделать вывод, что почва накапливает цинк, кадмий и свинец.

**Таблица 2.** Содержание тяжелых металлов в овощах.

| Объект                        | Концентрация, мг/кг (Р = 0.95) |               |             |             |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------|-------------|
|                               | Цинк                           | Кадмий        | Свинец      | Медь        |
| Свекла столовая F1 Пабло      | 0.61 ± 0.09                    | 0.011 ± 0.002 | 0.26 ± 0.04 | 1.11 ± 0.17 |
| Морковь F1 Абасо              | 0.63 ± 0.09                    | 0.011 ± 0.002 | 0.34 ± 0.05 | 1.24 ± 0.19 |
| Картофель Винета              | 0.58 ± 0.09                    | 0.016 ± 0.002 | 0.39 ± 0.06 | 1.22 ± 0.18 |
| Капуста белокочанная F1 Атрия | 0.55 ± 0.08                    | 0.017 ± 0.003 | 0.36 ± 0.05 | 1.26 ± 0.19 |
| ПДК                           | 10                             | 0.03          | 0.5         | 5           |

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что овощная продукция не накапливает цинк, кадмий, свинец и медь.

Таким образом, основной причиной поступления тяжелых металлов в почву является внесение удобрений.

Миграция ТМ в овощную продукцию по системе «удобрение – почва – растение» не осуществляется (КБП < 1).

## Литература

1. Голов В.И. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в пахотных почвах Дальнего Востока // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. №. 4. С. 16–19.



**ДОСТОИНСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО  
ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ИММУНОАНАЛИЗА ХЛОРОФЕНОКСИ  
ГЕРБИЦИДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

**Еремин С.А.<sup>1,2</sup>, Колоколова М.К.<sup>1</sup>, Мухаметова Л.И.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт биохимии им. А.Н. Баха, Федеральный исследовательский центр  
«Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

E-mail: [eremin\\_sergeri@hotmail.com](mailto:eremin_sergeri@hotmail.com)

Хлорфеноксигербициды являются подклассом феноксигербицидов, который включает: МСРА, 2,4-D, 2,4,5-T и мекопроп, большие объемы которых производились с 1950-х годов. Острые токсические эффекты после перорального употребления разнообразны и могут включать: рвоту, боль в животе, диарею, желудочно-кишечное кровотечение с последующей острой комой, гипертонусом, гиперрефлексией, атаксией, нистагмом, миозом, галлюцинациями и судорогами.

2,4-Дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-D) является одним из популярных гербицидов и может быть обнаружена в пище и воде. Быстрый и чувствительный флуоресцентный поляризационный иммуноферментный анализ (FPIA) был предложен для обнаружения 2,4-D в различных образцах [1-4]. Получены и охарактеризованы новые трейсеры, 2,4-D-бутилендиамин флуоресцеинтиокарбамил (2,4-D-BDF) и 2,4-D-глицин аминоксифлуоресцеин (2,4-D-GAF). В качестве реагента распознавания использовались моноклональные антитела (МАб), полученные против 2,4-D. Изучена кинетика взаимодействия МАб и трейсеров, рассчитаны кинетические параметры их связывания. Показана высокая специфичность связывания трейсеров и МАб. В данной работе был разработан подход к снижению предела обнаружения 2,4-D методом ПФИА путем изменения объема исследуемого образца. Оптимизированный ПФИА в конкурентном формате характеризовался ПО 2,4-D 8 и 0,4 нг/мл и рабочими диапазонами 30–3000 нг/мл и 3–300 нг/мл для сока и воды соответственно. Весь цикл испытаний (от получения образца до оценки результатов анализа) занял всего 20 мин. Испытание на извлечение 2,4-D в соке и воде дало значения от 95 до 120%, что продемонстрировало надежность определения гербицида в реальных образцах.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-43-00196.*

**Литература**

1. Еремин С.А., Морева И.Ю., Дзантиев Б.Б., Егоров, А.М., Франек, М. Экспресс-определение гербицида 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты методом поляризационного флуороиммуноанализа с использованием анализатора TDx фирмы "Abbott Laboratories" // Вопросы мед. Химии. 1991. Т. 37. С. 93–95.
2. Hatzidakis G.I., Tsatsakis A.M., Krambovitis E.K., Spyros A., Eremin S.A. Use of L-lysine fluorescence derivatives as tracers to enhance the performance of polarization fluoroimmunoassays. A Study Using Two Herbicides as Model Antigens // Anal. Chem. 2002. V. 74. P. 2513-2521.
3. Бородулева А.Ю., Еремин С.А. Определение 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты в зерне хлебных злаков методом поляризационного флуоресцентного иммуноанализа // Журнал Анал. Химии. 2016. Т. 71. С. 988–994.
4. Mukhametova L.I., Kolokolova M.K., Shevchenko I.A., Tupertsev B.S., Zherdev A.V., Xu C., Eremin S.A. Fluorescence Polarization Immunoassay for Rapid, Sensitive Detection of the Herbicide 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid in Juice and Water Samples // Biosensors. 2025. V. 15. P. 32.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ХРОМА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

*Роева Н.Н., Зайцева И.А., Буздаков Д.Р.*

*Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),  
Москва, Россия*

*E-mail: [zajcevaia@mgupp.ru](mailto:zajcevaia@mgupp.ru)*

Хром с точки зрения экоаналитического контроля включен в список нормируемых химических элементов и, согласно Международной программе по химической безопасности, относится к числу микроэлементов, определяющих гигиенические критерии состояния объектов окружающей среды. Исключением не являются и природные воды. Высокая миграционная способность хрома обусловлена наличием в них химически активных форм этого элемента (элементарного хрома, Cr (II), Cr (III), Cr (IV), наиболее активными из которых являются соединения Cr (III) и Cr (VI).

Учитывая существенные различия в биодоступности и токсичности шестивалентного и трёхвалентного хрома, чрезвычайно важным представляется дифференцированный анализ отдельных форм хрома.

Цель настоящей работы состояла в определении лабильных форм хрома в природных водах Калужской и Московской областей.

Установлено, что в исследуемых природных водах доминирующей химической формой являются соединения Cr (VI), активно участвующие в миграции этого элемента, содержание которых составило от 60 до 90% от общего содержания хрома. Содержание соединений Cr (III) было менее значительным (9-28%). Вклад взвешенных форм хрома в миграционный процесс составил 1-12%.

Разработана схема разделения в природных водах Калужской и Московской областей трёх форм хрома: трёхвалентного, шестивалентного и хрома, связанного со взвешенными частицами.

Отделение хрома, сорбированного взвешенными частицами, осуществлялось фильтрованием проб воды через фильтр «Синяя лента» с последующим сжиганием фильтра и окислением хрома до хромата спеканием осадка с содово-магнезиальной смесью.

Для отделения трёхвалентного хрома от шестивалентного применяли соосаждение трёхвалентного хрома с окисью магния с последующим фильтрованием через беззольный фильтр. Впоследствии трёхвалентный хром окисляли до шестивалентного, определение которого проводили фотометрическим методом с дифенилкарбазидом.

Определение валового содержания хрома в природных водах Калужской и Московской областей осуществляли атомно-абсорбционным методом на атомно-абсорбционном спектрофотометре с беспламенной атомизацией фирмы «Grün».

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ КАДМИЯ В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ

*Роева Н.Н.<sup>1</sup>, Зайцев Д.А.<sup>1</sup>, Зайцева И.А.<sup>1</sup>, Гвоздева Е.Е.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),  
Москва, Россия*

*<sup>2</sup>Московский образовательный комплекс имени Виктора Талалихина  
Москва, Россия*

*E-mail: [zajcevaia@mgupp.ru](mailto:zajcevaia@mgupp.ru)*

Кадмий - тяжелый металл, обладающий высокой миграционной способностью в окружающей среде, ввиду его ярко выраженной комплексообразующей способности и подвижности.

Он входит в круг жестко нормируемых элементов с точки зрения аналитического контроля его содержания, поскольку, попадая в окружающую среду, даже в сравнительно невысоких концентрациях, оказывает на нее и живые организмы негативное воздействие, проявляя токсичность и канцерогенность.

Челябинская и Калужская области являются промышленно развитыми регионами России. В результате функционирования предприятий на территориях этих регионов антропогенная эмиссия кадмия в атмосферу составляет примерно 80%. Миграция кадмия в атмосфере во многом зависит от форм нахождения этого элемента в ней, поэтому важным представляется дифференцированный анализ этих форм.

Целью данной работы являлось изучение форм нахождения кадмия в атмосферных аэрозолях, отобранных на территориях Челябинской и Калужской областей.

Для отбора проб атмосферного воздуха с целью определения в нём кадмия был использован метод принудительной фильтрации воздуха через фильтр АФА-ХА-20 и оптимизированы условия пробоотбора и пробоподготовки атмосферных аэрозолей.

Для изучения форм нахождения кадмия в аэрозольных частицах была применена методика, которая предусматривала последовательное воздействие на аэрозольные частицы различных растворов (дистиллированной воды, 2%-ного раствора соляной кислоты и концентрированной азотной кислоты).

Проведено разделение аэрозольных частиц по размерам и определено в них содержание кадмия. Установлено, что в атмосферном воздухе кадмий существует в виде аэрозольных частиц размером  $<1$  мкм, содержащих его водорастворимые соединения.

Разработан достаточно высокочувствительный и воспроизводимый метод определения кадмия с учетом специфики пробоотбора и пробоподготовки атмосферных аэрозолей, позволяющий определять этот элемент в атмосферном воздухе с чувствительностью  $0,0001 \text{ мг/м}^3$ .

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИМИ СЕНСОРАМИ

*Зяблов А.Н., Выборный А.Ю., Тертышников О.А.*

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», 394018, г. Воронеж;*

*Университетская пл., 1,*

*E-mail: [alex-n-z@yandex.ru](mailto:alex-n-z@yandex.ru)*

В настоящее время актуальной проблемой является регулярный мониторинг водных ресурсов как в промышленной сфере, так и в сфере сельского хозяйства.

В связи с этим перспективным является разработка портативных систем для анализа жидких сред в полевых условиях. Одними из наиболее привлекательных в этой области являются сенсорные системы, которые сочетают в себе ряд особенностей, такие как простота эксплуатации, возможность экспресс анализа и мониторинга в онлайн режиме.

Одним из потенциальных веществ-загрязнителей сточных вод является сорбиновая кислота и её соли, которые в настоящее время широко применяются в качестве консервантов. Известно, что даже в небольших концентрациях (0.1-0.4 г/л) сорбиновая кислота оказывает подавляющее влияние на энергию прорастания и на всхожесть семян пшеницы и риса [1]. Также известно о случаях аллергических реакций при непосредственном контакте с сорбиновой кислотой [2].

Достаточно перспективным методом определения сорбиновой кислоты в жидких средах является амперометрический метод анализа. В связи с этим цель работы состояла в разработке модифицированных амперометрических сенсоров на основе полимера с молекулярными отпечатками (ПМО) и определение сорбиновой кислоты в модельных растворах.

В качестве сенсоров использовали двухэлектродные планарные сенсоры, полученные методом термотрансфера на фольгированную стеклотекстолитовую подложку. Модификацию проводили путем нанесения ПМО на поверхность электродов. Для синтеза полимерной матрицы использовали сополимер 1,2,4,5- бензолтетракарбоновой кислоты с 4,4'-диаминодифенилоксидом [3]. Анализ проводили с помощью разработанной амперометрической установки на базе микроконтроллера семейства AVR.

В ходе работы экспериментально установлены предел обнаружения ( $1 \cdot 10^{-3}$  г/дм<sup>3</sup>) и диапазон определяемых концентраций  $1 - 1 \cdot 10^{-2}$  г/дм<sup>3</sup>.

Таким образом установлено, что модифицированными амперометрическими сенсорами можно проводить определение сорбиновой кислоты в растворах. Полученные метрологические характеристики свидетельствуют о потенциальной возможности применения разработанных сенсоров для анализа реальных объектов.

### Литература

1. Смашевский, Н. Д., Ионова Л. П. Антиростовое и антиметаболическое действие сорбиновой кислоты на проростки пшеницы и риса // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. С. 226.
2. A. Grange-Prunier, M. Bezier, G. Perceau, P. Bernard, Eczéma de contact au tabac par sensibilisation à l'acide sorbique // Annales de Dermatologie et de Vénéréologie. 2008. Vol. 135. P. 135-138.
3. Зяблов А.Н., Выборный А.Ю. Сенсор на основе полимера с молекулярным отпечатком для определения 3(4-гидроксифенил) молочной кислоты // Пат. RU 223772 U1, МПК G01N 27/12 (2006.01), G01N 27/327 (2006.01). №2023134663, Заяв. 20.12.2023; Опубл. 04.03.2044, Бюл. №7.



## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЕНТОВ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ БИОМАРКЕРОВ ИЗ ПРОБ ВЫДЫХАЕМОГО ВОЗДУХА

*Ионов Г.А., Платонов И.А., Колесниченко И.Н.*

*Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева,*

*E-mail: [grisha.ionov.22@gmail.com](mailto:grisha.ionov.22@gmail.com)*

Анализ выдыхаемого воздуха на содержание биомаркеров представляет собой важный инструмент для диагностики и мониторинга состояния здоровья человека. Биомаркеры, содержащиеся в выдыхаемом воздухе, могут служить индикаторами различных заболеваний, таких как диабет, астма, сердечно-сосудистые заболевания и многие другие. Благодаря неинвазивности и простоте процедуры забора образца, этот метод становится все более популярным в клинической практике. Кроме того, анализ выдыхаемого воздуха позволяет оценить влияние загрязненного воздуха на организм человека, что подчеркивает важность этого метода в контексте экологической безопасности и охраны здоровья населения.

В данной работе объектом исследования является анализ ацетона из выдыхаемого воздуха.

Целью настоящей работы было экспериментальное получение эффективных сорбентов для концентрирования ацетона (до 0.9 ppm) из проб выдыхаемого воздуха[1].

Были изучены возможности сорбционно-активных солей ( $\text{CoCl}_2$ )[2] для концентрирования ацетона из выдыхаемого воздуха, углеродных нанотрубок и вспененных сорбентов на основе углеродных нанотрубок и аэросила. Показана возможность использования их для концентрирования и применения в составе хромато-десорбционных систем, для осуществления градуировки и пробоподготовки в идентичных условиях. Разработано устройство для экспрессного пробоотбора с автоматическим анализом в составе диагностического комплекса на основе микрофлюидного газового хроматографа «ПИА»[3].

### Литература

1. Родинков, О.В. Композиционные сорбенты на основе неорганических солей для экспрессного концентрирования низкомолекулярных полярных органических веществ из влажного воздуха с последующим газохроматографическим определением / О.В. Родинков, Г.А. Журавлёва, А.А. Маслякова, М.В. Петрова, Л.Н. Москвин // Журн. аналит. химии. 2014. №4. С. 390-394
2. Родинков, О.В. Сорбционное концентрирование полярных органических соединений из влажного воздуха с селективным удалением водяного пара / О.В. Родинков, Г.А. Журавлёва // Сорбционные и хроматографические процессы. 2014. Т. 14. Вып. 1. С. 138-143.
3. Платонов В.И, Платонов И. А., Орлова Л. В., Колесниченко И. Н. Разработка аналитического комплекса на основе портативного хроматографа «ПИА» для исследования эмиссии парниковых газов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. Т.24, №6. С. 956-964

## УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ КАК СОРБЕНТЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

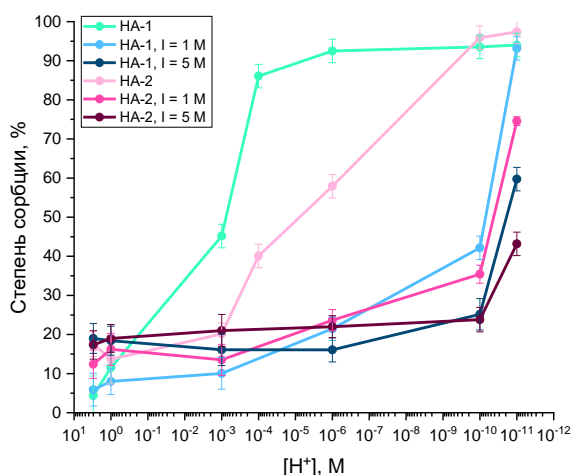
*Казаков А.Г., Екатова Т.Ю., Хворостинин Е.Ю., Винокуров С.Е.*

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, лаборатория радиохимии, 119991, Москва, ул. Косыгина, 19, Россия*

*E-mail: [kazakov.ag@geokhi.ru](mailto:kazakov.ag@geokhi.ru)*

В настоящее время в мире общепризнанно, что только атомная энергетика сможет полностью удовлетворить постоянно растущую потребность человечества в электроэнергии. При этом дальнейшее интенсивное развитие атомной энергетики в России и в мире невозможно без решения проблемы обращения с радиоактивными отходами, образующимися при переработке отработавшего ядерного топлива, при выводе из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов, а также накопленных предприятиями отрасли при реализации прошлых оборонных программ. Несмотря на разработанные регламенты обращения с радиоактивными веществами и материалами, минимизирующие вероятность выбросов долгоживущих радионуклидов в окружающую среду, они тем не менее могут попадать в природные объекты при возникновении нештатных ситуаций. При этом миграция радионуклидов происходит, в-основном, с природными грунтовыми и поверхностными водами. По этим причинам разработка эффективных способов извлечения радионуклидов, прежде всего, актинидов, из водных растворов различного состава остаётся актуальной задачей.

В настоящей работе исследованы углеродные наноматериалы различного генезиса как потенциальные сорбенты для выделения актинидов и продуктов деления урана и плутония из слабокислых, нейтральных и щелочных растворов. Определена зависимость степени сорбции перечисленных радионуклидов от pH, солевого фона, температуры и отношения массы сорбента к объёму раствора. Для наиболее перспективных сорбентов установлены параметры изотерм адсорбции, а также термодинамические параметры процесса. Рассмотрены возможности применения исследованных материалов для разработки способов выделения и концентрирования радионуклидов из природных и техногенных растворов.



**Рисунок 1.** Равновесные значения сорбции америция наноматериалами HA-1 и HA-2 в зависимости от pH и солевого фона

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-13-00430, <https://rscf.ru/project/24-13-00430/>»*

**ПРОБОПОДГОТОВКА МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД И ХВОСТОВ ИХ  
ПЕРЕРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПРОБ С  
БИФТОРИДОМ АММОНИЯ И КИСЛОТНЫХ ВЫТЯЖЕК ДЛЯ АНАЛИЗА  
МЕТОДАМИ МС/АЭС-ИСП**

**Казин В.И., Захарченко Е.А., Громяк И.Н., Тюрин Д.А. Колотов В.П.**

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского Российской Академии  
Наук, 119991, Москва, Косыгина, 19, Россия*

*E-mail: [kazin98@list.ru](mailto:kazin98@list.ru)*

Добыча благородных металлов играет важную роль в современной экономике. Эти металлы широко используются в ювелирной промышленности, электронике, медицине и других высокотехнологичных отраслях. Однако процесс их добычи сопровождается рядом экологических проблем: при обогащении руд для извлечения благородных металлов остаются отходы, называемые "хвостами". В этих отходах содержатся тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, мышьяк, никель, цинк и др. –экологически небезопасные. Для минимизации потенциальных рисков требуется комплексный подход, включающий экологический мониторинг, в том числе и отходов.

В работе представлены результаты определения металлов методами МС/АЭС-ИСП в образцах отвальных хвостов, полученных при добыче и переработке норильских сульфидных медно-никелевых руд. Для полного разложения образцов использовали комбинированную методику, включающую в себя взаимодействие образца с бифторидом аммония и его последующую кислотную минерализацию [1]. В ходе работы выявлено, что в процессе разложения образцов возможны потери некоторых элементов Os, As, Se, Hg и др., а некоторые БМ «закрываются» интерферирующими полиатомами. Для их определения предлагается наряду с полным кислотным вскрытием проб получать т. н. «вытяжки» на основе смеси  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$  в соотношении 1:3 (царской водки) при комнатной температуре. Показано, что, сопоставляя результаты анализа проб (например, БМ) после полного разложения и вытяжек, можно провести определение содержания элементов, используя скорректированные данные анализа вытяжек.

Применимость разработанного нами подхода подтверждена на примерах анализа как отвальных хвостов, так и целевого продукта - медно-никелевых руд.

**Литература**

1. В.П. Колотов, В.И. Казин, Е.А. Захарченко, И.Н. Громяк. Пробоподготовка образцов черных сланцев большой массы с использованием бифторида аммония для инструментального анализа методами МС/АЭС-ИСП // ЖАХ 2025 (в печати).

**АНАЛИЗ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД И ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТОВ ИХ  
ПЕРЕРАБОТКИ МЕТОДОМ МС-ИСП, ВКЛЮЧАЯ УЧЕТ СПЕКТРАЛЬНЫХ  
ИНТЕРФЕРЕНЦИЙ РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ**

**Казин В.И., Хлуднева А.О., Захарченко Е.А., Тюрин Д.А., Колотов В.П.**

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского*

*Российской Академии Наук, 119991, Москва, Косыгина, 19, Россия*

*E-mail: [kazin98@list.ru](mailto:kazin98@list.ru)*

В процессе обогащения медно-никелевых руд образуется большое количество тонкодисперсионных отходов, составляющих порой более 90% массы исходной руды. Основная масса отходов горнодобывающих производств размещается в отвалах и хвостохранилищах, что представляет серьезную проблему для экологии. Рациональным решением представляется использование отходов в качестве вторичного сырья после доизвлечения ценных компонентов. Оценка экономической целесообразности такого подхода требует точного определения содержания ценных компонентов в рудах и продуктах горнодобывающих производств.

Определение благородных металлов (БМ) в медно-никелевых рудах и в отвальных хвостах их переработки, представляет собой сложную аналитическую задачу. Эти вещества характеризуются сложным минеральным и химическим составом, что создает ряд трудностей для получения метрологически обоснованных результатов.

Метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП) является одним из наиболее чувствительных методов количественного определения широкого круга элементов, включая БМ и РЗЭ. Однако, часто возможности метода ограничены различного рода эффектами, такими как матричный эффект, спектральные интерференции и др. Спектральные интерференции, особенно при определении низких концентраций, определяют систематическую погрешность, достигающую десятков и сотен процентов.

Устранить (или заметно снизить) ее можно путем математической корректировки данных, зная «выход» мешающих ионов (прежде всего, полиатомов) в той или иной мере «закрывающих» аналитические изотопы.

Для реализации этого подхода нами проведен апгрейд базы данных (БД) спектральных интерференций программы обработки данных МС-ИСП [1]. Проведен выбор критически важных каналов интерференции и экспериментально определены выходы интерферирующих (полиатомы, двухзарядные и др.) ионов по этим каналам. Полученные данные обеспечили формирование отдельной таблицы, данные которой были статистически обработаны и использованы для корректировки результатов измерений концентраций по отдельным изотопам, используя систему расчетных запросов БД. Разработан состав калибровочных растворов для корректировки выхода интерферирующих ионов для изменяющихся условий измерения и исследована устойчивость предложенного способа. Показано, что использование такого решения заметно улучшает качество результатов определения БМ в рудах и отвальных хвостах, что способствует эффективному управлению отходами.

**Литература**

1. Kolotov V. P., Zhilkina A. V., Khudneva A. O. iPlasmaProQuad: A Computer System Based on a Relational DBMS for Processing and Monitoring the Results of Routine Analysis by the ICP-MS Method //Advances in Geochemistry, Analytical Chemistry, and Planetary Sciences: 75th Anniversary of the Vernadsky Institute of the Russian Academy of Sciences. – Springer International Publishing. 2023. С. 555-562.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИНОЛОНОВЫХ АНТИБИОТИКОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ  
МЕТОДОМ КЭ-УФ В СОЧЕТАНИИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ  
МИКРОЭКСТРАКЦИЕЙ НАНОЧАСТИЦАМИ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$   
С ПОЛИДОФАМИНОВЫМ ПОКРЫТИЕМ**

***Карницкий Д.А., Карцова Л.А.***

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [st085801@student.spbu.ru](mailto:st085801@student.spbu.ru)*

Анализ природных вод требует разработки селективных и высокочувствительных подходов для извлечения, концентрирования и разделения аналитов с целью контроля состояния окружающей среды, которые отвечали бы требованиям *зелёной химии*. Новые возможности в этом направлении открываются с применением полифункциональных материалов, подбираемых под конкретную аналитическую задачу, т.н. *умных материалов (smart materials)*: ионных жидкостей, глубоких эвтектических растворителей (ГЭР), металлоорганических каркасов, дизайнерских полимеров, наночастиц и т.д.

В докладе рассмотрен синтез и возможности использования магнитных частиц с полидофаминовым покрытием как перспективного сорбента для антибиотиков хинолонового ряда с применением метода магнитной твердофазной микроэкстракции (мТФМЭ). Магнитное ядро значительно упрощает и ускоряет стадию экстракции, а полидофаминовое покрытие обеспечивает высокую вариативность взаимодействий с выбранными аналитами.

Цель работы – выявить перспективы применения наночастиц магнетита с полидофаминовым покрытием в условиях ТФМЭ в анализе природных вод с последующим определением аналитов методом капиллярного электрофореза со спектрофотометрическим детектированием (КЭ-УФ).

Методом статического светорассеяния установлено, что наночастицы магнетита обладают наименьшим размером в суспензии при синтезе на холоду (~ 90 нм), что существенно для быстрого установления равновесия между принимающей и отдающей фазами. Сорбционную ёмкость получаемых частиц проводили по степени концентрирования офлоксацина и налидиксовой кислоты из образцов природных вод. Испытан ряд широко используемых элюентов – метанол, ацетонитрил, растворы кислот и др. Лучшие результаты достигнуты с применением смеси ГЭР хлорид холина – малоновая кислота (1:1, мольн.) с водой (60% ГЭР, объёмн.).

Установлено, что при синтезе покрытия магнитных наночастиц в течение 4 ч степени концентрирования аналитов составляют 2-2,3. Найдены условия селективного разделения и *on-line* концентрирования антибиотиков хинолонового ряда методом капиллярного зонного электрофореза, рассчитаны коэффициенты концентрирования и проведена валидация подхода.

*Работа поддержана грантом РНФ № 24-13-00378.*

**СОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ БЛОЧНО-ПОРОЗНОГО ТИПА ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ И МАЛОЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ  
СОЕДИНЕНИЙ В ВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ**

**Платонов И.А., Новикова Е.А., Карсункина А.С., Сакс А.В.**

*Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П.*

*Королева, Самара, Россия*

*E-mail: [platonov.ia@ssau.ru](mailto:platonov.ia@ssau.ru)*

Определение различных органических соединений, находящихся в микроконцентрациях в атмосферном воздухе, требует проведения концентрирования [1]. Для этой стадии используются сорбционные системы, которые ограничены пропускной способностью газовой фазы. Для устранения данного недостатка в качестве материала-основы можно использовать блочно-порозный материал «металлорезина».

Исходя из этого, целью данной работы является изготовление и исследование сорбционных систем блочно-порозного типа для определения летучих и малолетучих органических соединений.

В рамках работы были изготовлены образцы сорбционных систем блочно-порозного типа, отличающиеся материалом-основы, порозностью, способом формирования адсорбционного слоя и сорбционно-активным материалом, нанесенным на поверхность [2].

Образцы сорбционных систем без дополнительной модификации поверхности были исследованы по отношению к малолетучим органическим соединениям на примере диоктилфталата. Установлено, что использование таких систем позволяет повысить чувствительность и понизить погрешность анализа по сравнению с методом абсорбционного концентрирования и с концентрированием с использованием порошкообразного активного угля БАУ.

Образцы сорбционных систем, на поверхность которых были нанесены различные сорбционно-активные материалы были исследованы по отношению к летучим органическим соединениям на примере этанола и гексана. Наиболее эффективные результаты были получены с образцом сорбционной системы, изготовленной из стали, с порозностью 0,75, на поверхность которого был нанесен Полисорб-1 и полиметилсилоксан, как связующий компонент. Показано, что такие системы позволяют повысить эффективность при десорбции в статическом режиме, а также повышают точность анализа по сравнению с порошкообразным сорбентом Полисорб-1.

Таким образом, полученные сорбционные системы блочно-порозного типа на основе материала «металлорезина» при формировании различных адсорбционных слоев на поверхности возможно более эффективно определять летучие органические соединения на примере этанола и гексана, а также малолетучие органические соединения на примере диоктилфталата.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект FSSS-2024-0022 (регистрационный номер: 1023112900147-4 от 31.01.24).*

**Литература**

1. Другов Ю.С., Родин А.А. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха: практическое руководство // М.: Бином. Лаборатория знаний. 2015. 527 с.
2. Платонов И.А., Новикова Е.А., Карсункина А.С. Модифицирование блочно-порозных систем сорбционно-активными материалами // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2024. Т. 90. № 4. С. 12-18.

## **ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ НА ТОКСИЧНОСТЬ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

*Ермакова Н. А., Соколовская К. С., Кияшко В. А., Федосимова А. М.*

*ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет,*

*Школа естественных наук, Тюмень, Россия*

*E-mail: [n.a.ermakova@utmn.ru](mailto:n.a.ermakova@utmn.ru)*

Методы химического анализа и методы биотестирования являются взаимодополняющими инструментами для оценки состояния объектов окружающей среды. Результаты химических измерений предоставляют данные о концентрациях различных веществ, биотестирование дает возможность оценить токсическое влияние этих веществ на живые организмы, что является важным для понимания воздействия токсикантов на экосистему в целом.

В работе исследован гидрохимический состав и проведена токсикологическая оценка качества проб подземных вод, отобранных из 39 источников децентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения юга Тюменской области, Свердловской и Курганской областей. По условиям залегания пробы подземных вод относятся к почвенным, грунтовым, подрусловым, межпластовым, артезианским водам.

Для оценки токсичности подземных вод применяли методы биотестирования с использованием в качестве тест-объектов зеленую водоросль *Chlorella vulgaris* Beijer, низшее ракообразное *Daphnia magna* Straus, бактерии *Escherichia coli* M-17 (тест-система «ЭКОЛЮМ»). Установлено, что методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла для определения токсичности природных вод имеет более высокую чувствительность, чем методики с использованием двух других тест-объектов, и может использоваться для оценки качества пресных подземных вод.

Все исследованные пробы воды без разбавления оказывают острое токсическое действие. Определены индексы токсичности и токсичная кратность разбавления. Наименее токсичные пробы относятся к почвенным, подрусловым и грунтовым водам, более токсичные – к межпластовым и артезианским.

Токсическое действие подземных вод на тест-объекты зависит от химического состава воды. Методом внесения добавок выполнена оценка влияния концентрации макрокомпонентов (ГСО К, Si, Mg, Fe, Mn, Ca, B, 4Ca:1Mg) на токсичность воды. Значимое влияние оказали добавки железа и марганца (угнетающее действие), калия (стимулирующее действие) и кальция (сначала стимулирующее действие, при следующей добавке – угнетающее). Наибольшее влияние на показатели токсичности подземных вод оказывают общая минерализация, высокие концентрации железа и марганца, кальция и солей жесткости. Корреляционные парные зависимости индекса токсичности и удельной электропроводности, общей жесткости, концентрации железа, кальция, марганца, калия относятся к умеренным. Установлено, что при значительном снижении концентрации солей жесткости и железа токсичность подземных вод может быть устранена.

Комплексный подход к оценке экологического состояния природных объектов с использованием как химических, так и биологических методов анализа является ключевым для обеспечения контроля и охраны окружающей среды.

*Результаты исследований получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Рациональное природопользование и физико-химические исследования» и Лаборатории экологических исследований Тюменского государственного университета.*

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА КОНЦЕНТРАЦИЯ ГАЛОГЕНООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ, ПРИРОДНЫХ И ПИТЬЕВЫХ ВОД

*Коробицына Р.Д., Королева Т.А.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия  
E-mail: [rimma.korobitsyna@gmail.com](mailto:rimma.korobitsyna@gmail.com)*

Среди множества органических веществ, присутствующих в природных матрицах, особое место занимает группа галогенорганических соединений (ГОС). Благодаря их высокой реакционной способности и восприимчивости к трансграничному переносу, ГОС вовлечены в глобальный биогеохимический цикл, ими насыщены слои атмосферы, гидросферы, литосферы [1]. Среди идентифицированных ГОС естественного происхождения органические хлориды составляют 52.0%, органические бромиды – 44.9%, органические йодиды и фториды – 2.5% [1]. Кроме того, тридцати тысячам ГОС присвоен промышленный статус. Хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы, бромированные антипирены и многие подобные соединения активно применялись в неограниченных количествах в качестве органических химикатов в промышленности, сельском хозяйстве, здравоохранении, потребительских товарах, пока не начали открыто говорить об их токсичных свойствах [2].

Более 25 лет в странах Европейского союза, США, Китае для контроля сброса ГОС со сточными водами используется интегральный параметр – концентрация адсорбируемых галогенорганических соединений, который представляет собой сумму хлор-, бром-, йодорганически связанных идентифицированных и не идентифицированных соединений. В России данный параметр включен в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. Также данный параметр используется для контроля сброса ГОС со сточными водами целлюлозно-бумажных предприятий и предприятиями, которые сбрасывают сточные воды в озеро Байкал и водные объекты, расположенные в пределах центральной и буферной экологических зон озера.

Лаборатория экоаналитических исследований ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН аккредитована на измерение массовых концентраций адсорбируемых органически связанных галогенов (АОХ) в пробах питьевых, природных и сточных вод методом микрокулонометрического титрования (ФР.1.31.2021.40350). Данная методика разработана в соответствии со стандартом ISO 9562. Суть метода заключается в: 1) адсорбции присутствующих галогенов (Cl, Br, I) в пробе воды на активированном сверхчистом угле; 2) последующем сжигании угля в потоке кислорода при температуре 950-1000°C; 3) измерении массовой концентрации, выделившихся галогенов, в газовом потоке, способом кулонометрического титрования в ячейке анализатор multi X 2500. Концентрация адсорбируемых галогенорганических соединений выражается в единицах мкг/дм<sup>3</sup> с пересчетом на хлор.

### Литература

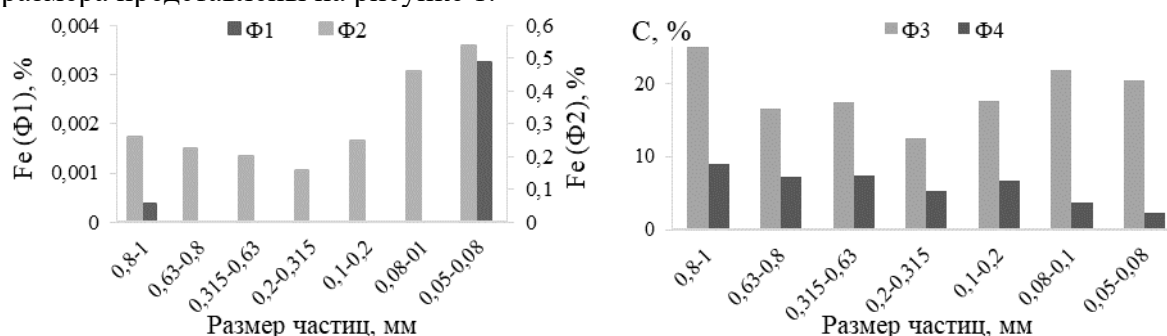
1. Gribble G.W. Naturally occurring organohalogen compounds – A comprehensive Review // Progress in the Chemistry of Organic Natural Products. 2023. Vol. 121. P. 546.
2. Zou J.W., Jiang Y.J., Guo M., Hu G.X., Zhang B., Liu H.C., Sen Yu Q. Ab Initio Study of the Complexes of Halogen-Containing Molecules RX (X = Cl, Br, and I) and NH<sub>3</sub>: Towards Understanding the Nature of Halogen Bonding and the Electron-Accepting Propensities of Covalently Bonded Halogen Atoms // Chem – A Eur. J. 2005. Vol. 11, № 2. P. 740–751.

## ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ РЕК Кревень Ю.О., Ларина Н.С.

Тюменский государственный университет, Школа естественных наук, Тюмень, Россия

Размер зерна осадков влияет на физико-химическое поведение донных отложений речных систем, включая ремобилизацию, эрозию, седиментацию и адсорбцию [1]. Однако существуют противоречия в описании зависимости между содержанием металлов и размером частиц осадков [2, 3].

Объектом исследования были донные отложения (ДО) малой реки Барсук. Просеиванием через набор сит был определен их гранулометрический состав, а в выделенных фракциях проведено выделение форм нахождения железа методом пятиступенчатой экстракции с последующим определением методом АЭС (Plasma Quant 9000) [4]. Распределение содержания различных форм железа во фракциях различного размера представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Распределение форм нахождения Fe в зависимости от размеров частиц в донных отложениях р. Барсук (Ф1-обменная форма; Ф2-карбонатная форма; Ф3-форма, связанная с оксидами и гидроксидами Fe/Mn; Ф4-форма, связанная с органическим веществом)

Содержание обменной формы железа (Ф1) в большинстве фракций ДО находилось ниже области определения, максимум наблюдался во фракции 0.08-0.05 мм ( $3 \cdot 10^{-3}\%$ ), при суммарном содержании в пробе  $5 \cdot 10^{-4}\%$ . Содержание железа, связанного с карбонатами (Ф2), с уменьшением размера частиц линейно уменьшалось (до фракции 0.315-0.2 мм), в более мелких фракциях наблюдался линейный рост с уменьшением размера частиц (суммарное содержание в пробе – 4.37%). Для железа, связанного с оксидами и гидроксидами (Ф3), отсутствует явно выраженная зависимость между содержанием формы от размера частиц несмотря на высокое содержание фракции в пробе (15.9%). Для железа, связанного с органическим веществом (Ф4), наблюдалось линейное уменьшение содержания с уменьшением размера частиц ДО (суммарное содержание в пробе – 7.33%). Содержание остаточной формы железа (Ф5) незначительно изменялось с уменьшением размера частиц осадков.

### Литература

1. Iqbal J. et al. Particle size distribution analysis and physico-chemical characterization of Chenab river water at Marala Headworks // Pak. J. Bot. 2010. Vol. 42. № 2. P. 1153-1161.
2. He D., Shi X., Wu D. Particle-size distribution characteristics and pollution of heavy metals in the surface sediments of Kuitun River in Xinjiang, China // Environmental Earth Sciences. 2016. Vol. 75. P. 1-10.
3. Maslennikova S., Larina N., Larin S. The effect of sediment grain size on heavy metal content // Lakes reservoirs and ponds. 2012. Vol. 6. № 1. P. 43-54.
4. Tessier A., Campbell P. G. C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // Analytical chemistry. 1979. Vol. 51. № 7. P. 844-851.

## ПРИБОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

*Курепов А.А., В.И. Платонов, И.А. Платонов, Горюнов М.Г., Платонова С.А.*  
*Самарский национальный исследовательский университет,*  
*e-mail: [rovvv@yandex.ru](mailto:rovvv@yandex.ru)*

Эмиссия парниковых газов из различных типов почв и экосистем широко изучается, в том числе ввиду важности почвы как регулятора содержания газов в тропосфере [1]. Сельскохозяйственная деятельность является одним из самых активных эмитентов CO<sub>2</sub>, что обуславливает необходимость разработки стратегии измерения и снижения эмиссии парниковых газов в результате сельскохозяйственного землепользования. Стандартный подход для оценки эмиссии парниковых газов включает отбор проб из паровой фазы с использованием метода статической закрытой камеры, с последующей транспортировкой и анализом пробы в лаборатории [2]. Это является довольно трудоемким и длительным процессом, на каждой из стадий которого могут возникать нежелательные артефакты или потери целевого вещества. Решением данной проблемы является разработка и применение портативных комплексов позволяет сократить время анализа и измерять газовые потоки непосредственно в полевых условиях (*in situ*), что в свою очередь способствует снижению погрешностей эксперимента и экономически облегчает мониторинг эмиссии парниковых газов.

Разработаны и апробированы импортнезависимые методика оценки эмиссии парниковых газов методом газовой хроматографии с использованием портативных микрофлюидных газоаналитических систем, и адаптированная к полевым исследованиям конфигурации газохроматографического микрофлюидного оборудования и устройств, для отбора проб анализируемых газов, а также метрологическое сопровождение, включая апробацию методики в полевых условиях и проведение калибровки прибора с использованием Государственных стандартных образцов.

Прибор оснащен системой автономного газоснабжения, питания и автоматического отбора анализируемых проб газа. Габариты исследованного комплекса: 40x20x40 см, вес – 10 кг, время автономной работы – 20 часов, мощность 150 Вт, предел определения по CO<sub>2</sub> – 0,0005 % об., предел определения по метану – 0,00001 % об. По сравнению с импортными аналогами (DX4015, Италия (принцип работы FTIR); LI-7810 CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Trace Gas Analyzer, США, (принцип работы NDIR)) метрологические и технические характеристики аналогичны, габаритные размеры меньше на 2-5 кг, себестоимость меньше в 4-6 раз. Преимуществом газохроматографического микрофлюидного комплекса является возможность определения самого широкого спектра дополнительных соединений, включающий другие постоянные газы: такие как кислород и азот, а также предельные и непредельные углеводороды.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект FSSS-2024-0022 (регистрационный номер: 1023112900147-4 от 31.01.24).*

### Литература

1. García-Calderón N. E., Fuentes-Romero E., Ikkonen E., Sidorova V. CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> Fluxes in Wetland Ecosystems of the Mezquital Valley, Central Mexico. // Eurasian Soil Science. 2024. P. 1-28. DOI: 10.1134/S106422932460129X, 23.
3. Kurganova I. N., Rozanova L. N., Myakshina T. N. Monitoring of CO<sub>2</sub> emission from soils of different ecosystems in Southern part of Moscow region: data base analyses of long-term field observations. // Eurasian Soil Sci. 2004. V. 37. P. 74–78.



## СОДЕРЖАНИЕ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПОЧВЕ МОСКВЫ

*Левашиова Е.А., Зыкова Г.В., Финаков Г.Г.*

*Федеральное государственное унитарное предприятие Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, ул. Щукинская, 40, Москва, 123182 Россия*

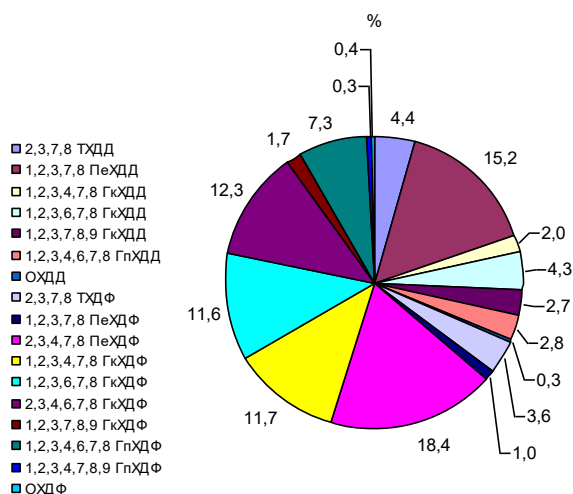
*E-mail: [abelinsk@yandex.ru](mailto:abelinsk@yandex.ru)*

К высокотоксичным стойким органическим загрязнителям (СОЗ) относятся полихлорированные дибензо-п-диоксины, дибензофураны и бифенилы (ПХДД, ПХДФ и ПХБ соответственно). Основная опасность ПХДД, ПХДФ и ПХБ заключается в канцерогенном, мутагенном и тератогенном действии на живые организмы.

Мониторинговые исследования содержания ПХДД, ПХДФ и ПХБ в почвах г. Москвы начались с 2005 г., они носили нерегулярный характер. В настоящем исследовании был проведен анализ почв (n=27) разных функциональных зон г. Москвы на содержание 17-ти 2,3,7,8-замещенных ПХДД, ПХДФ, 12 диоксиноподобных ПХБ (дПХБ) и 7 маркерных ПХБ (мПХБ) по разработанной высокочувствительной и селективной хромато-масс-спектрометрической (ГХ-МС) методике измерений ФР.1.31.2011.10099. Для оценки ежегодного увеличения концентрации СОЗ в почвах г. Москвы на некоторых площадках были отобраны образцы листьев клена американского *Acer negundo* (n=8) до начала листопада.

Извлечение ПХДД/ПХДФ, дПХБ, мПХБ осуществляли в экстракционном модуле автоматизированной системы подготовки проб Total-Rapid-Prep™ PLE (FMS, Waltham, MA, США). Очистку экстрактов производили в ручном режиме на колонках с применением хроматографических сорбентов. Измерение концентрации аналитов выполняли ГХ-МС методом на магнитно-секторном масс-спектрометре высокого разрешения AutoSpec Premier фирмы Waters, США с газовым хроматографом 7890 фирмы Agilent Technologies, США. Анализ осуществлялся в режиме VSIR.

Суммарное содержание ПХДД/ПХДФ в почве г. Москвы составило от 0.5 нг ВОЗ-ДЭ<sub>2005</sub>/кг до 85 нг ВОЗ-ДЭ<sub>2005</sub>/кг. Содержание дПХБ в почве г. Москвы находилось в диапазоне от 0.16 нг ВОЗ-ДЭ<sub>2005</sub>/кг до 2.7 нг ВОЗ-ДЭ<sub>2005</sub>/кг. Содержание мПХБ в почве г. Москвы составило от 3.5 мкг/кг до 24 мкг/кг. Максимальная концентрация ПХДД/ПХДФ в листьях составила 1.5 нг ВОЗ-ДЭ<sub>2005</sub>/кг, минимальная концентрация – 0.4 нг ВОЗ-ДЭ<sub>2005</sub>/кг. На рисунке 1 приведен профиль конгенов ПХДД/ПХДФ, характерный для почв г. Москвы.



**Рисунок 1.** Структура профиля конгенов ПХДД и ПХДФ в почве г. Москвы.



## СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЙ РАСТВОРИТЕЛЬ НА ОСНОВЕ СОЛИ ДИ-(2-ЭТИЛГЕКСИЛ)-ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ФТОРХИНОЛОНОВ ИЗ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

*Лодянов Ю.О., Почивалов А.С., Булатов А.В.*

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [st095115@student.spbu.ru](mailto:st095115@student.spbu.ru)*

Антибактериальные лекарственные средства играют ключевую роль в фармакотерапии заболеваний как человека, так и животных. Они используются для лечения бактериальных инфекций, предотвращения осложнений, а также для стимуляции роста при откорме сельскохозяйственных животных, повышения их продуктивности. Попадание таких веществ в окружающую среду представляет собой серьезную экологическую проблему, поскольку эти вещества могут накапливаться в водных системах, нарушать функционирование экосистем и оказывать отрицательное влияние на здоровье человека, в том числе приводя к аллергическим реакциям и антибиотикорезистентности у бактерий [1]. Фторхинолоны представляют собой класс антибактериальных веществ, широко используемых в медицине и ветеринарии. Наибольшие их концентрации среди водных сред содержатся в сточных водах фармацевтических предприятий, медицинских учреждений и животноводческих ферм, что в свою очередь приводит к загрязнению этими антибактериальными агентами природных вод. При этом концентрации фторхинолонов в этих объектах находятся, как правило, в интервале от десятых нг/л до сотен мкг/л, что обуславливает сложность определения данных аналитов [2]. Ввиду низких содержаний, актуальным представляется концентрирование аналитов на этапе пробоподготовки.

В данной работе предложен способ микроэкстракции фторхинолонов из водных сред в супрамолекулярный растворитель на основе аммониевой соли ди-(2-этилгексил)-фосфорной кислоты. На первом этапе к пробе добавляется фосфорсодержащая кислота и раствор аммиака для образования органической соли, которая выступает в роли амфифила (анионного поверхностно-активного вещества), с дальнейшей самоорганизацией амфифильных молекул в мицеллы. На втором этапе в полученный изотропный раствор вводится раствор электролита (сульфат натрия, ацетат натрия, карбонат натрия или хлорид натрия), что приводит к образованию супрамолекулярного растворителя за счет высаливающего эффекта с последующим хроматографическим анализом экстракта. Изученная экстракционная система является перспективной с точки зрения концентрирования аналитов из природных и сточных вод для их дальнейшего определения.

*Работы частично выполнялись с использованием оборудования ресурсных центров СПбГУ «Методы анализа состава вещества» и «Развитие молекулярных и клеточных технологий».*

### Литература

1. Thai V., Dang V.D., Thuy N.T., Pandit B., Vo T., Khedulkar A.P. Fluoroquinolones: Fate, effects on the environment and selected removal methods // J. Clean. Prod. 2023. Vol. 418. Article No. 137762.
2. Bhatt S., Chatterjee S. Fluoroquinolone antibiotics: Occurrence, mode of action, resistance, environmental detection, and remediation – A comprehensive review // Environ. Pollut. 2022. Vol. 315. Article No. 120440.

**ВЭЖХ-ФЛД ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТИБИОТИКОВ ФТОРХИНОЛОНОВОГО  
РЯДА В ПОЧВАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ С ВЫДЕЛЕНИЕМ В  
ГЛУБОКИЙ ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ**

*Лусникова К.М., Крехова Ф.М., Шишов А.Ю.*

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [st107278@student.spbu.ru](mailto:st107278@student.spbu.ru)*

На сегодняшний день антибиотики фторхинолонового ряда являются одними из наиболее широко используемых антибиотиков в медицине и ветеринарии для борьбы с различными микробными заболеваниями. Фторхинолоны также применяются в животноводстве в качестве добавки в корма для стимулирования роста. При выходе из организма они могут попадать в почву или в водную среду, а также накапливаться на дне водоемов. В результате определенных физико-химических воздействий антибиотики могут вновь попадать в водные объекты, что может привести к их попаданию в пищевую цепочку и приводить к неблагоприятному воздействию на организм. Наибольшую опасность нерегулируемого потребления антибиотиков представляет выработка у бактерий гена резистентности, вследствие чего у них появляется иммунитет к определенным видам препаратов. Таким образом, контроль содержания антибиотиков в почве и донных отложениях является актуальной задачей с точки зрения экологического мониторинга окружающей среды.

В данном исследовании впервые предложен метод выделения антибиотиков фторхинолонового ряда из почвы с помощью экстракции с использованием глубокого эвтектического растворителя (ГЭР). Для выделения ряда антибиотиков (ципрофлоксацин, ломефлоксацин, флероксацин, гатифлоксацин, офлоксацин) был использован ГЭР на основе холин хлорида, малоновой кислоты и воды, также была проведена повторная экстракция аналитов в гексановую кислоту. Разработанный метод позволил сделать процесс выделения менее трудоемким благодаря отсутствию этапа очистки с помощью твердофазной экстракции, а также продемонстрировал высокую степень извлечения антибиотиков из почв и донных отложений.

*Данная работа была поддержана грантом РНФ 22-73-10039. Часть научных исследований была выполнена в ресурсном центре методы анализа состава вещества Санкт-Петербургского государственного университета.*

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СЕНСОРОВ НА АММИАК

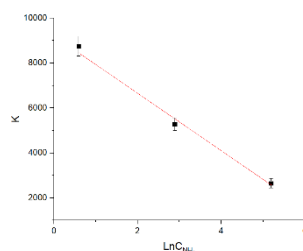
*Матьяш Е.В., Ермаков С.С., Приходько И.В.*

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

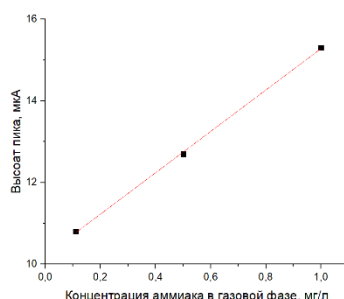
*E-mail: [st085503@student.spbu.ru](mailto:st085503@student.spbu.ru)*

Клиническая диагностика, основанная на анализе метаболитов, включая аммиак, активно развивается. Один из методов определения уровня аммиака в выдыхаемом воздухе — электрохимический анализ с газовыми сенсорами [1,2]. Коэффициент распределения аммиака был установлен для анализа зависимости между его концентрациями в жидкой и газовой фазах [3].



**Рисунок 1.** Зависимость коэффициента распределения аммиака от натурального логарифма его концентрации в растворе

Электрохимическое определение концентрации аммиака в газовой фазе производилось при помощи модельной установки. Измерение проводилось с использованием печатного электрода, модифицированного солью меди II, а сигнал регистрировался при помощи циклических вольтамперограмм. Таким образом была получена зависимость сигнала на вольтамперограмме от концентрации аммиака в газовой фазе.



**Рисунок 2.** Зависимость увеличения высоты пика аммиака от концентрации аммиака в газовой фазе, определенной их хроматографического эксперимента

Данная градуировочная зависимость может служить важным инструментом для дальнейшего анализа и применения в области клинической диагностики по метаболитам.

### Литература

1. Dmitrienko, M.A., Ginak A.I. Processes of gaseous biomarkers formation in persistent *Helicobacter pylori* infection – biotechnological model // Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2017. Vol. 7. No 1. P. 133–139.
2. Graham, David Y., Muhammad Miftahussurur *Helicobacter pylori* urease for diagnosis of *Helicobacter pylori* infection: A mini review // Journal of Advanced Research, Airlangga University, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia. 2018.
3. Родинков О.В., Грега М.Е., Спиваковский В.А., Знаменская Е.А., Желудовская А.А. Газоэкстракционное генерирование газовых смесей полярных органических соединений с заданной концентрацией на уровне ppb // Рукопись: Санкт-Петербургский государственный университет. 2023.



**ВЭЖХ-ФЛД ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ПОЧВАХ  
С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ВЫДЕЛЕНИЕМ  
В ГЛУБОКИЙ ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ**

**Мещева Д.А., Крехова Ф.М., Шишов А.Ю., Булатов А.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [st087612@student.spbu.ru](mailto:st087612@student.spbu.ru)*

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это класс органических неполярных соединений, которые состоят из двух или более ароматических колец. Большинство ПАУ образуются вследствие неполного сгорания органических материалов, таких как автомобильное топливо, древесина и мазут в отопительных системах, выбросов электростанций и нефтяной промышленности [1]. Обладая высокой гидрофобностью, ПАУ могут адсорбироваться твердыми частицами почвы и накапливаться на поверхности почвы и в ее толще. Из почвы ПАУ могут перемещаться в атмосферу, попадать в водную среду, что увеличивает их подвижность и потенциальное распространение на большие территории. Таким образом, разработка надежных и чувствительных способов определения ПАУ является актуальной задачей с точки зрения экологического мониторинга окружающей среды. Среди ПАУ бенз(а)пирен является сильнейшим канцерогеном и может оказывать мутагенное, генотоксическое воздействие на человека. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 предельно допустимая концентрация (ПДК) бенз(а)пирена в почве с учетом фона составляет 20 мкг/кг.

В данной работе была предложена процедура выделения бенз(а)пирена из почвы в глубокие эвтектические растворители (ГЭР) для его последующего определения с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием. ГЭР представляют собой смесь доноров и акцепторов водородной связи, обладающие более низкими температурами плавления по сравнению с исходными компонентами [2]. Они зарекомендовали себя как эффективные экстрагенты в аналитической химии и имеют такие преимущества перед традиционными органическими растворителями как низкая летучесть, нетоксичность, высокая стабильность и простота лабораторного синтеза.

Для выделения неполярного бенз(а)пирена из почвы был предложен гидрофобный ГЭР на основе тимолола и гексанола, который способствовал эффективному выделению бенз(а)пирена со степенью извлечения 80 %. В ходе работы были оптимизированы условия экстракционного выделения бенз(а)пирена. Достигнутый предел определения аналита составил 5 мкг/кг и позволяет определять содержание аналита в почвах ниже ПДК.

*Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта Российского Научного Фонда 22-73-10039.*

**Литература**

1. Abdel-Shafy H.I., Mansour M.S.M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation // Egyptian Journal of Petroleum. 2016. Vol. 25, № 1.
2. Makos P., Słupek E., Gębicki J. Extractive detoxification of feedstocks for the production of biofuels using new hydrophobic deep eutectic solvents // Microchemical Journal. 2020. V. 152.

## ПРИМЕНЕНИЕ КВАЗИ-ГИДРОФОБНЫХ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ И НЕПОЛЯРНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Мурадымов Р.Р.<sup>1</sup>, Шишов А.Ю.<sup>1</sup> Banerjee T.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет  
 Институт химии, 198504, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Индийский технологический институт Гувахати, Индия

E-mail: [st097757@student.spbu.ru](mailto:st097757@student.spbu.ru)

В настоящее время определение красителей в различных твердофазных объектах окружающей среды, а также пищевых продукты является важной задачей современной аналитической химии, так как чрезмерное потребление даже разрешенных красителей может привести к негативному воздействию на здоровье. Также существуют и запрещенные красители, такие как судановые [1], которые часто незаконно добавляются в пищевые продукты в обманных целях, что приводит к серьезным проблемам со здоровьем, поскольку они считаются канцерогенными и генотоксичными.

Серьезными ограничениями традиционных методик определения красителей часто являются трудоемкая пробоподготовка, низкая эффективность экстракции и использование опасных органических растворителей, а также распространение как водорастворимых, так и нерастворимых в воде красителей. В области анализа пищевых продуктов глубокие эвтектические растворители (ГЭР) появились как многообещающая альтернатива традиционным органическим растворителям благодаря своим уникальным свойствам, включая низкую токсичность, контролируемую полярность и экологичность. ГЭР нашли применение при экстракции различных красителей, однако их способность одновременно извлекать как полярные, так и неполярные красители ограничена.

В данной работе впервые представлено успешное получение и применение квази-гидрофобных ГЭР для одновременного извлечения 3-х разрешенных полярных и 3-х судановых неполярных красителей из объектов окружающей среды и пищевых продуктов с последующим анализом методом ВЭЖХ-ФДМ (рис. 1). Данные ГЭР имеют уникальный состав, включающий как полярные, так и неполярные компоненты, что позволяет эффективно извлекать широкий спектр красителей из сложных матриц. По результатам оптимизации наилучшим растворителем оказалась смесь тетрабутиламмония бромид и гексановой кислоты (1:2). Для разработанной методики провели оптимизацию ключевых параметров, влияющих на извлечение, валидацию, оценили экологичность и практичность, а также провели анализ реальных образцов.



**Рисунок 1.** Схема анализа твердого пищевого продукта.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Научного Фонда (проект № 24-43-02023). Научные исследования частично выполнялись в ресурсном центре научного парка СПбГУ «Методы анализа состава вещества».

### Литература

1. Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) to review the toxicology of a number of dyes illegally present in food in the EU // EFSA Journal. 2005. Vol. 263. P. 1-71.

## СОРБЦИОННОЕ УЛАВЛИВАНИЕ ЛЕТУЧИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ ПРОБОПОДГОТОВКЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

*Слепов Е.А., Мусина Н.С., Марютина Т.А.*

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского*

*Российской Академии Наук, 119991, Москва, Россия*

*e-mail: eu.slepov@gmail.com*

Современные методы анализа нефтезагрязненных проб почв, грунтов и донных отложений, как правило не учитывают потери летучих углеводородов, возникающих при пробоподготовке и транспортировке проб. При анализе содержания нефтепродуктов в почвах, грунтах и донных отложениях на стадии их пробоподготовки, заключающейся в высушивании образцов до постоянной массы, теряется значительное содержание легких углеводородов, присутствующих в составе загрязнения, что приводит к искажениям сведений о загрязнении объектов и затрудняет выполнение оценки реального состояния экосистемы, особенно при ее глубинном загрязнении [1, 2].

Данная работа посвящена изучению сорбционных свойств сорбентов по отношению к летучим углеводородам, использование которых позволит минимизировать потери лёгких фракций при отборе, транспортировке и пробоподготовке нефтезагрязненных почв.

В работе были изучена возможность сорбционного поглощения легких (летучих) углеводородов из модельных образцов почв, загрязненных бензином, с использованием различных сорбентов (цеолит, силикагель, фиброил, Porapak Q, Tenax TA, SiC-БНК, BN-БНК). Проведена оценка сравнительной эффективности сорбентов (полноты проведения сорбции и десорбции бензина из модельных образцов) в зависимости от времени пробоподготовки, массы сорбента и температуры нагрева анализируемого образца. Выполнены расчеты емкостей выбранных сорбентов по отношению к бензиновой фракции модельных образцов. Для определения содержания нефтепродуктов в образцах применялся метод ИК-спектроскопии.

Разработанная методика пробоподготовки нефтезагрязненных почв будет использована для создания нового метода количественного определения концентрации нефтепродуктов в загрязненных почвах, грунтах и донных отложениях, а также для оценки загрязнений при проведении экологического контроля.

*Работа выполнена по госзаданию Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской Академии Наук (ГЕОХИ РАН).*

### Литература

1. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. Практическое руководство. – М.: ГЕОС, 2007. – 160 с.
2. Завгородняя Ю.А., Соколова Д.С. Содержание летучих углеводородов в нефтезагрязненных ландшафтах Западной Сибири // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. – 2011. – №. 1 (3). – С. 75.

**ОДНОВРЕМЕННОЕ ВЭЖХ-МС/МС-ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ВЕТЕРИНАРНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ПОЧВЕ**

**Некрасов Д.Ю.<sup>1</sup>, Лаврухина О.И.<sup>1,2</sup>, Батов И.В.<sup>1</sup>, Третьяков А.В.<sup>1</sup>, Щербаков А.В.<sup>3</sup>,  
Вергунов О.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Владимирский государственный университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия*

<sup>3</sup>*Российский химико-технологический университет  
им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия*

*E-mail: [d.nekrasov@vgnki.ru](mailto:d.nekrasov@vgnki.ru)*

Лекарственные препараты для ветеринарного применения широко используются в ветеринарии [1]. Нарушения в регламентах их применения, технологий очистки сточных вод на фермах, использование неочищенного навоза в качестве удобрения влекут за собой загрязнение объектов окружающей среды сопоставимое с уровнем загрязнения пестицидами [2]. В связи с этим необходим контроль остаточных количеств действующих веществ лекарственных препаратов в почве.

Так как молекулы большинства препаратов полярны, для анализа предпочтителен метод обращённо-фазной высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием (высокая селективность и чувствительность). В рамках данной работы для контроля использования и оценки антропогенной нагрузки разработана ВЭЖХ-МС/МС-методика одновременного определения в почве остаточных содержаний 19 наиболее часто выявляемых в продукции животноводства лекарственных препаратов ветеринарного применения (фторхинолоны: энрофлоксацин, ципрофлоксацин; тетрациклины: окситетрациклин, доксициклин, тетрациклин; сульфаниламиды и диаминопиримидины: сульфаметазин, сульфаметоксазол, сульфадиазин, триметоприм; макролиды: эритромицин, кларитромицин, тилозин, тилмикозин, спирамицин; НПВП – диклофенак; кокцидиостатики: ласалоцид, мадурамицин; линкозамиды – линкомицин).

На этапе подготовки проб предложен единый подход, включающий в себя предварительную экстракцию 2% уксусной кислотой в смеси ацетонитрила и буфера Макилвейна (рН 4) (4:1) и повторную жидкостную экстракцию 0.5% муравьиной кислотой в смеси воды и метанола (1:1). Разделение аналитов проводили на ОФ-колонке C18: 150×2.1 мм, 5 мкм. В качестве подвижных фаз выбраны смеси воды с муравьиной кислотой и метанола с уксусной кислотой, с добавлением ацетата аммония. Подобранный градиентный режим позволил разделить соединения за 30 мин. Детектирование осуществляли в режиме MRM с использованием масс-спектрометра «SCIEX QTRAP 6500» с tandemным квадрупольным анализатором. Все аналиты, кроме диклофенака, ионизируются в положительном режиме ESI. Разработанная методика позволяет определять остаточные содержания лекарственных препаратов на уровне нижней границы – 5 мкг/кг, для спирамицина и диклофенака – 10 мкг/кг.

**Литература**

1. Rakonjac N., Van der Zee S.E.A.T.M, Wipfler L., Roex E., Kros H. Emission estimation and prioritization of veterinary pharmaceuticals in manure slurries applied to soil // Sci. Total Environ. 2022. Vol. 815.
2. Mejías C., Martín J., Santos J.L., Aparicio I., Alonso E. Occurrence of pharmaceuticals and their metabolites in sewage sludge and soil: A review on their distribution and environmental risk assessment // Trends Environ. Anal. Chem. 2021. Vol. 30.

## СОВМЕСТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЙОДА И СЕЛЕНА В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ МЕТОДОМ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

*Нигаметзянова А.Н.<sup>1,2</sup>, Слепченко Г.Б.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, проспект Ленина, дом 30, Россия

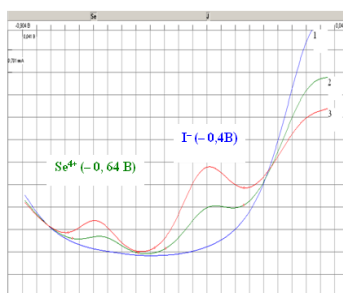
<sup>2</sup>АУ «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шильмана», Ханты-Мансийск, ул. Студенческая, дом 2, Россия

E-mail: [alina.kafarova@mail.ru](mailto:alina.kafarova@mail.ru)

Соединения йода и селена играют ключевую роль в жизнедеятельности организма, участвуя в важных биохимических процессах. Селен способствует антиоксидантной защите и нормальному функционированию иммунной системы, тогда как йод является важным элементом для синтеза гормонов щитовидной железы. Дисбаланс этих веществ в организме может привести к развитию различных заболеваний, поэтому необходимы точные методы количественного анализа в водных объектах.

Инверсионная вольтамперометрия (ИВА) является перспективным электрохимическим методом, позволяющим одновременно определять несколько элементов с высокой экспрессностью. Преимущества метода включают доступность, низкую стоимость и простоту пробоподготовки. В качестве рабочих электродов использовали органо-модифицированные электроды (ОМЭ) на основе тозилатных солей арилдиазония с аминогруппой в качестве заместителя ( $\text{MAgЭ-NH}_2$ ). Были проведены исследования на модельных растворах для оптимизации рабочих условий совместного ВА-определения  $\text{I}^-$  и  $\text{Se}^{4+}$  на ОМЭ, включая подбор фонового электролита, потенциала и времени электролиза. В качестве фонового электролита применяли водный раствор  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ .

Вольтамперограмма (рисунок 1) показывает два четко выраженных аналитических сигнала: при потенциале  $E_{\text{п}1} = -0,64 \text{ В}$  для  $\text{Se}^{4+}$  и при  $E_{\text{п}2} = -0,3 \text{ В}$  для  $\text{I}^-$ . При добавлении стандартных образцов селена и йода интенсивность сигналов возрастает пропорционально их концентрации, что подтверждает возможность количественного анализа этих элементов.



**Рисунок 1.** Вольтамперограммы  $\text{I}^-$  и  $\text{Se}^{4+}$  на  $\text{MAgЭ-NH}_2$

1 – фон: 0,1 М  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$

2 –  $C(\text{I}^-) = 0,01 \text{ мг/дм}^3$ ,  $C(\text{Se}^{4+}) = 0,01 \text{ мг/дм}^3$

3 –  $C(\text{I}^-) = 0,02 \text{ мг/дм}^3$ ,  $C(\text{Se}^{4+}) = 0,02 \text{ мг/дм}^3$

Проведенные исследования подтвердили возможность использования инверсионной вольтамперометрии (ИВА) для одновременного определения йода и селена в водных растворах. Разработанная методика обеспечивает высокую чувствительность и точность измерений. Оптимальные условия анализа обеспечивают четкое разделение сигналов, а линейная зависимость пиков подтверждает возможность количественного определения. Метод является удобным, малозатратным и перспективным для использования в аналитической химии.

## АНИЗОТРОПНАЯ СЕТЬ Ni-NiO КАК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ СЕНСОР НА NO<sub>2</sub>, РАБОТАЮЩИЙ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

*Низамеев И.Р., Низамеева Г.Р., Лебедева Э.М., Кузнецова В.В., Синяшин О.Г.*  
*ИОФХ им. А.Е. Арбузова - обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН*  
*E-mail: [irek.rash@gmail.com](mailto:irek.rash@gmail.com)*

Антропогенная нагрузка на окружающую среду растет как вследствие увеличения народонаселения планеты, так и за счет роста объемов и масштабов производства. Загрязняющие атмосферу вредные газы формируются в основном за счет работы тепловых электростанций, химических предприятий, автомобильного транспорта. Содержание углекислого газа (CO<sub>2</sub>), оксида углерода (CO), оксидов серы (SO<sub>x</sub>), оксидов азота (NO<sub>x</sub>) и летучих органических соединений (ЛОС) в выбросах превышает допустимые нормы [1]. В настоящее время для определения остаточных концентраций парниковых газов и газов-загрязнителей атмосферного воздуха, в частности, оксидов серы и азота, исследовательские центры и технологические лаборатории используют сложные методы, такие как масс-спектрометрия и инфракрасная спектроскопия, которые не подходят для рутинного анализа из-за высокой стоимости приборов, их габаритных размеров, большого веса, высокого энергопотребления и сложного технического обслуживания. Альтернативой могла бы стать разработка миниатюрных датчиков для экспресс- и мобильного детектирования газов [2]. Создание портативных мультисенсорных газоанализаторов для контроля содержания оксидов серы и азота в атмосферном воздухе имеют значительный технологический и экономический потенциал.

В данной работе разработан IDE-сенсор хеморезистивного типа на основе анизотропной сети металлического никеля с высокоразвитой поверхностью, покрытого тонким слоем оксида никеля (Ni-NiO SFs). Эта комбинация металла и полупроводника обеспечивает высокую чувствительность к изменениям электропроводности материала и хорошую реакцию на низкие концентрации диоксида азота при комнатной температуре. Проведены исследования отклика и селективности разработанного IDE-сенсора на ряд парниковых и токсичных газов. Установлено, что в диапазоне концентраций 1–50 ppm чувствительный материал обладает регистрируемым откликом. Методом импедансной спектроскопии установлено, что разработанный IDE-сенсор имеет наилучшую реакцию и чувствительность в области низких частот (10 Гц - 50 кГц) возбуждающего сигнала. Разработанный материал обладает высокой селективностью по отношению к NO<sub>2</sub>. Расчётное значение предела детектирования для сенсора, равное 0.03 ppm, не уступает современным значениям аналогичных материалов. Простота методики получения и дешевизна используемых материалов способствует тому, что разработанный сенсор сможет найти применение в современных устройствах.

*Исследование выполнено в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для реализации крупных научных проектов по приоритетным направлениям развития науки и техники (075-15-2024-646).*

### Литература

1. Cereceda-Balic F. et al. Emission factors for PM<sub>2.5</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and particle size distributions from the combustion of wood species using a new controlled combustion chamber 3CE // Science of The Total Environment. 2017. Vol. 584–585. P. 901–910.
2. Nikolic M.V., Milovanovic V., Vasiljevic Z.Z., Stamenkovic Z. Semiconductor gas sensors: Materials, technology, design, and application. // Sensors. 2020. V.20. P.6694.



**ВЭЖХ-ФЛ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ  
УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИРОДНОЙ ВОДЕ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ  
ЭКСТРАКЦИОННО-ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ В  
ГЛУБОКИЙ ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ В ПРОЦЕССЕ  
ПРОБООТБОРА**

**Низов Е.Р., Шишов А.Ю.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Институт химии, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: [st076763@student.spbu.ru](mailto:st076763@student.spbu.ru)*

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это класс органических соединений, содержащих в своей структуре два или более конденсированных ароматических кольца. Эти вещества характеризуются высокими температурами плавления и кипения и плохой растворимостью в воде. ПАУ могут образовываться как естественным путем в окружающей среде, так и в результате антропогенной деятельности. Из-за многочисленных источников ПАУ могут накапливаться в воздухе, природных водах, почве и растениях. Многие ПАУ признаны канцерогенами, мутагенами и тератогенами, представляя значительную опасность как для здоровья человека, так и для биоты. Агентство по охране окружающей среды США (US EPA) включило ПАУ в список приоритетных загрязнителей [1].

На сегодняшний день известно значительное количество работ по определению ПАУ в природной воде, однако не все методики включают экологически безопасную, быструю и простую пробоподготовку, которую возможно реализовать во внелабораторных условиях. Перспективным является подход проведения процедуры твердофазной микроэкстракции в наконечнике от дозатора (in-tip SPME) в комбинации с ручным или автоматическим насосом. Реализация такого способа позволяет значительно уменьшить время пробоподготовки, а также исключает необходимость доставки больших количеств пробы в лабораторию. В сочетании с экологически безопасными и коммерчески доступными природными глубокими эвтектическими растворителями (ГЭР), которые используются в качестве экстрагентов, предложенная в данной работе методика может быть внедрена в реальную практику и применяться для экологического мониторинга.

В ходе работы было показано, что гидрофобный ГЭР на основе ментола и гексанола обеспечил извлечение ПАУ из природной воды с последующим детектированием методом ВЭЖХ-ФЛ. В ходе разработки процедуры были изучены и оптимизированы такие параметры, как состав ГЭР, скорость пропускания воды, объем пробы, объем элюента и число циклов элюирования аналитов. В оптимальных условиях коэффициенты концентрирования составили 440-1600, прецизионность в условиях повторяемости и воспроизводимости находилась в диапазоне от 3 до 9 % и от 5 до 13 % соответственно, а время пробоподготовки на месте отбора пробы занимало 20 минут. Наконец, разработанная процедура была успешно опробована на реальных образцах природной воды, отобранной в одном из прудов в г. Петергоф (Россия).

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта фонда РНФ (22-73-10039).  
Научные исследования частично выполнялись в ресурсном центре «Методы анализа состава веществ» СПбГУ.*

**Литература**

1. M. A. Mallah Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An overview // Chemosphere. 2021–2022. Vol. 296.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРПИРИФОСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПРОБОПОДГОТОВКИ QUECHERS В РАМКАХ КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ  
СОДЕРЖАНИЙ ФОП В ПОЧВЕ**

**Лебедев А.М.<sup>1</sup>, Лаврухина О.И.<sup>1,2</sup>, Николенко Д.В.<sup>1</sup>, Сурогин М.В.<sup>1</sup>, Виниченко Е.В.<sup>1</sup>,  
Третьяков А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных  
средств для животных и кормов, Москва, Россия

<sup>2</sup>Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,

Владимир, Россия

E-mail: [a.lebedev@vgnki.ru](mailto:a.lebedev@vgnki.ru)

К стойким и токсичным представителям фосфорорганических пестицидов (ФОП) относится хлорпирифос (ХПС), включённый в «Международный список особо опасных пестицидов PAN» [1]. Для контроля его содержаний в почве необходимы чувствительные методики. Так как ХПС является летучим и термически стабильными, возможно его определение методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) [2]. Предложенные ранее методики предполагают его извлечение из образцов жидкостной экстракцией большими количествами токсичных органических растворителей. Поэтому актуальна разработка подхода с использованием пробоподготовки, отвечающей принципам «зелёной химии». Этим принципам соответствует методология QuEChERS, сочетающая в себе процессы экстракции, фракционирования и очистки, что позволяет использовать меньшие количества растворителей [3] и при этом эффективно снижать матричный эффект для последующего анализа методом ГХ-МС.

Содержание органического вещества (ОВ) и pH образцов почвы являются определяющими при выборе сорбентов и буферирующих солей для QuEChERS. В рамках эксперимента по изучению миграции и накопления ФОП в почве, проводимого в условиях максимально приближенных к полевым, определены наиболее значимые показатели: pH, содержание органического вещества, азота и фосфора. Установлено, что однократное внесение ФОП (хлорпирифоса и глифосата, в соответствии с инструкциями к коммерческим препаратам) приводит к изменению содержания P, N и ОВ, однако не влияет существенно на протяжении трёх недель на pH (медианное значение pH: 7.32). Содержание ОВ находилось в диапазоне 5.24–8.02%. Исходя из полученных данных для определения содержания ХПС в почве предложена процедура QuEChERS, включающая экстракцию аналита 10 мл ацетонитрила с добавлением 6 г MgSO<sub>4</sub> и 1,5 г ацетата натрия в качестве буферирующей соли и последующую очистку PSA (50 мг) и сорбентом C18 (50 мг). Для разделения использована колонка DB-5 (30 м × 0.25 мм, 0.25 мкм). Разработанная ГХ-МС-методика чувствительна и селективна для определения 5.0–1000 мкг/кг ХПС в почве, продолжительность анализа составляет 30 мин. Установлено, что при использовании тандемного режима (ГХ-МС/МС) предлагаемую процедуру подготовки проб можно использовать для анализа более широкого спектра матриц и снизить предел определения до 0,1 мкг/кг.

**Литература**

1. PAN International List of Highly Hazardous Pesticides. December 2024. URL: [https://pan-international.org/wp-content/uploads/PAN\\_HHP\\_List.pdf](https://pan-international.org/wp-content/uploads/PAN_HHP_List.pdf). Дата обращения: 03.02.2024.
2. Ore O.T., Adeola A.O., Bayode A.A., Adedipe D.T., Nomngongo P.N. Organophosphate pesticide residues in environmental and biological matrices: Occurrence, distribution and potential remedial approaches // Environ chem ecotox. 2023. Vol. 5. P. 9-23.
3. Musarurwa H., Chimuka L., Pakade V.E., Tavengwa N.T. Recent developments and applications of QuEChERS based techniques on food samples during pesticide analysis // J. Food Compost. Anal. 2019. Vol. 84. Article 103314.



## ХИМИЧЕСКОЕ ИСЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ ГОРОДА БИШКЕК, ЧЕРЕЗ АНАЛИЗ СНЕЖНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ.

*Оселедко П.А., Асанова К.А.*

*Кыргызско-Российский славянский университет имени первого президента Российской*

*Федерации Б.Н. Ельцина*

*E-mail: [94oseledko94@gmail.com](mailto:94oseledko94@gmail.com)*

Работа направлена на определение масштабов загрязнения в городском воздухе, в условиях густой жилой застройки, неконтролируемого роста автомобильного транспорта и отсутствия каких-либо мер экологической безопасности. Бишкек является самым крупным и быстроразвивающимся городом Кыргызстана. В прошлом году в рейтинге крупнейших городов мира по качеству воздуха World Air Quality Бишкек занял первое место, статус города был отмечен как «очень нездоровый». Первой целью исследования было, подтвердить факт загрязнения и выяснить химический состав воздуха, определить причину появления ионов токсичных химических веществ в атмосфере города. Второй целью является определение распространения общего загрязнения во всех районах города. Способом определения состава воздуха, был выбран метод исследования снега, как атмосферного осадка. [1]

**Таблица 1.** Физические и химические показатели состава снежных осадков.

| Определяющие факторы                         | 7 м/н (двор) Образец 1    | 7 м/н (дорога) Образец 2   | Рабочий городок (дорога) Образец 3 | Рабочий городок (двор) Образец 4 | Киевская/Советская Образец 5 | Аламедин-1 Образец 6 |
|--|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Прозрачность (хорошая, мутная, слабо мутная) | Слабо мутная              | Мутная                     | Хорошая                            | Хорошая                          | Слабая                       | Слабая               |
| Осадок (хлопьевидный, плотный, слабый)       | Хлопьевидный серого цвета | Хлопьевидный черного цвета | Отсутствует                        | Отсутствует                      | Плотный серого цвета         | Слабый серый         |
| Ca <sup>2+</sup>                             | +                         | +                          | +                                  | +                                | +                            | +                    |
| Cl <sup>-</sup>                              | +                         | +                          | +                                  | +                                | +                            | +                    |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                | —                         | +                          | —                                  | +                                | +                            | +                    |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                | —                         | —                          | —                                  | —                                | +                            | +                    |
| S <sup>2-</sup>                              | —                         | +                          | +                                  | +                                | +                            | +                    |
| Fe <sup>3+</sup>                             | —                         | —                          | —                                  | —                                | —                            | —                    |

Был подтвержден статус города, как «очень нездоровый», так как во всех районах города были найдены те или иные токсичные вещества. В качестве причин такого высокого загрязнения надо поставить отходы от центральной теплоэлектростанции. Об этом свидетельствует присутствие сульфат и сульфид ионов. На втором месте стоит автотранспорт, так как карбонат ионы удалось обнаружить только в двух районах из шести. Это говорит о том, что распространение токсичных веществ, растворённых в атмосфере города одинаково. [2]

### Литература

1. Application of snow sampling to study the environmental contamination of atmospheric pollutants // Environmental Monitoring and Assessment. 2011. Vol. 178. P.157-164.
2. Co-benefits of Climate Change Mitigation and Air Quality Improvement in China. // Environmental Science & Technology. 2005. Vol. 39. P. 226-234.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДА РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА С ПОЛНЫМ ВНЕШНИМ ОТРАЖЕНИЕМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЗОЛЫ УГЛЯ

*Пашкова Г.В., Жиличева А.Н., Чубаров В.М., Черкашина Т.Ю., Ухова Н.Н.*

*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия*

*E-mail: [pashkova.gv@yandex.ru](mailto:pashkova.gv@yandex.ru)*

Исследование химического состава углеродсодержащих материалов (угли, битум, нефть и т.п.) и продуктов их переработки актуально для определения качества сырья, прогноза вредного влияния на окружающую среду токсичных элементов, образующихся при сжигании топлива, а также оценки экономической целесообразности извлечения полезных элементов [1]. Согласно ГОСТ 32984-2014 (ISO/TS 13605:2012) при определении макро- и некоторых микроэлементов (Ba, Sr, Zn) в твердом топливе методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) пробу озоляют при температуре  $815 \pm 10$  °С и сплавляют с флюсами при температуре 1000–1200 °С. Для расширения круга определяемых микроэлементов в золе перспективно использовать вариант метода РФА с полным внешним отражением (РФА-ПВО), который характеризуется более низкими пределами обнаружения по сравнению с классическим РФА. Ранее метод РФА-ПВО применяли при анализе каменного угля, каменноугольного и нефтяного кокса без предварительного озоления [2].

В данной работе метод РФА-ПВО использован для определения микроэлементов (Cr, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Pb) в золе угля, полученной при определении его зольности. Схема анализа, состоящая из трех этапов (определение зольности; определение макросостава золы методом классического РФА [3]; определение микроэлементов в золе методом РФА ПВО) была апробирована при исследовании элементного состава зол угольных месторождений Багануур и Шивээ-Овоо (Монголия).

Для выбора условий проведения РФА-ПВО использовали стандартные образцы зол углей ЗУК-1, ЗУК-2, ЗУА-1 производства ИГХ СО РАН (г. Иркутск) и СО-1 производства ЗСИЦ (г. Екатеринбург). Пробы готовили в виде водных суспензий с добавлением внутреннего стандарта (раствора Ga). Измерения проводили на настольном рентгеновском спектрометре S2 Picofox (Bruker GmbH, Германия), оснащенном рентгеновской трубкой с молибденовым анодом. Случайная погрешность анализа, связанная с измерением и приготовлением излучателей, составляла 5–15 % в зависимости от элемента и его содержания. Расхождение между результатами РФА–ПВО и аттестованными значениями в большинстве случаев не превышало 25 отн. %. Помимо определения указанных микроэлементов, метод РФА-ПВО дает информацию о содержании некоторых макроэлементов (K, Ca, Ti, Mn, Fe) в золе угля.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-77-30006 с использованием оборудования Центров коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН и «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН.*

### Литература

1. Ревенко А.Г., Пашкова Г.В. Применение рентгенофлуоресцентного метода анализа для исследования состава угля и золы. Аналитика. 2022. Т. 12, № 6. С. 410–419.
2. Алов Н.В., Шаранов П.Ю. Совместное определение элементного состава и зольности угольных материалов методом рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением. Журнал аналитической химии. 2015. Т. 70. № 12. С. 1288–1296.
3. Chuparina E.V., Chubarov V.M., Paradina L.Ph. A comparative determination of major components in coal power plant wastes by wavelength dispersive X-ray fluorescence using pellet and fused bead specimens. Applied Radiation and Isotopes. 2019. V. 152. P. 162–167.



## КОНТРОЛЬ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПЕСЧАНЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

*Петрова Ю.Ю., Фаррахова Г.Р., Дурагин А.В., Чудова Е.С.,  
Таныкова Н.Г., Сутормин О.С.*

*Сургутский государственный университет,  
Институт естественных и технических наук, Сургут, Россия  
E-mail: [petrova\\_juju@surgu.ru](mailto:petrova_juju@surgu.ru)*

Мониторинг загрязнения почв нефтепродуктами – важная задача экологического контроля в нефтедобывающих регионах Западной Сибири, где высокая антропогенная нагрузка приводит к деградации почв и риску загрязнения грунтовых вод. Проблема особенно актуальна для песчаных суглинистых почв с низкой способностью к самоочищению. В связи с этим разработка эффективных методов анализа и мониторинга нефтепродуктов в почвах становится важным инструментом для оценки экологического состояния территорий и принятия своевременных мер по их восстановлению.

Среди применяемых методов анализа выделяется ИК-спектроскопия, представленная двумя методиками: экстракция четыреххлористым углеродом с измерением оптической плотности (РД 52.18.575-96) и БИК-спектроскопия с регистрацией спектров отражения в диапазоне 800–2400 нм (ГОСТ Р 54039-2010). Первая методика проста и охватывает широкий диапазон концентраций (25–950 ppm), но требует токсичных реагентов и имеет высокую погрешность. Вторая методика отличается экспрессностью, безопасностью и высокой точностью (погрешность до 1.2 %), однако требует дорогостоящего оборудования и предварительной градуировки. Эти ограничения подчеркивают необходимость разработки новых подходов. Одним из таких подходов является метод добавок, который позволяет исключить влияние матричных эффектов и минимизировать использование стандартов. Для Западной Сибири, с её уникальными почвенными условиями, такая методика особенно актуальна, так как повышает точность анализа и упрощает процедуру измерений, что важно для эффективного мониторинга загрязнения в нефтегазодобывающих регионах.

Объектом исследования были образцы кислых почв иллювиально-железистых и иллювиально-малогумусовых подзолов, сформированных на песчаной почвообразующей породе (поверхностный слой 20–30 см). Образцы почвы (~200 г) были загрязнены нефтью: 25, 50 и 100 г/кг. Через 72 ч образцы экстрагировали  $\text{CCl}_4$  в соотношении почва : экстрагент – 1:9, после чего регистрировали ИК-спектры пропускания экстрактов в кювете толщиной 1 мм в диапазоне 4000–400  $\text{см}^{-1}$ .

Используя метод добавок, в исследуемом образце почвы определили  $5.0 \pm 1.6$  и  $5.0 \pm 2.7$  г/кг НП ( $n=5$ ,  $P=0.95$ ) при 2856 и 2927  $\text{см}^{-1}$  соответственно. Параллельным методом ИК-спектрометрии (ПНД Ф 14.1:2:4.273-2012) было найдено  $3.3 \pm 0.8$  г/кг НП ( $n=3$ ,  $P=0.95$ ). Используя критерий Стьюдента, показали, что систематическая погрешность методики с использованием метода добавок отсутствует, следовательно, ее можно использовать для определения нефтепродуктов в почвах. Однако, ее воспроизводимость по сравнению с параллельной методикой ниже, что, по-видимому, вызвано влиянием матрицы.

В работе также было изучено влияние менее токсичных экстрагентов (диметилсульфоксид:вода) на степень извлечения и точность определения нефтепродуктов в почвах.

*Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 24-14-20030, <https://rscf.ru/project/24-14-20030/>) и Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (проект № 2023-227-08, приказ от 20.06.2023 № 10-П-1534).*



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТИЛГИДРАЗИНА И НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА В ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ МЕТОДОМ ТЕРМОДЕСОРБЦИОННОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

*Попов М.С., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В.*

*Лаборатория экоаналитических исследований, Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика», Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова Наб. Северной Двины, д. 17, 163002, г. Архангельск, Россия.*

*E-mail: [markiz.popov@yandex.ru](mailto:markiz.popov@yandex.ru)*

Развитие ракетно-космической деятельности и увеличение числа пусков ракет каждый год вызывает необходимость тщательного контроля содержания токсичных компонентов ракетного топлива в объектах окружающей среды. Несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и один из первых продуктов его трансформации метилгидразин (МГ), который так же используется в качестве топлива в некоторых ракетно-носителях, необходимо детектировать в первую очередь при экологическом мониторинге районов падений первых ступеней, при утечках топлива или аварийных запусках.

Подходы, применяемые для детектирования данных соединений, обладают такими недостатками как большая продолжительность, трудоёмкость, стоимость, низкая чувствительность и необходимость дериватизации. В связи с этим, не теряет актуальности поиск альтернативных подходов. В качестве такого подхода может выступать термодесорбционная газовая хромато-масс-спектрометрия с предварительной дериватизацией *in situ*, которая позволяет надёжно детектировать гидразоны, образованные в результате дериватизации, устойчивые в условиях термодесорбции.

Разработан подход к определению НДМГ и МГ в образцах песчаной почвы методом термодесорбционной газовой хромато-масс-спектрометрии. Количественный анализ проводился в режиме мониторинга выбранных ионов с использованием пентанала в качестве агента дериватизации *in situ*. Были исследованы такие ключевые параметры, как температура и время термодесорбции, а также добавление различных реагентов в почву для улучшения извлечения. Были оптимизированы условия дериватизации *in situ*. При оптимальных условиях линейный диапазон метода составлял 0,04-500 мг/кг. Предел обнаружения (LOD, S/N=3) составлял 0,012-0,015 мг/кг. Подход использовался для обнаружения МГ и НДМГ в реальных образцах почвы с известной начальной концентрацией. Степень извлечения составила от 74% до 98% с относительным стандартным отклонением < 20% при различных уровнях концентрации от 0,5 мг кг<sup>-1</sup> до 250 мг кг<sup>-1</sup>. По сравнению с существующими методами этот метод имеет более низкий или аналогичный предел обнаружения и обладает такими преимуществами, как простота, быстрота, экологичность, небольшое количество опасного образца, требуемого для анализа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект госзадания FSRU-2024-0003).*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИРАЛЬНЫХ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ МЕТОДОМ ВЭЖХ НА СОРБЕНТАХ С ЭРЕМОМИЦИНОМ

*Просунцова Д.С., Бурцев Б.С., Ананьева И.А.*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,*

*химический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: [inhusoria6@yandex.ru](mailto:inhusoria6@yandex.ru)*

Важность стереохимии для медицинской химии и фармакологии общепризнанна, а разное поведение энантиомеров полностью документировано. Многие фармацевтические загрязнители являются хиральными, то есть существуют в окружающей среде либо в виде одного энантиомера, либо в виде смесей двух энантиомеров. Энантиомеры обладают одинаковыми физическими и химическими свойствами, однако из-за разницы в пространственных конфигурациях они взаимодействуют по-разному с ферментами, рецепторами или другими хиральными молекулами, что приводит к различным биологическим реакциям. В результате процесс биodeградации и экотоксичность часто являются энантиоселективными. В исследованиях экотоксичности энантиомерные пары обычно рассматриваются как единое соединение, а не как индивидуальные, но их негативные эффекты на экологию могут быть различными [1]. Существует лишь ограниченное число хиральных аналитических методов, позволяющих точно измерить энантиомерную фракцию (ЭФ) в экологических матрицах, оценив различия в процессе биodeградации. Один из них — это жидкостная хроматография с применением хиральных неподвижных фаз.

$\beta$ -Блокаторы — важные хиральные фармацевтические препараты, обнаруженные в качестве микрозагрязнителей в водах окружающей среды в результате неполного удаления при очистке сточных вод. Поскольку они проявляют энантиоселективную токсичность, необходимо включать хиральную информацию в оценку их экологического риска.

В работе оценивали возможность применения двух новых хиральных сорбентов с отечественным макроциклическим антибиотиком эремомицином для определения ЭФ  $\beta$ -блокаторов и других хиральных фармацевтических препаратов в водных средах методом ВЭЖХ. Для извлечения аналитов из водной среды применяли твердофазную экстракцию с различными элюентами.

**Таблица 1.** Характеристики хиральных колонок.

| Колонка | Сорбент                              | Длина | Размер частиц | N, тт/м |
|---------|--------------------------------------|-------|---------------|---------|
| 1 [2]   | Силикагель-эремомицин                | 250   | 5 мкм         | 10000   |
| 2 [3]   | Полистирол-дивинилбензол -эремомицин | 100   | 5 мкм         | 8000    |

*Выражаем благодарность за предоставленный сорбент д.х.н. Староверову С.М. (ЗАО «БиоХимМак СТ», Москва, Россия).*

### Литература

1. Ribeiro A. R., Castro P. M. L., Tiritan M. E. Chiral pharmaceuticals in the environment // Environmental Chemistry Letters. 2012. Vol. 10. P. 239-253.
2. Kuznetsov M. A., Staroverov S. M., Sarvin N., Puzankov R., Nesterenko P. N. Enantioseparation of  $\beta$ -Blockers Using Silica-Immobilised Eremomycin Derivatives as Chiral Stationary Phases in HPLC // Symmetry. 2023. Vol. 15. №. 2. P. 373.
3. Chikurova N. Y., Prosuntsova D. S., Stavrianidi A. N., Staroverov S. M., Ananieva I. A., Smolenkov A. D., Chernobrovkina A. V. Novel Mixed-Mode Adsorbents for HPLC Based on Different Substrates Modified with Eremomycin // J Anal Chem. 2023. Vol. 78. №. 5. P. 592-604.

## **О МИГРАЦИИ РТУТИ В ПИЩЕВОЙ ЦЕПОЧКЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Роева Н.Н., Яковлюк Р.О., Петровский Н.А.**

*Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),*

*Москва, Россия*

*E-mail: [roeva@mgipp.ru](mailto:roeva@mgipp.ru)*

Ртуть является одним из наиболее токсичных элементов. Различные её химические формы оказывают своеобразное специфическое влияние на живые организмы, что в свою очередь предопределяет необходимость изучения поведения форм данного токсиканта в каждом звене пищевой цепочки.

В данной работе проведено исследование подвижных форм ртути в пищевой цепочке, состоящей из следующих звеньев: донные отложения – водоросли – мидии, поскольку именно эти формы являются показателем миграционной способности этого элемента из донных отложений в водные потоки, т.е. показателем вторичного загрязнения любой водной экосистемы.

Исследования показали, что подвижные формы ртути представлены её органокомплексными соединениями, содержание которых в водорослях составляет до 50%, а в мидиях – около 20%.

В донных отложениях отмечено преобладание взвешенных форм ртути, вклад которых составляет 40-80%. Содержание самых токсичных алкилртутных соединений в донных отложениях оказалось незначительным (не более 0,8% от общего содержания ртути), а в водорослях и мидиях более существенным и составило 42% и 56% соответственно, причём содержание алкилртути в панцире мидии в 2-3 раза превышало её содержание в мелких тканях мидии.

Установлено, что вклад органических соединений ртути в различных звеньях пищевой цепочки зависит от химической формы ртути, состава донных отложений и расстояния от источника загрязнения, а в живых организмах – от вида органа.

В качестве базового метода анализа применялся метод беспламенной атомной абсорбции.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ В ПОЧВАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

*Роева Н.Н., Кольцова Е.Г., Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г.,  
Мурачев Е.Б., Орловский Р.А.*

*Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),  
Москва, Россия*

*E-mail: [roeva@mgipp.ru](mailto:roeva@mgipp.ru)*

Элементоорганические пестициды достаточно широко применяются в качестве биоцидов. К числу таких соединений относятся соединения трибутилолова, такие как трибутилоловоацетат (ТБОА), трибутилоловохлорид (ТБОХ), трибутилоловонитрат (ТБОН) и др. Предельно допустимая концентрация этих соединений в почвах составляет 1-2 мг/кг.

С точки зрения аналитического контроля содержания соединений трибутилолова в почвах эта задача является достаточно сложной, поскольку эти соединения плохо растворимы в воде, а в избыточных концентрациях достаточно токсична, особенно трибутилолово (ТБТО), прочно связаны с почвенно-поглощающим комплексом, ввиду чего трудно экстрагируются. Поэтому определение соединений трибутилолова в почвах является актуальной задачей.

Целью данной работы являлось определение соединений трибутилолова в почвах Московской, Калужской и Тульской областей.

Оптимизированы условия пробоотбора и пробоподготовки почвенных образцов для определения в них соединений трибутилолова.

Извлечение соединений трибутилолова из почв осуществляли изопропанолом (соотношение почва:раствор 1:10). Для качественной идентификации соединений трибутилолова был использован метод тонкослойной хроматографии на пластинках «Силуфол». В качестве элюентов использовали смеси растворителей: бутанол-этанол-уксусная кислота и гептан-ацетон в объемных соотношениях 5:5:1 и 20:20 соответственно. В качестве базового количественного метода анализа применялся метод газо-жидкостной хроматографии с детектором по захвату электронов. Данный метод был нами выбран, потому что по сравнению с другими методами, применяемыми для аналитического контроля содержания соединений трибутилолова в почвах (электрохимических, фотоколориметрического метода с применением 3,5,7-триоксифенилфлуорона и дитизона) является более чувствительным, экспрессным и точным.

Анализ соединений трибутилолова проводили на хроматографе марки GC-2010 plus. Определены оптимальные условия хроматографирования: температура термостата – 450 °С; диапазон давлений – 0–970 кПа; расход газа-носителя через инжектор – 0–1200 мл/мин. Система обратной продувки, имеющаяся в хроматографе, позволяет изменять направление потока газа-носителя с целью удаления из колонки веществ, остающихся после детектирования целевых компонентов.

Почвенный мониторинг показал, что содержание ТБОА, ТБОХ, ТБОН, ТБТО в почвах Тульской области составило 2,8; 3,4; 4,2 и 4,8 мг/кг соответственно, что превышало их предельно допустимые концентрации; в почвах Калужской области содержание веществ находилось практически на уровне их ПДК и составило соответственно 1,8; 1,5; 1,9 мг/кг, за исключением ТБТО, для которого была отмечена высокая концентрация (3,5 мг/кг); в почвах Московской области содержание ТБОА, ТБОХ, ТБОН и ТБТО находилось на уровне их ПДК и составило соответственно 0,8; 1,1; 1,4 и 1,8 мг/кг.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ ДОСТУПНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ В РАЙОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАРАБАШСКОГО  
МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА**

**Савонина Е.Ю., Козлов А.Э., Марютина Т.А.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена  
Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.*

*Вернадского Российской академии наук, Россия, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.19.*

*E-mail: [savoninae@mail.ru](mailto:savoninae@mail.ru)*

Выделение различных форм нахождения элементов из объектов окружающей среды, в том числе из почв, представляет большой интерес для исследователей, работающих в области экологии. Это связано с тем, что потенциальная опасность загрязнения для биоты напрямую зависит от наличия и концентрации подвижных и биологически доступных форм элементов, что, в свою очередь, связано с их химическими формами и типом связи с матрицей почвы. Для фракционирования различных по подвижности форм элементов применяют методики последовательного экстрагирования (или фракционирования), позволяющие получить информацию о физико-химической подвижности и потенциальной биологической доступности элементов. Использование селективных экстрагентов при фракционировании направлено на имитацию природных условий, при которых могут «высвобождаться» металлы, связанные с определенными компонентами почв.

Целью исследования являлось определение содержания биологически доступных форм нахождения тяжелых металлов в почвах в районе Карабашского медеплавильного комбината (КМК) с целью оценки их экологического состояния. Почти 30 лет назад (Приказ Минприроды от 25 июня 1996 года № 299) город Карабаш и прилегающие территории были охарактеризованы как зона экологического бедствия из-за воздействия КМК на окружающую среду. К настоящему времени комбинат по переработке меди модернизирован, установлены современные системы очистки выбросов, рекультивируются шламы в шлакоотвалах и хвостохранилищах. Появилась тенденция к улучшению экологической обстановки.

В ходе проведенных исследований определено валовое содержание Cu, Co, Cr, Pb, Zn и других элементов в образцах приповерхностных (5-10 см) и глубинных (до 25 см) почв, отобранных на расстоянии 1-10 км от комбината. Содержание практически всех определяемых элементов во всех образцах почв в сотни раз превышает значения ПДК по ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». Для более детальной оценки экологического состояния исследуемой территории из наиболее загрязненных образцов почв были выделены обменная/водорастворимая и кислоторастворимая формы элементов, являющиеся наиболее опасными для окружающей среды. Эти так называемые подвижные (легкодоступные с точки зрения биодоступности) формы элементов включают в основном неспецифически адсорбированные катионы, то есть ту часть обменных катионов, которая удерживается почвой наименее прочно. Извлечение указанных форм элементов выполнено в проточном режиме с применением микроколонок. Выщелачивание в проточном режиме позволяет получить более корректные данные по содержанию различных форм тяжелых металлов в почвах, чем в случае статического экстрагирования, так как все природные процессы динамичны. В качестве выщелачивающих реагентов использованы растворы: 0,05 М нитрат кальция и 0,43 М уксусная кислота.

*Работа выполнена за счет средств бюджетного финансирования ГЕОХИ РАН.*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ, ФОРМИРУЮЩИХ НЕПРИЯТНЫЙ ЗАПАХ СТОЧНЫХ ВОД РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Соколова Л. И., Гацанюк А. Б., Липченко Е. В., Хуторная И. Ю.*

*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия*

*E-mail: [sokolova.li@dvfu.ru](mailto:sokolova.li@dvfu.ru)*

За последние несколько десятилетий загрязнение окружающей среды в том числе сточными водами все чаще становится решающим фактором, влияющим на качество жизни и состояние здоровья населения. Одним из негативных факторов в сточных водах является наличие неприятного запаха, который исходит от летучих соединений, попадающих в воздух путем испарения, передается ветром дальше и загрязняет близлежащие районы. Загрязнение воздушной среды и воды считается основной причиной заболеваний, таких как сердечно-сосудистая дисфункция, воспаление, респираторные инфекции и рак, которые ежегодно уносят миллионы жизней во всем мире. В сточных водах присутствует разнообразный набор соединений, ответственных за запах, выделяемых при белковой порче водных организмов, ферментативного и не ферментативного окисления липидов гидробионтов [1,2].

Целью данной работы являлось исследование летучих органических соединений, ответственных за формирование неприятных запахов сточных вод рыбообработывающих предприятий. Объектом исследования являлась сточная вода одного из рыбообработывающих предприятий Приморского края.

Исследовано несколько методов выделения летучих органических соединений из исследуемого объекта. Наибольшую эффективность показал метод перегонки с водяным паром и селективным улавливанием соединений в ловушки, заполненные последовательно растворами соляной кислоты и 2,4-Динитрофенилгидразина. Летучие амины выделяли в виде солянокислых солей, с последующей регенерацией гидроксидом калия, карбонильные соединения – 2,4-Динитрофенилгидразонов (2,4-ДНФГ). Разделение и анализ летучей фракции проводили методом ГХ-МС, разделение 2,4-ДНФГ – методом ВЭЖХ и ВЭЖХ-МС.

В сточных водах обнаружены летучие соединения различных классов: амины, карбонильные и серу содержащие соединения, фенолы, среди которых индол, метиламин, N,N-диметил-1-додеканамин, нонаналь, деканаль, 3-гептадеканаль, 2-метилфенол, бензотиазол, диметилтрисульфид. Из модельной системы сточной воды методами экстракции выделены предшественники летучих органических соединений. Методом ГХ-МС идентифицированы высшие жирные кислоты, аминокислоты, эфиры карбоновых кислот. Исследована возможность извлечения соединений, ответственных за неприятные запахи сточных вод, с помощью сорбентов. Показано, что сорбент на основе углеродного волокна позволяет значительно снизить содержание аминов, карбонильных соединений и фенолов в сточной воде. Содержание аминов снизилось в почти в 4 раза, карбонильных соединений от 2 до 4-х раз, производных фенолов более чем в 10 раз.

### Литература

1. Мегеда, Е. В., Ким И. Н. Биохимические аспекты формирования запаха сырых гидробионтов // Известия ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 345–371.
2. Скурихин И. М., Нечаев А. П. Все о пище с точки зрения химика: справочное издание // Москва: Высшая школа. 1991. С. 288.

## ЭКСПРЕСС-ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АРИЛАМИНОВ В ВОДАХ

*Соколова Т.А.<sup>1</sup>, Цыгулева Э.И.<sup>2</sup>, Косырева И.В.<sup>1</sup>, Доронин С.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,  
Институт химии, Саратов, Россия*

<sup>2</sup>*Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии  
имени Н.И. Вавилова, Институт генетики и агрономии. Саратов, Россия*

*E-mail: [tata.sokolova-95@yandex.ru](mailto:tata.sokolova-95@yandex.ru)*

Для эффективного решения экологических проблем одной из актуальных аналитических задач является разработка экспресс-методов определения различных аналитов для внелабораторного анализа. При этом повышается скорость анализа, его экономичность, возможность получения информации не специалистами-аналитиками [1].

Среди приоритетных загрязнителей объектов окружающей среды (ООС) особое место занимает группа органических веществ – ариламинов (полупродукты органического синтеза; компоненты фармпрепаратов, их метаболитов и т.п.), широкое применение которых связано с разнообразием их свойств. Многие ариламины (некоторые пестициды, гербициды, красители и т.п.) являются токсикантами, представляющими серьезную опасность для здоровья человека и ООС.

Для контроля низких содержаний аналитов (как лекарственных препаратов, так и токсикантов), их предварительного разделения и отделения от матрицы, как правило, требуется стадия концентрирования для последующего определения различными методами, в том числе и в тестовых вариантах. Для этой цели перспективна жидкостная экстракция мицеллярно-насыщенными фазами ПАВ, которые получают из разбавленных растворов дифильных соединений. Такие системы способны солюбилизовать как гидрофобные, так и гидрофильные органические аналиты; удовлетворяют принципам «зелёной химии» (нелетучие, малотоксичные) и являются альтернативой токсичным классическим растворителям [2].

Предложен новый подход, основанный на сочетании катализа анионными (эффект «мицеллярного катализа») и концентрирования неионными ПАВ (эффект «мицеллярной микроэкстракции») ПАВ на примере реакций конденсации ариламинов с ароматическими альдегидами. Он реализован для определения некоторых лекарственных ариламинов (*n*-аминобензойная кислота, новокаин, новокаиамид, церукал) с *n*-диметиламинобензальдегидом в кислой среде, в том числе и для установления их суммарного содержания.

В качестве эффективных экстрагентов предложены мицеллярно-насыщенные фазы анионных и неионных ПАВ, полученные в присутствии различных по природе высаливателей, влияющих на характер фазового разделения и объём таких фаз, и, как следствие, на прецизионность результатов. Так, тест-средства на основе фаз Тритона X-114 и додецилсульфата натрия, позволяют эффективно концентрировать аналитические формы оснований Шиффа исследуемых аналитов (степени извлечения,  $R = 82-97\%$ ) и определять их на уровне нанограммовых количеств в водных средах при концентрациях порядка  $\times 10^{-8}$  М методами колориметрии с применением цифровых технологий.

### Литература

1. Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г. Химические тест-методы анализа // М.: Едиториал УРСС. 2006. С. 304.
2. Соколова Т.А., Косырева И.В., Доронин С.Ю. Колориметрическое экспресс-определение биологически активных органических аналитов // Журнал аналитической химии. 2023. Т.78. №9. С. 813-820.

## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛИФОСАТА И АМИНОМЕТИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ В ПОЧВЕ И ВОДЕ МЕТОДОМ ВЭЖХ-МС/МС

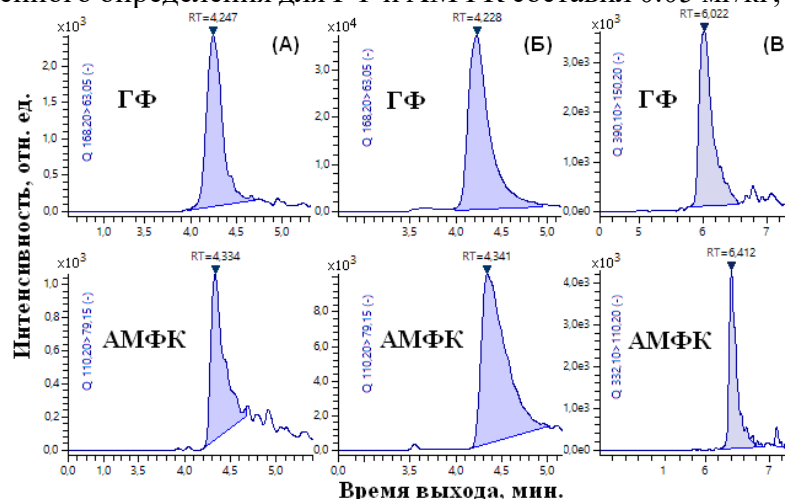
*Сорокин А.В., Жедулов А.Е.*

*Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов (ФГБУ «ВГНКИ»), Москва, Россия*

*E-mail: [alex\\_sorokin@list.ru](mailto:alex_sorokin@list.ru)*

Глифосат (ГФ) – популярный гербицид, применяется при выращивании генетически-модифицированных культур; в качестве десиканта; используется для межсезонной обработки полей, придорожных и технических территорий. Вместе с его метаболитом – аминометилфосфоновой кислотой (АМФК), они могут быть вовлечены в миграционные процессы почвенного профиля, представлять угрозу его микробиоте. Данные соединения могут стать причиной появления новых, устойчивых видов сорняков; являться причиной загрязнения «органических» с/х культур. Для контроля содержания данных соединений, автором, была разработана методика, позволяющая проводить анализ, без дериватизации аналитов (ФР.1.31.2023.46485). Предел количественного определения ГФ и АМФК в почве составил 0.02 мг/кг и 0.04 мг/кг, соответственно; в воде – 0.001 и 0.002 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно. При анализе почвогрунтов, проводят экстракцию 0.1 %-ным водным раствором аммиака, очищают экстракт на картридже Oasis HLB, осаждают компоненты матрицы ацетонитрилом и концентрируют. При анализе воды, к необходимому объему пробы, добавляют уксусную кислоту и 10 %-ный раствор ЭДТА-Na<sub>2</sub>, далее проводят работы как при анализе почвогрунтов. Анализ проводят на хромато-масс-спектрометре Nexera X2 – Shimadzu 8060, используют колонку ACQUITY UPLC HSS T3 (зерно 1.8 мкм, внутренний диаметр 2.1 мм, длина 100 мм (Waters, США)) [1], на рис. 1: (А) и (Б).

Так же, для анализа почвогрунтов успешно модифицировали методику, основанную на дериватизации (ФР.1.39.2018.29642). Предполагаемый достигнутый предел количественного определения для ГФ и АМФК составил 0.05 мг/кг, на рис. 1: (В).



**Рисунок 1.** Примеры масс-хроматограмм глифосата и АМФК в воде (А), почвогрунтах (Б, В).

### Литература

1. Сорокин А.В. Прямое определение глифосата и его метаболита в растительном сырье и объектах окружающей среды методом хромато-масс-спектрометрии // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2023. №89(9). С. 13–24.



## ОБОБЩЕННЫЕ И НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ МАЛЫХ РЕК ОЗЕРА СЕЛИГЕР

**Тимакова С.И., Михайлова А.В., Сенин В.Г.**

*Институт геохимии и аналитической химии имени*

*В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия*

*E-mail: [timakova@geokhi.ru](mailto:timakova@geokhi.ru)*

Вода малых рек-притоков (Глушицы, Близны и Ускройни) о. Селигер Осташковского района Тверской области и местных других болотных рек до настоящего времени практически не была исследована, особенно это касается р. Ускройня. Реки находятся в малонаселенной лесной зоне, где водные системы не испытывают фактической антропогенной нагрузки. Однако в условиях активного изменения климата и возможного воздействия антропогенных факторов необходим определенный набор эколого-аналитических данных для оценки состояния (изменения) этих водных систем региона, а также – *потерь и ущерба (социального, экономического и экологического) от чрезвычайных ситуаций*. Одними из показателей состояния воды, которые чаще всего определяют и ими характеризуют качество воды, являются обобщенные (суммарные) показатели [1].

Авторами в мае 2023 г. начато наблюдение за химическим составом воды малых рек Осташкова: Глушицы, Близны, Ускройни, Большой Коши и Селижаровки. Пробы воды отбирали в мае-июне и сентябре-октябре на открытой воде, в зоне течения. Воду анализировали методами мокрой химии и определяли: водородный показатель; общую минерализацию (сухой остаток); жесткость общую; перманганатную окисляемость (ПО), щелочность и нефтепродукты (суммарно). Отмечено, что содержание гидрохимических показателей (мутности, цветности, перманганатной окисляемости) повышено [2]. Однако это характерно для болотных рек и имеет природный характер. Также определяли Al, Fe общее, Mn, Cd, Cu, As, Hg, Pb, Ca, Mg, Na, K, Ni, Se, Mo, N (нитрат, нитрит, аммонийный), Cl, S (сульфаты, сероводород) и F. Из этих компонентов превышение наблюдалось только по железу и гидрокарбонатам.

Сложность своевременной доставки проб воды в лабораторию привело авторов к разработке мини-фотометра [3], доработка которого позволит определять многие компоненты на месте (in situ).

По результатам проведенных аналитических работ можно сделать вывод о том, что в настоящее время вода в реках чистая, антропогенно не загрязнена. Содержание Fe, Al, Ca, Si и некоторых других элементов соответствует составу коренных пород Валдайской возвышенности (известняки, мергель и глины). Комплекс полученных данных позволил заключить, что современное состояние этих водных объектов, сформировавшихся и находящихся в природной среде, можно принять за фоновые показатели для региона.

*Работа выполнена за счет средств бюджетного финансирования ГЕОХИ РАН.*

### **Литература**

1. Золотов Ю.А. Обобщенные показатели качества воды // Журн. аналит. химии. 2012. Т. 67. № 11. С. 967.
2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и/или безвредности для человека факторов среды обитания.
3. Кузьмин И.И., Чыонг Т.Х., Симакина Я.И., Михайлова А.В., Фабелинский Ю.И. Определение ионов меди(II) методом спектроскопии диффузного отражения // Тонкие химические технологии. 2019. Т. 14. № 2. С. 78.

**ПРОБЛЕМЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ АТМОСФЕРНЫХ  
ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПО ОБРАБОТКЕ, УТИЛИЗАЦИИ И  
ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ОТХОДОВ I-II КЛАССОВ ОПАСНОСТИ**

***Трубачев А.В., Трубачева Л.В.***

*Удмуртский государственный университет,  
Институт естественных наук, Ижевск, Россия  
E-mail: [trub\\_av@mail.ru](mailto:trub_av@mail.ru)*

Производственно-технические комплексы (ПТК) по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I-II классов опасности в Саратовской, Кировской, Курганской областях и Удмуртской республике, строящиеся на базе бывших объектов по хранению и уничтожению химического оружия, планируется ввести в промышленную эксплуатацию в 2025–2026 г.г. Для реализации проектных решений на данных ПТК предложен ряд технологий, в т.ч. высокотемпературное обезвреживание, которое предполагается проводить путем сжигания твердых и жидких отходов в барабанной печи на установках термического обезвреживания (УТО). Согласно проектной документации, в результате сжигания будет образовываться порядка 130 млн.куб.м дымовых газов в год. С целью определения содержания загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферных выбросах предполагается проводить мониторинг их химического состава по 25 наименованиям, включающим такие токсичные компоненты, как диоксины, соединения ртути, кадмия, бария, кобальта, ванадия, мышьяка, селена, свинца, хрома, и меди.

Выполнение измерений содержания диоксинов в пробах промышленных выбросов и атмосферном воздухе в настоящее время проводится в соответствии с ПНДФ 13.1.65-08 и ПНДФ 13.3.64-08 хромато-масс-спектрометрическим методом, а измерение массовых концентраций в данных средах других указанных выше токсичных компонентов - в соответствии с ПНДФ 13.1:2:3.71-11 методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Данные методики достаточно трудоёмки, требуют весьма больших затрат времени и не располагают возможностями «on-line» контроля содержания ЗВ в потоках газовых сред. В связи с этим возникает проблема проведения такого контроля в отношении состава газовых выбросов УТО и атмосферного воздуха на территориях, прилегающих к ПТК.

На современном этапе развития химико-аналитический арсенал не обладает ни приборным, ни методическим обеспечением для решения указанной проблемы, что может привести к существенным экологическим рискам функционирования ПТК в плане оперативного реагирования на сверхнормативные загрязнения окружающей среды опасными химическими веществами. Разработка и создание аналитических комплексов и методик, позволяющих на уровне, максимально приближенном к условиям «on-line» контроля газовых потоков на содержание названных выше ЗВ, должны занимать приоритетные позиции в экоаналитической повестке.

Необходимо также отметить, что производственно-технические комплексы по обработке утилизации и обезвреживанию отходов I–II классов являются объектами постоянно-возобновляемой химической опасности за счет регулярного поступления на их территории токсичных отходов с последующим сжиганием, реализация которого в отечественных условиях не может быть признана экологически-безопасной в имеющихся пределах оценок. В связи с вышеизложенным, строительство и функционирование ПТК должно осуществляться на достаточном удалении (по предварительным оценкам не менее 50 км) от мест с постоянно-проживающим населением, от земель сельскохозяйственного назначения, а также от развитых сетей водных систем во избежание распространения вредных веществ в почвенных горизонтах.

# ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ НА АНАЛИЗАТОРЕ РА 915-М С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИСТАВКИ ПИРО-915+

*Ухова Н.Н., Черкашина Т.Ю., Петрова А.Н., Иванов А.В.*

*ФГБНУ Институт земной коры СО РАН*

*E-mail: [nat\\_ukhova@crust.irk.ru](mailto:nat_ukhova@crust.irk.ru)*

Согласно санитарным правилам и нормам [1] и классификации Всемирной организации здравоохранения [2], ртуть (Hg) является опасным элементом для здоровья человека и окружающей среды и принадлежит к I классу опасности. В связи с этим оценка уровня загрязнения ртутью объектов окружающей среды представляет собой актуальную задачу, учитывая способность Hg к трансформации между компонентами экосистем.

Цель исследования: внедрение методики измерения массовой доли общей ртути в диапазоне  $0.005\text{--}250\text{ млн}^{-1}$  в пробах грунтов и почв (ПНД Ф 16.1:2:2.80-2013). Апробация методики проведена на 24 геологических образцах (доломиты, мергели, суглинки, туфопесчаники) в рамках геохимической оценки потенциально рудоносных участков.

Исследование выполнено на анализаторе ртути РА-915М (ООО "Люмэкс", Санкт-Петербург, Россия) с пиролитической приставкой Пиро-915+ с коррекцией неселективного поглощения на основе эффекта Зеймана. Метод измерения массовой доли общей ртути основан на термическом разложении пробы и измерении атомного поглощения ртути на резонансной длине волны 253.7 нм. Массовая доля Hg в пробе определяется по величине площади пика на основании предварительно установленной градуировочной характеристики с использованием программного обеспечения "РАПИД". Градуировку прибора проводили по адсорбированным на активированном угле градуировочным образцам, приготовленным последовательным разбавлением раствора ГСО Hg (II) ГОСТ 7879-2001. Средний результат определения содержания Hg для образцов составил (мг/кг): № 31 (мергель) –  $0.0099 \pm 0.0045$ , № 32 (доломит) –  $0.0072 \pm 0.0032$ , № 40 (туфопесчаник) –  $0.0117 \pm 0.0053$ , № 70 (суглинок) –  $0.0466 \pm 0.021$ . Контроль точности измерений проведен с использованием стандартных образцов (СО), проанализированных по методике с последующей статистической обработкой (Таблица 1).

**Таблица 1.** Определение массовой доли ртути в стандартных образцах.

| № | СО     | Тип СО          | Аттестованное значение, мг/кг | Найденное значение, мг/кг | Кол-во определений |
|---|--------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1 | СДПС-3 | почва (Россия)  | $0.29 \pm 0.03$               | $0.324 \pm 0.097$         | 4                  |
| 2 | JSD-2  | осадок (Япония) | (0.11)                        | $0.096 \pm 0.044$         | 4                  |
| 3 | GSS-6  | почва (Китай)   | (0.077)                       | $0.070 \pm 0.032$         | 4                  |

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-77-30006 с использованием оборудования Центра коллективного пользования: «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН.*

## Литература

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Москва. 2021. С. 469.
2. IARC, International Agency for Research on Cancer. 2018. Agents Classified by the IARC Monographs. <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕФАЗОЛИНА В СТОЧНОЙ ВОДЕ МОДИФИЦИРОВАННЫМ АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИМ СЕНСОРОМ

*Фам Тхи Гам<sup>1,2</sup>, Зяблов А.Н.<sup>1</sup>, Фам Тхи Бик Нгок<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Ханойский университет бизнеса и технологий, Ханой, Вьетнам

<sup>3</sup>Ханойский фармацевтический университет, Ханой, Вьетнам

E-mail: [alex-n-z@yandex.ru](mailto:alex-n-z@yandex.ru)

Антибиотики являются важным компонентом современной медицины как для человека, так и для ветеринарии. Однако увеличение их производства и потребления приводит к попаданию антибиотиков в сточные воды вместе с отходами, что может оказывать негативное влияние на экосистему [1]. В связи с этим особенно актуальна разработка экспрессных методов определения антибиотиков вне лабораторных условий. Одним из перспективных решений этой задачи является использование амперометрических сенсоров. Цель работы - разработка амперометрических сенсоров на основе молекулярно-импринтированных полимеров (МИП) с отпечатками цефазолина для его определения в сточной воде.

Для получения полимеров с отпечатками антибиотика цефазолина готовили полимеризационную смесь, содержащую сополимер диангирида 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты с 4,4' диаминодифенилоксидом (ОАО МИПП НПО «Пластик», г. Москва) и антибиотика (темплат). Синтез проводили по методике [2, 3].

Определение цефазолина в модельных растворах проводили методом градуировочного графика. Предел обнаружения антибиотика цефазолина составляет –  $1.5 \cdot 10^{-6}$  г/дм<sup>3</sup>, а диапазон определяемых концентраций –  $1.0 \cdot 10^{-1}$  –  $1.0 \cdot 10^{-5}$  г/дм<sup>3</sup>. Относительное стандартное отклонение определения не превышает 5%.

Правильность определения цефазолина в модельных растворах и сточной воде с помощью модифицированного амперометрического сенсора была проверена методом «введено – найдено». Показано, что сенсоры на основе молекулярно-импринтированного полимера избирательно реагируют только на те антибиотики, которые были использованы в качестве шаблонов при их синтезе.

Для оценки остаточного содержания цефазолина в сточных водах были проанализированы образцы, отобранные на очистных сооружениях города Воронеж. В исследуемых образцах наличие антибиотика в изучаемом диапазоне концентраций не выявлено.

Таким образом в ходе работы разработан амперометрический сенсор на основе молекулярно-импринтированных полимеров с отпечатками цефазолина.

### Литература

1. Polianciuc S.I., Gurzău A.E., Kiss B., Ștefan M.G., Loghin F. Antibiotics in the environment: causes and consequences // Medicine and pharmacy reports. 2020. Vol. 93, № 3. P. 231-240.
2. Патент на полезную модель № 102264 U1 Российская Федерация, МПК G01N 27/12. Пьезосенсор на основе полимеров с молекулярным отпечатком аминокислот : № 2010142819/28 : заявл. 19.10.2010 : опубл. 20.02.2011 / А. Н. Зяблов, Л. М. Никитская, Ю. А. Жиброва [и др.] ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный университет".
3. Као Н.Л., Зяблов А.Н., Дуванова О.В., Селеменев В.Ф. Сорбция карбоновых кислот молекулярно-импринтированными полимерами // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2020. Т. 63. № 2. С. 71-76.



## СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ПРИРОДНОЙ ВОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСТРАКТА МАРЕНЫ КРАСИЛЬНОЙ (*RUBIA TINCTORUM*) ПОЛУЧЕННОГО С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

**Федосов П. А., Шишов А.Ю., Бочко Т.Н.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [petr\\_fedosov@inbox.ru](mailto:petr_fedosov@inbox.ru)*

Алюминий является одним из самых распространенных металлов в земной коре, его содержание оценивается в 8,8 % по массе [1]. В результате естественного выветривания горных пород алюминий попадает в окружающую среду, включая почву, воду и пищевые продукты, такие как овощи, фрукты и чайные растения [1]. Дополнительными источниками повышенной концентрации алюминия в воде и продуктах питания являются использование пищевых добавок, содержащих алюминий, а также алюминиевой посуды. Таким образом, питьевая вода и пищевые продукты становятся основными источниками поступления алюминия в организм человека.

Повышенная концентрация алюминия в организме представляет серьезную угрозу для здоровья, так как этот металл обладает нейротоксичным действием. Доказано, что алюминий способствует развитию болезни Альцгеймера (БА) [2]. Исследования показывают, что содержание алюминия в мозге более 2 мкг/г сухой ткани может ускорять развитие этого заболевания [3]. Всемирная организация здравоохранения установила допустимую норму потребления алюминия для человека на уровне 1 мг на 1 кг массы тела в день [4]. В связи с этим определение содержания алюминия в природной воде и пищевых продуктах является важной задачей современной аналитической химии.

В последние годы активно развивается направление «зеленой химии», которое предполагает использование экологически безопасных и натуральных реагентов вместо синтетических. Одним из перспективных подходов в этом направлении является применение экстрактов растений в качестве фотометрических реагентов для определения ионов металлов. В данной работе в качестве источника таких реагентов использовались корни марены красильной — растения из семейства Рубиевых, известного своими природными красителями. Корни марены содержат антрахиноновые соединения, такие как ализарин, пурпурин и псевдопурпурин, способные образовывать комплексы с ионами металлов, включая алюминий [5].

Для выделения красителей из корней марены красильной в работе применялись глубокие эвтектические растворители (ГЭР). Вариация состава ГЭР позволяет достичь высокой степени извлечения целевых соединений и повысить чувствительность метода.

В данной работе впервые продемонстрировано использование ГЭР для экстракции антрахиноновых красителей из корней марены красильной с целью спектрофотометрического определения алюминия в пищевых продуктах. Были изучены влияние состава ГЭР на эффективность извлечения красителей, а также оптимальные условия для образования комплекса алюминия: объем водной фазы, значение pH, время экстракции и соотношение массы корней марены к объему растворителя. Полученные результаты подтверждают перспективность использования марены красильной и ГЭР для разработки экологически безопасных методов анализа алюминия в природной воде и пищевых объектах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 24-43-02023). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава веществ).*

## АНАЛИЗ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРОБАХ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*Финаков Г.Г., Левашова Е.А., Зыкова Г.В.*

*Федеральное государственное унитарное предприятие Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, ул. Щукинская, 40, Москва, 123182 Россия  
E-mail: [finakoff@yahoo.com](mailto:finakoff@yahoo.com)*

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) - химические соединения, состоящие из двух и более конденсированных ароматических колец. ПАУ повсеместно распространены в окружающей среде и возникают в результате процессов неполного сгорания органических материалов. Из-за своей токсичности и канцерогенности ПАУ отнесены к приоритетным загрязняющим веществам, мониторинг которых необходим для оценки и минимизации их негативного воздействия на экосистемы и здоровье человека.

При мониторинге ПАУ в пробах почвы в качестве современного метода инструментального анализа используется анализ на газовом хромато-масс-спектрометре. В качестве детектора используют квадрупольный масс-спектрометр низкого разрешения, работающий в режиме регистрации выбранных характеристичных ионов. Для повышения достоверности идентификации, как правило, выбирают два характеристичных иона, но в случае ПАУ масс-спектр 14 из 16 анализируемых соединений ПАУ, в том числе и самого токсичного бенз(а)пирена, состоит из одного характеристичного иона. В сложных матрицах, таких как почва, возможны наложения других соединений на хроматографический пик анализируемого ПАУ, которые трудно учесть при регистрации одного характеристичного иона. Использование масс-спектрометра высокого разрешения, работающего при разрешении более 20000 на половине высоты пика, позволяет устранить мешающее влияние других соединений в анализируемом образце почвы.

Инструментальный анализ ПАУ проводился на времяпролетном масс-спектрометре высокого разрешения LECO Pegasus HRT в режиме высокого разрешения (25000 на половине высоты пика) с точностью определения масс на уровне 1 ppm. Количественный анализ проводился методом внутреннего стандарта, предел количественного определения целевых соединений ПАУ был не менее 0,1 ppb.

Времяпролетный масс-спектрометр регистрирует полный масс-спектр во всем рабочем диапазоне масс, что позволяет параллельно с целевым анализом проводить скрининг и нецелевых соединений, таких как хлор-, бром-, нитропроизводные ПАУ.

Для обеспечения надежности и контроля качества анализа ПАУ используются стандартные образцы, в том числе изотопно-меченые.

В настоящем исследовании был проведен анализ почв (n=15) разных функциональных зон г. Москвы на содержание 16 соединений ПАУ. Диапазон измеренных концентраций ПАУ в почве составил от 1,2 мкг/кг для аценафтилена до 558 мкг/кг для бенз[g,h,i]перилена. Содержание наиболее токсичного соединения группы ПАУ - бенз[a]пирена в почве варьировалось от 24 мкг/кг до 270 мкг/кг.

Результаты анализа ПАУ в почве показывают, что применение времяпролетного масс-спектрометра высокого разрешения обеспечивает эффективный скрининг целевых и нецелевых соединений, повышает селективность обнаружения и достоверность количественного анализа по сравнению с проведением измерений на масс-спектрометре низкого разрешения.

## ВНЕЛАБОРАТОРНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛОВ В ВОДАХ

*Цыгулёва Э.И.<sup>1</sup>, Соколова Т.А.<sup>2</sup>, Косырева И.В.<sup>2</sup>, Доронин С. Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии  
имени Н.И. Вавилова, Институт генетики и агрономии. Саратов, Россия*

<sup>2</sup>*Саратовского государственного национального исследовательского университета  
имени Н.Г. Чернышевского, Институт химии. Саратов, Россия*

*E-mail: [musja2525@mail.ru](mailto:musja2525@mail.ru)*

Фенол и его замещенные являются приоритетными загрязнителями объектов окружающей среды (ООС). В зависимости от технологического процесса производства, компонентный состав фенольных соединений в исследуемых пробах разнообразен. В зависимости от решаемой аналитической задачи необходимо как индивидуальное, так и суммарное (близкие химико-аналитические свойства и значения ПДК) определение фенолов в ООС, точность результатов которого не высока без стадии предварительного их концентрирования [1, 2].

Определение фенолов может быть достигнуто на уровне ПДК без предварительного их концентрирования с применением хроматографических, люминесцентных и электрохимических методов анализа. Однако разработка простых в исполнении, недорогих, чувствительных и селективных способов, в том числе тест-методов, является актуальной аналитической задачей, которая требует стадии концентрирования указанных аналитов. Для этого применяют различные варианты экстракции, а также сорбционные и мембранные способы концентрирования. Эта стадия пробоподготовки часто приводит к удорожанию анализа и связана, как правило, с применением токсичных и летучих органических растворителей.

В последнее время альтернативой органическим растворителям являются разбавленные водные растворы нелетучих, малотоксичных ПАВ, которые применяют как экстрагенты для концентрирования веществ по методологии на основе "точки помутнения", "cloud point" (CP). Эта методология применима для концентрирования аналитов как неорганической, так и органической природы с высокими значениями коэффициентов извлечения. Для эффективного концентрирования продукта взаимодействия фенолов с реактивом Фолина-Чокальтеу (ФЧ) предложена система: ФЧ –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – Тритон X-100 –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Фосфовольфрамовые и фосфомолибденовые кислоты при восстановлении фенольными соединениями в щелочной среде образуют комплекс синего цвета («молибдено-вольфрамовая синь») при  $\lambda_{\text{max}} = 760 \text{ nm}$ .

Система контрастна, позволяет определять как индивидуальное, так и суммарное содержание фенолов в пересчете на стандартное соединение (например, галловую кислоту). Предложены варианты спектрофотометрического ( $\text{ДОС} = 2.7 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ ) и цветометрического ( $\text{ДОС} = 2.3 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ ) определения фенолов. Последний вариант отличается простотой и превосходит по чувствительности фотометрический вариант, что связано с отсутствием необходимости разбавления мицеллярной фазы, содержащей аналитическую форму «молибденовой сини».

### Литература

1. Магасумова А.Т., Сафаров А.М., Хатмуллина Р.М., Фатьянова Е.В. Идентификация фенолов в сточных водах нефтехимических предприятий Республики Башкортостан // Георесурсы. 2012. Т. 50. № 8. С. 61–64.
2. Вершинин В.И., Исаченко Н.А., Бриленок Н.С. Методология анализа неразделенных смесей. Интервальные оценки суммарного содержания одностипных аналитов // Журнал аналитической химии. 2016. Т. 71. № 4. С. 369–376.

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПОТЕНЦИАЛЬНО РУДОНОСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

*Чубаров В.М., Петрова А.Н., Черкашина Т.Ю., Ухова Н.Н., Иванов А.В.*

*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия*

*E-mail: [chubarov@igc.irk.ru](mailto:chubarov@igc.irk.ru)*

Некоторые микроэлементы являются чувствительными индикаторами оруденения, одновременно являясь токсичными для человека и окружающей среды. В частности, золото может проявлять тесную положительную корреляционную связь с As, Cu, Hg, Zn и Pb в геохимических ореолах и коренных рудопоявлениях. В данной работе представлены результаты анализа химического состава осадочных горных пород юга Сибирской платформы на примере Бураевской площади (участки Дундай, Грязнушка, Муринский), расположенной на юге Иркутской области. Наряду с геохимическим изучением на потенциальную рудоносность, актуальным является исследование экологического характера, поскольку вблизи данной территории расположены Ангарский металлургический завод (г. Свирск) и предприятие «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское), которые могут быть возможными источниками поступления мышьяка и ртути, являющимися тяжелыми металлами первого класса опасности [1].

Анализ отобранных на исследуемой территории осадочных горных пород (мергелей, доломитов, туфопесчаников) проведен комплексом аналитических методов [2, 3]: определение макросостава образцов (петрогенных элементов), As, Cu, Zn и Pb – методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (спектрометр с волновой дисперсией S8 TIGER), определение Hg – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (анализатор РА-915М с пиролизической приставкой ПИРО-915+). Пределы обнаружения As, Cu, Zn и Pb составили 2–5 мкг/г, Hg – 0.0005 мкг/г.

Установлены диапазоны содержаний элементов (мкг/г): As – до 27, Cu – 18–70, Zn – 6–143, Pb – 3–25, Hg – 0.0026–0.2699. Кластерный анализ позволил выделить значимые ассоциации среди основных и микроэлементов. Принимая во внимание кларковые содержания элементов [4], были рассчитаны коэффициенты концентрации ( $K_c$ ) и опасности ( $K_o$ ), а также суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ). Показано, что уровень загрязнения изученной территории As и Cu является критическим.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-77-30006 с использованием оборудования Центров коллективного пользования: «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН и «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН.*

### Литература

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Москва, 2021. С. 469.
2. Pellinen V., Cherkashina T., Gustaytis M. Assessment of metal pollution and subsequent ecological risk in the coastal zone of the Olkhon Island, Lake Baikal, Russia // Science of The Total Environment. 2021. V. 786. 147441.
3. Амосова А.А., Пантеева С.В., Татаринцов В.В., Чубаров В.М., Финкельштейн А.Л. Рентгенофлуоресцентное определение основных порообразующих элементов из образцов массой 50 и 110 мг // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19, № 2. С. 130–138.
4. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРА В ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗЦАХ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОМЕРНОЙ ГРАДИРОВКИ

*Шабанова Е.В., Васильева И.Е.*

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия*

*E-mail: [shev@igc.irk.ru](mailto:shev@igc.irk.ru)*

Информация о содержании фтора в различных объектах необходима в геохимических исследованиях и при изучении технологических продуктов, а также для оценки состояния окружающей среды. В настоящее время наиболее широко распространены методы определения фтора с химической пробоподготовкой: объёмный анализ, потенциометрия, ионная хроматография, газовая хроматография, спектрофотометрия и т.д. Однако применение этих методов к порошковым пробам является трудоёмким, т.к. летучесть фтора и наличие нерастворимых минеральных фаз могут привести к неточным результатам его определения [1]. В связи с этим предпочтительнее для рутинного определения фтора в геологических материалах использовать прямые методы, позволяющие избежать перечисленных проблем. В связи с тем, что фтор имеет высокие потенциалы возбуждения и ионизации, а его резонансные линии расположены в диапазонах вакуумного ультрафиолета или инфракрасного излучения, определение фтора методом атомно-эмиссионной спектроскопии оказывается затруднительным [1]. Существует альтернативный способ определения фтора в дуговом разряде по молекулярной полосе CaF на длине волны 529.1 нм, когда непосредственно в плазме дугового разряда образуются молекулы CaF за счёт присутствующего в пробе фтора и избытка кальция в спектроскопическом буфере. Однако буферирование полностью не исключает влияния химического и минерального состава проб на результаты определения фтора. Поэтому не наблюдается снижение погрешности определения фтора без предварительной классификации проб по генезису. Известно, что применение многомерного градуирования позволяет минимизировать погрешности определения содержаний аналита [2].

Изучены варианты многомерного градуирования одновременно по природным и техногенным стандартным образцам для получения достоверных результатов в диапазоне от 0.0040 до 65 % мас. фтора на спектральном оборудовании с фотоэлектрической регистрацией спектров и невысокой разрешающей способностью (обратная дисперсия 0.8 нм/мм). Приведены новые данные содержания фтора в стандартных образцах состава горных пород и золы углей, полученные с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с фотоэлектрической регистрацией спектров и введением вещества в дуговой разряд по способу вдувания-просыпки.

*Работа выполнена на оборудовании ЦКП "Изотопно-геохимических исследований" ИГХ СО РАН в рамках государственного задания по теме НИР № 0284-2021-0005 "Развитие методов исследования химического состава и структурного состояния природных и техногенных сред в науках о Земле".*

### Литература

1. Jankowski K., Jackowska A., Mrugalska M. Direct spectrometric determination of total fluorine in geological materials by continuous powder introduction into helium microwave induced plasma // J. Anal. At. Spectrom. 2007. Vol. 22, № 4. P. 386-391.
2. Shabanova E.V., Vasilyeva I.E. Modeling of data structure for multivariate calibration in atomic emission spectrometry // Progress in Chemometric research. NY.: NOVA Science Publishers. 2005. P. 137-149.

**ПОИСК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ  
УГЛЕВОДОРОДОВ В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ  
ХРОМАТОГРАФИИ – МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

**Шаврина И.С., Латкин Т.Б., Данилова Э.В., Косяков Д.С.**

*Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,*

*Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика»,*

*Архангельск, Россия*

*E-mail: [i.shavrina@narfu.ru](mailto:i.shavrina@narfu.ru)*

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются токсичными и повсеместно распространенными загрязнителями воздуха. Последнее время все большее внимание уделяется их определению в атмосферном воздухе городской среды, сельской местности и удаленных от антропогенных источников территориях, что обусловлено некоторыми особенностями данной группы соединений. В первую очередь это вызвано способностью трансформации атмосферных ПАУ под действием атмосферных окислителей в продукты с еще более выраженной мутагенностью и токсичностью, чем их исходные предшественники [1]. Вторая особенность ПАУ заключается в их высоком потенциале для переноса воздушными атмосферными потоками на большие расстояния и впоследствии оседании в поверхностных водах, почвах и донных отложениях отдаленных регионов, включая Арктику [2]. В настоящем исследовании метод ГХ-МСВР на основе орбитальной ионной ловушки Orbitrap был успешно применен для поиска и количественного определения ПАУ в экстрактах взвешенных частицах атмосферного воздуха г. Архангельск, пределы обнаружения для большинства поллютантов при этом составили порядка 0.05 нг/м<sup>3</sup>. В результате целевого и нецелевого скрининга было обнаружено 43 поллютанта полиароматической природы, содержание которых в среднем варьируется от 1 до 2 нг/м<sup>3</sup>. Кислородсодержащие ПАУ представлены соединениями с гидроксильными, кетонными, альдегидными и карбонильными группами. Из них преобладают 9H-флуорен-9-он, антрацен-9(10H)-он, 9,10-антрацендион, антрацендикарбоксальдегид. Основным представителем азотсодержащих ПАУ является бензо(h)хинолин. С использованием диагностических соотношений изомерных структур некоторых ПАУ было установлено, что источниками данной группы поллютантов являются преимущественно пирогенные процессы - неполное сгорание топлива и сжигание биомассы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-73-00235)*

**Литература**

1. Nowakowski, M., Rykowska, I., Wolski, R., Andrzejewski, P. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and their Derivatives (O-PAHs, N-PAHs, OH-PAHs): Determination in Suspended Particulate Matter (SPM) – a Review // Environmental Processes. 2022. Vol. 9, Issue 1.
2. Balmer, J. E., Hung, H., Yu, Y., Letcher, R. J., Muir, D. C. G. Sources and environmental fate of pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Arctic // Emerging Contaminants. 2019. Vol. 5. P. 128-142.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К  
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМУ МОНИТОРИНГУ, ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ, НА ПРИМЕРЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЖИЛЫХ ЗОН РЕСПУБЛИКИ  
БАШКОРТОСТАН**

**Шарипова Л.Д., Сидельников А.В., Гареев И.А., Бижанова Г.Г., Васенина Н.А.,  
Квятковская А.С.**

*Уфимский университет науки и технологий  
Институт химии и защиты в чрезвычайных ситуациях, Уфа, Россия*

*E-mail: [liliyadamirovna98@mail.ru](mailto:liliyadamirovna98@mail.ru)*

Охрана окружающей среды в условиях урбанизации становится особенно актуальной из-за повышения загрязнения воздуха, воды и почвы, а также деградации природных ресурсов. Увеличение плотности населенных пунктов требует внедрения эффективных методов мониторинга для своевременного выявления экологических угроз. Электрохимические методы представляют собой перспективный инструмент для анализа загрязняющих веществ благодаря своей высокой чувствительности, скорости и возможности проведения измерений в реальном времени. Эти методы позволяют более точно оценить качество окружающей среды и разработать стратегии для минимизации негативного воздействия урбанизации на экосистемы, обеспечивая устойчивое развитие городских территорий.

Электрохимические сенсоры функционируют на основе измерения изменений электрических параметров, связанных с окислительно-восстановительными реакциями целевых веществ на поверхности электродов. Они проявляют высокую чувствительность, позволяют получать результаты в реальном времени и являются компактными и портативными. По сравнению с традиционными методами анализа, электрохимические сенсоры обладают низкой стоимостью эксплуатации, широким диапазоном применения и возможностью быстрого анализа, что делает их идеальными для мониторинга качества окружающей среды [1].

Совершенствование электрохимических подходов к геоэкологическому мониторингу в промышленных и жилых зонах Уфы становится особенно актуальным из-за быстрого роста промышленности и урбанизации, что создает высокий риск негативного влияния на здоровье населения и экосистему. Электрохимические сенсоры могут предоставить оперативные данные о загрязняющих веществах, их концентрации и источниках, что позволяет значительно ускорить реагирование на экологические проблемы.

Новизна подходов к геоэкологическому мониторингу в Уфе заключается в использовании недорогих электронных носов, которые позволяют собирать большие данные о качестве воздуха. С помощью хеометрики мы можем выявлять латентные структуры, связанные с концентрацией следовых веществ в атмосферном воздухе. Комплексный анализ данных включает стратегическую расстановку датчиков по городу, что обеспечивает более точный мониторинг загрязнений в различных зонах, как промышленных, так и жилых. Этот подход позволяет интегрировать данные для создания детализированной картины состояния экологической ситуации, что является важным шагом к эффективному управлению качеством окружающей среды и повышению безопасности для населения.

В докладе представлены результаты апробации мультисенсорной системы распознавания "запахов" промышленных и жилых зон с использованием авторского темпорального подхода на основе концепции больших данных. Использовали девятисенсорную систему металлоксидных сенсоров перекрестной чувствительности. Построена геоэкологическая карта многомерных образов воздушных масс, позволяющая оценить качество воздуха и движение загрязнителей в онлайн режиме.

**Литература**

1. Bizhanova G.G., Bashirova Z.A., Zaripova G.G. Improving electrochemical approaches to ensuring food safety and quality using temporal machine learning techniques // Neurocomputers: development, application. 2024. Vol. 26, No. 5. P. 5-7.

## КИНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ «ОТПЕЧАТКОВ ПЛЬЦЕВ» В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ВОД

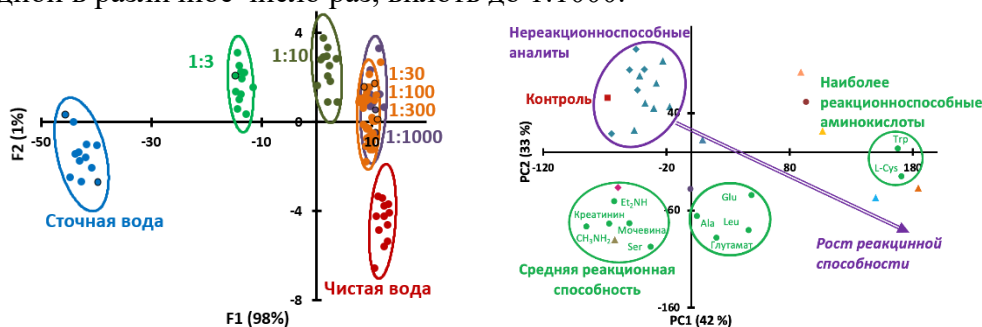
**Шик А.В., Скоробогатов Е.В., Беклемишев М.К.**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
 химический факультет, Москва, Россия  
 E-mail: [shik.1966@mail.ru](mailto:shik.1966@mail.ru)

С каждым годом возрастает дефицит чистой воды из-за загрязнения природных вод. Сброс различных загрязнителей и сточных вод существенно ухудшают качество природных источников. Необходимость регулярной оценки качества источников природной воды делает актуальной разработку простых, недорогих и экспрессных методов контроля качества природных вод, в частности, факта сброса сточных вод в источники водоснабжения.

Для оценки качества образцов воды мы использовали предложенный нами [1] кинетический вариант метода «отпечатков пальцев», основанный на получении интегральной характеристики образца без идентификации его отдельных компонентов. С этой целью проводили индикаторные реакции окисления карбоцианиновых красителей различными окислителями в присутствии образцов воды в 96-луночных планшетах. В качестве аналитического сигнала использовали светопоглощение в диапазонах R, G, B и интенсивность флуоресценции в ближней ИК области, измеряемые фотографически каждые несколько минут. Полученные данные обрабатывали методом главных компонент (МГК), линейного дискриминантного анализа (ЛДА) или логистической регрессии (ЛР).

Показали возможность распознавания 11 проб природной воды пяти классов (водопроводная, родниковая, колодезная, из скважины, из пруда); отличить чистую природную воды от образцов, загрязненных водорастворимой фракцией моторного масла разной степени разбавления или ионами железа(2+) в диапазоне 0.003 – 0.3 мг/л. Использование предложенного подхода позволило обнаружить наиболее реакционноспособные аналиты (триптофан, цистеин, бычий сывороточный альбумин и ДНК) на фоне менее реакционноспособных в природной воде. Кроме того, метод применили для распознавания образцов различных сточных вод, разбавленных водопроводной в различное число раз, вплоть до 1:1000.



**Рисунок 1.** Графики счетов: ЛДА для сточной воды разной степени разбавления(слева); МГК для групп аналитов разной реакционной способности(справа).

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Чистая вода» поддержанного грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение No 075-15-2024-546).

### Литература

1. Skorobogatov E.V. et al. Monitoring Different Water Types for Engine Oil–Water-Soluble Fraction and Iron(2+) Using a Reaction-Based Optical Sensing Strategy: A Proof-of-Concept Study // Industrial and Engineering Chemistry Research. 2024. Vol. 63(28). P. 12336.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕТРОЛОГИЯ И ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ЭКОЛОГИИ

**Абакумов Е.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Биологический факультет, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [e.abakumov@mail.ru](mailto:e.abakumov@mail.ru)*

Важнейшим вопросом прикладной экологии и геоэкологии является обеспечение единства систем измеряемых экологических величин. Это вопрос далек от решения. Если химические параметры, характеризующие почвы или водные объекты измеряются известными и верифицированными методами, включая классические и современные высокоточные инструментальные, то популяционные характеристики или параметры рельефа измеряются или характеризуются с помощью самых разнообразных показателей, не описанных в нормативах и регламентах. В связи с этим оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза обременяются результатами творческого подхода, применяемого экспертом-исследователем. Таким образом, стоит задача разработки реестра измеряемых или фиксируемых экологических величин, реестра применяемых методов и границ их применения. Необходимо учитывать, что ряд нормируемых показателей для южно-таежной природной зоны разработан для кислых элювиальных геохимических обстановок. В урбанизированных экосистемах (Санкт-Петербург, Москва) они трансформируются в щелочные умеренно-аккумулятивные. Возникает экологическая правовая коллизия, когда норматив, разработанный для данной природной зоны из научных соображений невозможно применять к объектам, расположенным в городах, но правоприменительная практика обязывает именно к этому. Другая проблема заключается в применении транслокационного лимитирующего показателя вредности загрязняющих веществ к почвам и грунтам, на которых никогда не будет выращиваться сельскохозяйственная продукция. Нормативы для почв городов такие же строгие, как и для почв сельскохозяйственных предприятий. Необходимо функциональное зонирование нормативов, что требует огромной методической работы и тщательного методологического сопровождения. Что касается подсчета индексов альфа- и бетабиоразнообразия сообществ, здесь необходима регламентация измеряемых параметров в различные времена года, что в настоящее время делается в заявительном порядке. Еще один гигантский вызов современной прикладной экологии – обработка данных высокопроизводительного секвенирования и их экологическая интерпретация. Экологическая метагеномика и метарабдодинг требуют правовой регламентации и определения базовой линии таксономического состава и функционального состояния микробиомов различных природных сред. Таким образом, перед прикладной экологией стоит ряд вызовов и проблем, которые должны быть решены для снижения рисков неверной оценки вреда и воздействия, а также, для разработки адекватных методов монетизации важнейших экосистемных услуг.

*Работа выполнена при поддержке РНФ 23-16-20003*

**ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА  
БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА  
ОСНОВЕ АМИНОКИСЛОТ НА ИХ ЭКСТРАКЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ**

**Адамов А.А., Давыдова Е.Г., Шишов А.Ю.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетский пр., д. 26, г.*

*Санкт-Петербург, Петродворец, 198504, Россия*

*E-mail: [st116419@student.spbu.ru](mailto:st116419@student.spbu.ru)*

Природные глубокие эвтектические растворители (ПГЭР), отвечающие принципам «зеленой химии» обладают исключительным потенциалом для замены органических экстрагентов при извлечении различных соединений из сложных матриц [1]. Поскольку составляющие ПГЭР являются вторичными метаболитами живых организмов и обладают пищевыми свойствами, экстракты, полученные с помощью ПГЭР могут напрямую использоваться в составе фармакологических препаратов, нутрицевтиков, что позволяет избежать дорогостоящей очистки экстракта от широко используемых токсичных растворителей. Глубокие эвтектические растворители на основе аминокислот (АКГЭР), являющиеся подклассом ПГЭР и содержащие в составе структурные единицы белков, обладают низкой токсичностью, кроме того, они биоразлагаемы. Вариативность комбинаций между компонентами АКГЭР, ввиду амфифильных свойств аминокислот, значительно расширяет возможности подбора состава АКГЭР для селективного извлечения различных классов соединений из природных матриц [2]. Изучены системы, содержащие разные аминокислоты (пролин,  $\beta$ -аланин, глицин) в качестве акцептора водородной связи и ряд органических кислот с разным числом карбоксильных, гидроксильных групп, длиной углеводородного радикала. Показано влияние компонентного состава АКГЭР на экстракционные возможности. В работе проведен сравнительный анализ экстрактов, полученных как с помощью глубоких эвтектических растворителей, так и эвтектических систем, не являющихся глубокими, оценена возможность и эффективность использования этих растворителей для извлечения БАВ из лекарственного растительного сырья, характеризующегося различным процентным содержанием классов биоактивных веществ на примере солянки холмовой (*Salsola Coll.*), кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba off.*).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 22-73-10039). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава веществ, Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и нанoeлектроники, Термогравиметрические и калориметрические методы исследования).*

**Литература**

1. Dai Y., et al. Natural deep eutectic solvents as new potential media for green technology // Anal. Chim. Acta. 2013. V. 766. P. 61–68.
2. Wang W. et al. Development and optimization of green extraction of polyphenols in *Michelia alba* using natural deep eutectic solvents (NADES) and evaluation of bioactivity // Sustainable Chemistry and Pharmacy 2024. V. 37 P. 101425.

## РАЗВИТИЕ МАЛЫХ АРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР: ТЕНДЕНЦИИ К ЭВТРОФИРОВАНИЮ

Базова М.М., Моисеенко Т. И.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Россия, 119991

Москва, ул. Косыгина, 19

E-mail: [mm.bazova@yandex.ru](mailto:mm.bazova@yandex.ru)

Проблема эвтрофирования водоемов вследствие неконтролируемого поступления огромного количества биогенных элементов и органических веществ в биотический круговорот остро обозначилась в мире в последнее столетие. На Кольском Севере вследствие длительного (более 75 лет) функционирования предприятий по переработке медно-никелевых руд регион испытывал существенную антропогенную нагрузку. С конца 80-х гг. до 2010 г. выпадения антропогенной серы устойчиво снизились с 3.0 год до 0.5 гS/м<sup>2</sup> год и к 2018 г. составили 0.37 гS/м<sup>2</sup> год в радиусе до 30 км<sup>2</sup> [1]. При этом следует учесть, что согласно архивным данным [2] в тундровой зоне среднегодовая температура воздуха увеличилась на 1.1°C, в лесотундровой – на 0.9°C, в северо-таёжной – на 1.1°C. Цель работы состояла в исследовании долговременных изменений содержаний органического вещества и биогенных элементов в малых озерах различных ландшафтных зон российской Арктики в условиях потепления климата и увеличения уровня трофии. Всего было исследовано 68 озер. Данные получены на основе методов, используемых в международной практике по программе ICP-Water [3].

**Таблица 1.** Трофический статус озер Кольского Севера в различных ландшафтных зонах

| Значение TSI        | Количество озер, % |           |                         |           |                         |           |
|---------------------|--------------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
|                     | I – тундровая зона |           | II - лесотундровая зона |           | III-северо-таежная зона |           |
|                     | 1990-2010          | 2010-2018 | 1990-2010               | 2010-2018 | 1990-2010               | 2010-2018 |
| олиготрофные (0-30) | 67                 | 13        | 52                      | 0         | 33                      | 0         |
| мезотрофные (30-50) | 20                 | 53        | 43                      | 29        | 25                      | 10        |
| эвтрофные (50-70)   | 13                 | 34        | 5                       | 71        | 42                      | 90        |

Рассчитанный индекс трофического статуса (TSI) [4] (табл. 1) показал, что в тундровой зоне к 2010–2018 гг. по сравнению с 1990–2000 гг. сократилось количество олиготрофных озер и увеличилось число мезо- и эвтрофных соответственно. В лесотундровой и северо-таежной зонах к 2010–2018 гг. не осталось олиготрофных озер, сократилось количество мезотрофных озер и значительно возросло количество эвтрофных [1]. При этом для всей площади водосборных бассейнов исследованных озер характерно отсутствие близлежащих крупных населенных пунктов и промышленных производств. В наших исследованиях, гипотезу о преобладающем влиянии климатического фактора на долговременные изменения химического состава вод подтверждает нарастание биогенных элементов, проявляющемся в повышении содержаний их общих форм при стабильных содержаниях биодоступных форм (нитратов и фосфатов), которые быстро утилизируются в продукционных процессах водной экосистемы [1, 5].

Работа выполнена в рамках Госзадания ГЕОХИ РАН FMMZ-2024-0052

### Литература

- Моисеенко Т.И., Базова М.М., Льюмменс Е.О. Биогеохимические изменения арктических озер в условиях потепления климата: региональные особенности // Геохимия, 2023, Т. 68, № 4, С. 409-423. DOI: 10.31857/S0016752523040106
- <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru&region=51>
- Eaton A., Arnold E., Archie A.E., Rice E.W., Clesceri L.S. (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17th edn. Washington, DC: American Public Health Association (APHA).
- Carlson R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* **22**(1), 361-369.
- Moiseenko T.I., Bazova M.M. Eutrophication of Lakes: From Global Process to Regional Implication in the Kola Arctic Region. *Ecohydrology*, 2024; 0: e2713, P.1-12 <https://doi.org/10.1002/eco.2713>

## ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 15 ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТАХ ЖИВОТНОВОДСТВА МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

Баиров А.Л.<sup>1</sup>, Усанова Е.Д.<sup>1</sup>, Осина Е.С.<sup>1,2</sup>, Мелехин А.О.<sup>1</sup>, Тищенко В.В.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Федеральный центр охраны здоровья животных, Владимир, Россия

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва  
Россия

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов, Москва Россия

E-mail: [abairov22@yandex.ru](mailto:abairov22@yandex.ru)

С быстрым развитием мировой экономики загрязнение почвы токсичными элементами становится важнейшей экологической проблемой. Одним из источников токсичных элементов в почве являются побочные продукты животноводства (ППЖ), которые вносятся на поля в качестве удобрений. Поступая по пищевым цепям из почвы в растения, а оттуда в организм человека и животных, токсичные элементы вызывают у них серьёзные заболевания. Это ведёт к росту заболеваемости населения и сокращению продолжительности жизни, а также к снижению количества и качества урожаев сельскохозяйственных растений и животноводческой продукции. Накапливаясь в почве в больших количествах, токсичные элементы способны изменять многие её свойства, а также загрязнять грунтовые воды. Как результат этого является частичная, а в ряде случаев и полная утрата почвенного плодородия. Необходимость выявления токсичных элементов в ППЖ возникает при расследовании случаев превышения ПДК токсичных элементов в почве после внесения удобрений, поэтому разработка методик их обнаружения в ППЖ является актуальной.

В данной работе представлена быстрая и простая аналитическая методика определения 15 токсичных элементов (ванадий, хром, марганец, кобальт, никель, медь, цинк, мышьяк, селен, кадмий, олово, сурьма, ртуть, свинец, уран) в ППЖ методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), который применяется при определении токсичных элементов в почве. Пробоподготовку проводили методом кислотного разложения смесью азотной и соляной кислот при повышенной температуре под давлением 40 атмосфер аргона в микроволновой печи. Матричную градуировку с использованием внутренних стандартов и валидацию проводили на сухом гумате калия, в котором отсутствовали определяемые аналиты.

Методика обеспечивала хорошую воспроизводимость ( $s_r \leq 0.20$ ). Пределы определения составили от 0.2 мг/кг, что ниже установленных ПДК для почвы, диапазон определяемых содержаний составлял от 0,2 до 2000 мг/кг. Методика была также апробирована на реальных образцах ППЖ. Таким образом представленная авторами методика была успешно валидирована для количественного определения 15 токсичных элементов (ванадий, хром, марганец, кобальт, никель, медь, цинк, мышьяк, селен, кадмий, олово, сурьма, ртуть, свинец, уран) в ППЖ.

*Исследование выполнено в рамках НИР «Методика измерения по определению элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в побочных продуктах животноводства и почвах (ХТО ИЦНМВЛ)».*

### Литература

1. Jingchun M., Xinyue L., Bao C., Famei L., Xudong W., Donghua J., Zhenggang L. Determination of heavy metals in soil by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) with internal standard method // Electronics Science Technology and Application. 2017. Т. 4. №. 1. С. 23-31.

## АТОМНО-ЭМИССИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПОЛИВИНИЛФОРМАЛЬДЕГИД-ТИОМОЧЕВИННЫМ СОРБЕНТОМ

*Белякович Д.И., Дидух-Шадрина С.Л., Казик М.М., Гулиева Р.М.*

*Сибирский федеральный университет,  
научно-исследовательский инженерный центр "Кристалл",  
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
E-mail: [darya.belyakovich25@mail.ru](mailto:darya.belyakovich25@mail.ru)*

В современном мире при быстром темпе развития промышленности с возрастающими потребностями населения планеты в природных ресурсах, поступление тяжелых элементов в окружающую среду возросло. Нередки случаи, когда поступление в окружающую среду в результате техногенеза больших количеств элементов-загрязнителей превосходило естественный уровень их поступления. Среди тяжёлых металлов выделяют группу наиболее токсичных элементов – Zn(II), Cd(II), Pb(II), Cu(II), Ni(II). Тяжелые металлы опасны тем, что путем миграции по пищевым цепям, они попадают в организм человека, и обладая способностью накапливаться в живых организмах они образуют высокотоксичные металлосодержащие органические соединения, вызывая тем самым единовременные и хронические отравления. Определение ионов тяжелых металлов является сложной задачей из-за низких концентраций металлов и мешающего матричного влияния. Использование методов предварительного сорбционного концентрирования позволяет выделить микрокомпоненты из больших объемов почв сложного состава, устранить влияние макрокомпонентов, снизить предел обнаружения.

Целью данной работы является сорбционное концентрирование и количественное определение некоторых наиболее токсичных тяжелых металлов в почве и талом снеге с использованием поливинилформальдегид-тиомочевинного сорбента.

Для концентрирования тяжелых металлов предложен полимерный сорбент с тиомочевинными группами - ПВФ-ТМ, полученный сополимеризацией поливинилового спирта с формальдегидом и тиомочевинной в соотношении 1:5:2 соответственно.

Синтезированный сорбент извлекает Zn(II), Cd(II), Pb(II), Cu(II), Ni(II) при  $pH > 3$ . Количественное извлечение (степень извлечения  $> 95\%$ ) меди(II) достигается в широкой области  $pH$  1,0-8,0, кадмия(II) при 5,0-8,0. Максимальная степень извлечения никеля(II), цинка(II) не превышает 88% при  $pH$  5,5-6,5, свинца(II) – при  $pH$  4,5-5,0. Время установления сорбционного равновесия для всех ионов металлов не превышает 10 мин. Сорбционная емкость ПВФ-ТМ зависит от природы металла и составляет по меди 120 мкмоль/г, по кадмию 80 мкмоль/г, по свинцу 49 мкмоль/г. Коэффициент распределения составляет  $1,6 \cdot 10^2$  (для свинца) –  $2 \cdot 10^3$  (для меди).

При применении динамического режима концентрирования при  $pH$  5,0-5,5 достигается максимальная степень извлечения ( $96 \pm 2\%$ ) ионов металлов при скорости потока раствора 1 мл/мин. Количественное извлечение всей группы ионов металлов сохраняется при пропускании 100 мл раствора через колонку, заполненную 0,1 г сорбента.

В качестве десорбирующих растворов выбраны растворы неорганических кислот HCl, HNO<sub>3</sub>. Количественная десорбция достигается при применении 10 мл 0,5 М HCl или HNO<sub>3</sub>.

На основании полученных результатов разработана сорбционно-атомно-эмиссионная методика определения Zn(II), Cd(II), Pb(II), Cu(II), Ni(II). Методика апробирована при анализе почв, природных вод и снеговых проб территории города Красноярска. Правильность полученных результатов подтверждена методом введено-найденно.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИРКОНИЙСОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ ДЛЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ТЕТРАЦИКЛИНА

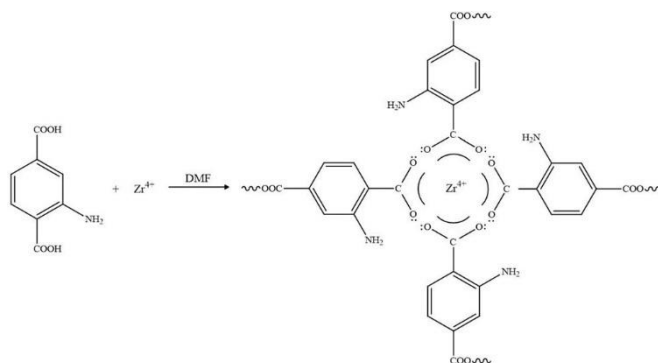
Брянцева Ю.Д., Уфлянд И.Е.

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: [bryanceva@sfedu.ru](mailto:bryanceva@sfedu.ru)

Металлоорганические каркасы на основе циркония (Zr-MOF) известны своей высокой селективностью, эффективностью и способностью к регенерации. Эти материалы активно используются для удаления органических загрязнителей, включая антибиотики, благодаря их уникальным свойствам, таким как высокая химическая устойчивость и способность к образованию прочных связей с карбоксильными группами [1]. Однако их применение ограничено низкой адсорбционной ёмкостью и медленным достижением равновесия.

Целью данного исследования является разработка и изучение нового метода твердофазной экстракции (ТФЭ) для удаления тетрациклина из водных растворов с использованием металлоорганического каркаса на основе 2-амино-1,4-бензолдикарбоксилата циркония. Синтез экстрагента был проведён сольвотермальным методом (Рис. 1), структура которого была изучена с помощью методов СЭМ, РФА и ИК-спектроскопии.



**Рисунок 1.** Схема синтеза 2-амино-1,4-бензолдикарбоксилата циркония.

Анализ изотерм адсорбции азота показал, что материал имеет мезопористую структуру с высокой удельной поверхностью (820 м<sup>2</sup>/г) и размером пор 7,97 Å. Это делает его подходящим для экстракции тетрациклина из водных растворов.

Эффективность экстракции изучалась в зависимости от массы экстрагента, начальной концентрации поллютанта, температуры и pH среды. Максимальная степень извлечения тетрациклина составила 71,4% при температуре 5 °С. Кинетика процесса лучше всего описывается моделью псевдвторого порядка ( $R^2 = 0,992$ ). Процесс экстракции является экзотермическим, с энергией активации 6,4818 кДж/моль.

Экстрагент показал высокую эффективность в широком диапазоне pH (4,0–10), что делает его пригодным для использования в различных условиях. Кроме того, материал может быть регенерирован и использован повторно до 5 раз без значительной потери эффективности.

Разработанный метод твердофазной экстракции с использованием Zr-MOF может быть применён в аналитической химии и мониторинге окружающей среды для определения и концентрирования тетрациклина в природных объектах.

*Работа выполнена благодаря финансовой поддержке РФФ проект № 22–13-00260.*

### Литература

1. Cavka J., Jakobsen S., Olsbye U., Guillou N., Lamberti C., Bordiga S., Lillerud K. A new zirconium inorganic building brick forming metal organic frameworks with exceptional stability. // J Am Chem Soc. 2008. Vol. 130(42). P. 13850–13851.

## СЕНСОРЫ ИОНОВ d-МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ДИПИРРОМЕТЕНОВ

*Бумагина Н.А., Антина Е.В., Березин М.Б.*

*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,  
Иваново, Россия*

*E-mail: [nad@isc-ras.ru](mailto:nad@isc-ras.ru)*

С развитием агропромышленного комплекса объекты окружающей среды все больше подвергаются воздействию различных токсичных загрязнителей, в том числе соединений тяжелых металлов, которые относятся к наиболее распространенным и легко аккумулируемым почвенно-растительным покровом поллютантам. Поэтому своевременный экомониторинг природных объектов приобрел очень важное значение. Люминофоры – наиболее чувствительные, селективные и удобные в использовании сенсоры для экспресс-анализа ионов металлов благодаря ярким колориметрическим/хромофорным, флуоресцентным откликам в реакции с аналитом, регистрируемым как «naked-eye», так и доступными приборами.

В докладе представлены результаты исследования серии хромофорных дипиррометеновых бидентатных хелатных лигандов (HL) в качестве хемосенсоров для обнаружения ионов ряда d-металлов ( $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  и  $Hg^{2+}$ ). Действие сенсора основано на реакции комплексообразования HL с ионом определяемого металла, которая сопровождается мгновенными (менее 1 минуты) «naked-eye» колористическими откликами: изменением спектров поглощения и флуоресценции сенсора и окраски раствора с лимонно-желтого на оранжевые (реакции с  $Zn^{2+}/Hg^{2+}$ ) или фиолетовый (реакция с  $Cu^{2+}$ ) оттенки вследствие перехода лиганда из молекулярной формы в координированную анионную в составе хелата  $[ML_2]$ . Хромофорный отклик проявляется в спектрах поглощения в виде значительных гиперхромного (в 2-3 раза) эффекта и батохромного (на 60-75 нм) сдвига интенсивной полосы. Наряду с этим, реакция HL с ионами  $Zn^{2+}$  сопровождается 100-200-кратным разгоранием флуоресценции, в присутствии ионов  $Hg^{2+}$  флуоресценция сенсора увеличивается в ~2 раза, с ионами  $Cu^{2+}$  - минимальная флуоресценция HL (квантовый выход флуоресценции менее 0.005) тушится полностью. Чувствительность (предел) спектрофотометрического и флуориметрического обнаружения аналитов с использованием HL достигает  $10^{-8}$  –  $10^{-9}$  моль/л. Продемонстрирована высокая селективность флуоресцентного определения ионов  $Zn^{2+}$  в присутствии ионов фоновых металлов ( $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  и др.).

Для экспресс-анализа ионов  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  и  $Hg^{2+}$  разработаны тест-системы на основе различных твердотельных носителей (paper-strips, cotton-pads, cotton-swabs), допированных дипиррометеновым красителем. Детектирование аналитов основано на колористических откликах тест-систем при их контакте с водными растворами солей определяемых металлов.

Апробация сенсоров успешно проведена на примере проб воды из различных природных источников (дистиллированной, фильтрованной, сточных атмосферных вод) и экстрактов из образцов цинксодержащих фармацевтических препаратов. Получены калибровочные концентрационные зависимости для практического применения сенсоров с целью количественного обнаружения ионов  $Zn^{2+}$  в водных средах.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00058, <https://rscf.ru/project/25-23-00058/>*



## ПОЛУЧЕНИЕ ИМПРИНТИРОВАННОГО ПОЛИАНИЛИНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КВЕРЦЕТИНА, ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

*Бурмистрова Н.А., Горло В.Д., Пиденко П.С.*

*Саратовский госуниверситет имени Н.Г. Чернышевского, Институт химии, Саратов,  
Россия*

*E-mail: [naburmistrova@mail.ru](mailto:naburmistrova@mail.ru)*

Молекулярный импринтинг является одной из наиболее популярных техник получения синтетических элементов молекулярного распознавания. Многообразие методов получения молекулярно-импринтированных полимеров позволяет эффективно разрабатывать и получать рецепторы, специфичные к целевым молекулам различной природы. К достоинствам существующих методов получения молекулярно-импринтированных полимеров можно отнести доступность реактивной базы (1), использование доступного лабораторного оборудования (2), возможность получения импринтированных материалов практически на любой поверхности от наночастиц до электродов (3). Одним из ключевых недостатков процесса получения импринтированных материалов является необходимость проведения большого количества экспериментов при поиске оптимальных условий получения систем с высокими аналитическими характеристиками. Это не только приводит к увеличению затрат времени на получения конечного продукта, но и в условиях применения токсичных органических растворителей значительно уменьшает экологическую привлекательность данного направления. Актуальным решением данной проблемы является внедрение методов планирования эксперимента в процесс получения молекулярно-импринтированных полимеров [1].

В работе представлены результаты получения импринтированного полианилина, одновременно специфичного к кверцетину и пероксидазе хрена. Разработанная оригинальная методика «ориентированного» поверхностного импринтинга, где ориентация молекулы шаблона происходит за счет образования ассоциата с белковой молекулой. Полученный материал характеризовался высокой специфичностью извлечения пероксида хрена (ИФ=24,6;  $Q_{\max}=1,2$  мг/г) и кверцетина (ИФ=2,3;  $Q_{\max}=0,7$  мг/г). Оптимизация и поиск оптимальных условий получения импринтированного полианилина проведен с использованием алгоритма, основанного на статистических методах планирования эксперимента и реализованного на языке Python. Импринтированный полианилин полученный в оптимальных условиях, предсказанных алгоритмом, позволил получить систему с высокой специфичностью. При этом предсказанные значения импринтинг фактора (2.4) хорошо согласуются с полученными экспериментально (2.3).

*Благодарность:*

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-73-00250*

### **Литература**

1. Anene A., Chevalier Y., Hbaieb S., Molecularly Imprinted Polyaniline as Solid-Phase Material for the Extraction of UV Filters From Waters // Separation Science Plus 7. – 2024. – e202400104.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАЗИНА, МЕТИЛГИДРАЗИНА И НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА МЕТОДОМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ФЛЮИДНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ – ТАНДЕМНОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

*Вахрамеев С.А., Овчинников Д.В., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В.*

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,*

*ЦКП НО «Арктика», Архангельск, Россия, 163002*

*E-mail: [v.vahrameev@narfu.ru](mailto:v.vahrameev@narfu.ru)*

Гидразин и его алкилпроизводные являются распространёнными прекурсорами для синтеза большого количества соединений различного назначения, также они применяются в ракетно-космической отрасли как компонент ракетного топлива благодаря своей высокой реакционной способности и эффективности. Существенными недостатками гидразинов являются токсичность и мутагенность, в связи с чем требуется их жесткий контроль в объектах окружающей среды и различных субстанциях.

С конца прошлого века предложено множество подходов и методик с использованием газовой (ГХ) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в сочетании с различными детекторами для определения смеси гидразинов как прямым методом, так и с использованием дериватизирующих агентов.

Альтернативой для определения гидразинов методами ГХ и ВЭЖХ может выступать сверхкритическая флюидная хроматография (СФХ), обладающая рядом преимуществ за счет использования сверхкритического углекислого газа в подвижной фазе. К основным преимуществам СФХ относят экологичность, безопасность и экспрессность.

Для определения гидразина (Г), метилгидразина (МГ) и несимметричного диметилгидразина нами предложен подход с предварительной дериватизацией 5-нитро-2-фуральдегидом и использованием твердофазной микроэкстракции (ТФМЭ) с последующим определением методом сверхкритической флюидной хроматографии - тандемной масс-спектрометрии. ТФМЭ выполняли с использованием наконечника объемом 200 мкл от дозатора, содержащего сорбент Диапак С16.

В результате подбора хроматографических условий были выбраны следующие параметры: неподвижная фаза HSS C18 SB, скорость потока 1,3 мл/мин, 5% сорастворителя – чистый метанол, температура 10 °С и обратное давление 130 бар. Время хроматографического анализа составляет 2 минуты.

Предлагаемый подход является «зеленым» и экспрессным, что подтверждается использованием малого количества сорастворителя и коротким временем анализа. В сочетании с тандемной масс-спектрометрией и ТФМЭ удалось достичь предела обнаружения для Г, МГ и НДМГ на уровне 7, 18 и 6 нг/л для водных образцов.

Разработанный подход был успешно апробирован на экстракте торфяной почвы, загрязненной ракетным топливом, и речной воде с добавкой окисленного раствора НДМГ. Содержание в торфяной почве Г, МГ и НДМГ - 0,62, 3,54 и 1,25 мг/кг, а в речной воде – 0,57, 0,97 и 2,58 мг/л соответственно.

*Работа выполнена в рамках государственного задания FSRU-2024-0003 с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.*

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДИК В  
ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

***Воронич С.С., Роева Н.Н., Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г., Кольцова Е.Г.***

*Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),*

*Москва, Россия*

*E-mail: [s-v80@mail.ru](mailto:s-v80@mail.ru)*

Известно, что возможности современной аналитической химии с позиций её применения к анализу объектов окружающей среды достаточно высоки.

Существующий арсенал различных физических и физико-химических методов позволяет проводить анализ экологического состояния разнообразных природных и промышленных объектов.

Обоснованность применения любого аналитического метода для решения прикладных задач экологического мониторинга продиктована требуемой чувствительностью, избирательностью, воспроизводимостью, диапазоном определяемых концентраций, точностью и экспрессностью анализа, а также аппаратными возможностями самого метода.

Специфика применения физических и физико-химических методов в экологическом мониторинге объектов окружающей среды должна заключаться в следующем:

1. возможности предварительного контроля природных объектов в полевых условиях с помощью портативных тестовых анализаторов, выпускаемых промышленностью, что позволит получить необходимую исходную информацию (например, о величине pH среды или о суммарной концентрации тяжёлых металлов в водных объектах) и сделать заключение о целесообразности более детального обследования данного объекта и методиках пробоотбора;
2. целесообразности использования более сложных портативных анализаторов для выявления по приоритетным загрязнениям экологически неблагополучных объектов и последующего лабораторного исследования;
3. исследовании экологического состояния природных и промышленных объектов в лабораторных условиях с использованием соответствующей стационарной аналитической аппаратуры и специальных аналитических методик;
4. применении для решения задач локального мониторинга передвижных аналитических лабораторий, обеспечивающих экспресс-анализ поллютантов в объектах окружающей среды.

## СМАРТФОН-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТНЫХ СЕНСОРОВ

*Гавриленко М.А., Волгина Т.Н., Серебряков К.В., Кожемякин Н.А., Шульгин П.Р.*

*Томский политехнический университет, Томск, Россия*

*E-mail: [dce@mail.ru](mailto:dce@mail.ru)*

Разработана мультисенсорная колориметрическая платформа, которая одновременно представляет собой аналитическую среду для проведения хромогенных реакций, сохраняет прозрачность после реакции, способна к комбинированию нескольких чувствительных элементов в едином сенсоре и совместима с цифровой обработкой изображения в режиме реального времени.

В большинстве случаев определения с использованием колориметрических и тест-методов используют взаимодействие одиночного хромогенного лиганда с аналитом (катионами металлов, органическими веществами способными к ОВ реакциям, ассоциаты между органическими веществами с гашением флуоресценции и подобное) которое вызывает очевидное изменение цвета. Нами показано, что одновременное использование набора 2-3 хромогенных реагентов, иммобилизованных в прозрачную полиметакрилатную матрицу (ПММ), увеличит точность и избирательность колориметрического сенсора. Каждый из иммобилизованных реагентов способен к индивидуальному взаимодействию с собственным аналитом и, соответственно, формировать индивидуальный колориметрический сигнал. В результате использования ПММ как мультисенсорной платформы формируется суммарный сигнал, соответствующий перекрыванию цветов окрашенных продуктов реакций. После обработки цифрового изображения цветных чувствительных элементов по алгоритмам перехода к техническому зрению, мы получаем набор уникальных колориметрических данных в RGB или другом формате, результаты регистрации удобно получать как в цифровом, так и в визуальном виде. Увеличение размера массива аналитической информации может одновременно повысить точность одновременного количественного определения и идентификации катионов металлов, неорганических анионов и органических веществ, способных к ОВ взаимодействиям.

Реализована стратегия, сочетающая мультиплексную колориметрию RGB с цифровым анализом изображений на основе смартфона для одновременной и быстрой визуализации красителей (как модельных объектов) в модели машинного обучения по цветовым шкалам. Для получения желаемых колориметрических характеристик ПММ с сокращенными экспериментальными шагами, основные факторы включали концентрацию красителя, время контакта и pH среды. Кроме того, обработка цифрового изображения сенсоров, полученная с помощью смартфона, использована для оценки общей цветовой разницы ПММ сенсоров и предела обнаружения этого метода, а также для машинного обучения считывания парных дозировок красителей с помощью нормировки цвета оцифрованной цветовой информации и анализа изменения RGB координат.

Такая мультиплексная колориметрическая стратегия охватывает несколько новых моментов по сравнению с существующими колориметрическими методами: синхронное быстрое обнаружение красителей без использования аналитического оборудования, повышенный колориметрический предел обнаружения за счет учета изменения интенсивности окраски при одновременном использовании нескольких красителей и повышенную колориметрическую надежность благодаря двойному измерению сигнала твердофазной спектрофотометрией (как независимый метод проверки достоверности) и цифровой колориметрией.

*Работа поддержана Российским Научным Фондом по проекту 24-24-00160.*

## ТВЕРДОФАЗНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕТРАЦИКЛИНА

Кузнецова Д.Е.<sup>1</sup>, Саранчина Н.В.<sup>1</sup>, Гавриленко Н.А.<sup>1</sup>, Гавриленко М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет,  
 химический факультет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Томский политехнический университет,  
 Институт природных ресурсов, Томск, Россия

E-mail: [gavrilenko@mail.tsu.ru](mailto:gavrilenko@mail.tsu.ru)

Антибиотики тетрациклинового ряда имеют широкое применение в сельском хозяйстве, ветеринарии, медицине и др. Несоблюдение дозировок данных препаратов приводит к проникновению тетрациклинов в продукцию животного и растительного происхождения, объекты окружающей среды. Постоянное накопление антибиотика в организме человека способно спровоцировать ряд проблем, включая аллергию, сбои в метаболизме, дисбактериоз и прочие последствия. Поэтому разработка простых схем определения тетрациклинов в биологических жидкостях является актуальной задачей.

Для определения тетрациклинов (ТЦ) в различных объектах применяют иммунохимические, хроматографические, спектрофотометрические методы, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. Независимо от выбранного метода анализа первым этапом определения ТЦ является предварительное выделение антибиотика из различных по сложности состава объектов. К основным способам выделения относятся методы экстракции: жидкостная и твердофазная. По сравнению с жидкостной экстракцией, которая представляет собой трудоемкий и довольно длительный процесс, твердофазная экстракция дает возможность объединить процесс экстракции аналита, концентрирования его в фазе сорбента, а также количественного определения анализируемого компонента непосредственно в твердой фазе.

В настоящей работе показана возможность твердофазно-спектрофотометрического и колориметрического определения ТЦ с использованием в качестве твердофазного экстрагента прозрачной полиметакрилатной матрицы (ПММ). Твердофазную экстракцию ТЦ ПММ проводили из щелочных сред в течение 90 мин при температуре 60 °С. При извлечении тетрациклина матрица остается прозрачной, поэтому для визуализации и усиления аналитического эффекта проводили реакцию азосочетания ТЦ в ПММ с использованием диазотированного реагента. Образующийся в матрице продукт азосочетания ТЦ с реагентом окрашен в ярко-желтый цвет и имеет максимум поглощения на длине 434 нм (рис.1).



**Рисунок 1.** Схема определения ТЦ с использованием полиметакрилатной матрицы

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 24-24-00160.

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ  
РАСТВОРИТЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ ЭКСТРАГЕНТОВ ДЛЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РОДАМИНА 6Ж В ПИЩЕВЫХ  
ПРОДУКТАХ МЕТОДОМ СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРИИ**

*Герасимова А.А.<sup>1</sup>, Шишов А.Ю.<sup>1</sup> и Банерджи Т.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Индийский технологический институт Гувахати, Индия*

*E-mail: [gerasimovaaaaal@gmail.com](mailto:gerasimovaaaaal@gmail.com)*

Определение запрещенных красителей в пищевых продуктах является важной задачей аналитической химии, так как многие из них токсичны и угрожают здоровью человека [1]. Традиционные методы анализа пищевых продуктов часто сопряжены с использованием летучих и токсичных реагентов и растворителей, что делает их неэкологичными. Среди эффективных и экологически безопасных растворителей в последнее время особый интерес вызывают эвтектические растворители (ЭР). Они изготавливаются из доступных, часто природных соединений и обладают высокой растворяющей способностью в отношении многих аналитов. Помимо экологической безопасности, эвтектические растворители (ЭР) обладают широкими возможностями для микроэкстракции. В частности, использование так называемых термо-эвтектических растворителей позволяет проводить экстракцию из гомогенного раствора за счёт изменения температуры. Эти растворители при нормальных условиях образуют истинный раствор с водой, но при нагревании формируют отдельную, несмешивающуюся с водой фазу, что делает их перспективными для селективного извлечения аналитов.

Другим важным направлением развития в области аналитической химии является автоматизация химического анализа с применением проточных методов, что позволяет существенно сокращать расход проб и реагентов при выполнении массовых анализов.

В данном исследовании термо-эвтектические растворители были впервые использованы для автоматизированного анализа пищевых продуктов, а именно для определения в них запрещенного в некоторых странах красителя родамина 6Ж методом спектрофлуориметрии. Согласно процедуре, проба и термо-ЭР на основе лидокаина помещались в наконечник объемом 10 мл и термостатировались при 80 °С, при этом перемешивание осуществлялось путем барботирования. В процессе нагревания происходило формирование фазы ЭР с одновременным извлечением аналита. После разделения фаз экстракт отбирался дозатором и переносился в кювету для регистрации аналитического сигнала. Были исследованы и оптимизированы ключевые параметры детектирования аналита, включая объемы пробы и экстрагента, скорости подачи растворов, влияние температуры и времени, а также влияние дополнительных высаливающих агентов. В оптимальных условиях предел обнаружения аналита составил 0,005 мг/л, а производительность метода составила 5 анализов в час.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-43-02023). Научные исследования частично выполнены в Ресурсном центре «Методы анализа состава вещества» научного парка СПбГУ.*

**Литература**

1. Li Y. et al. Aggregation-induced emission luminogen based molecularly imprinted ratiometric fluorescence sensor for the detection of Rhodamine 6G in food samples // Food chemistry. 2019. V. 287. P. 55-60.

## РАСТВОРИМОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ: ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ТРАНСДЕРМАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ

*Гиниятуллин И.М., Шишов А.Ю.*

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, 198504,  
Институт химии, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, Россия  
E-mail: [st116662@student.spbu.ru](mailto:st116662@student.spbu.ru)*

Фармацевтическая наука активно развивает методы доставки лекарств, направленные на снижение инвазивности и повышение эффективности лечения. Трансдермальная доставка, обеспечивающая введение активных веществ через кожу, исключает необходимость инъекций, уменьшает риск системных побочных эффектов и обеспечивает пролонгированный терапевтический эффект. Однако ограниченная растворимость и стабильность многих фармакологических соединений в водных системах затрудняют применение трансдермальных технологий [1].

Глубокие эвтектические растворители (ГЭР) – смеси природных компонентов, таких как сахара, органические кислоты и терпеноиды, которые благодаря водородным связям обладают уникальными растворяющими свойствами. Использование ГЭР способно увеличить растворимость плохо растворимых соединений и служить средой для их трансдермальной доставки [2].

В данной работе изучались смеси полярных и неполярных ГЭР для растворения и стабилизации широкого спектра лекарственных веществ, включая антибиотики (ципрофлоксацин, офлоксацин, моксифлоксацин), нестероидные противовоспалительные препараты (диклофенак, кетопрофен, флурбипрофен, мефенамовая кислота), противоопухолевые агенты (5-фторурацил, 6-тиогуанин) и гормональные препараты (эстрадиол, прогестерон, гидрокортизон). Экспериментальная часть исследования включала разработку и оптимизацию методик определения растворимости лекарственных веществ в различных системах ГЭР, оценку стабильности изучаемых соединений в этих средах при различных условиях хранения, а также проведение хроматографического анализа с использованием ВЭЖХ-УФ для определения состава и концентрации лекарственных веществ.

Результаты исследования показали, что растворимость и устойчивость лекарственных веществ зависят от состава ГЭР, температуры и других факторов. Эти данные могут быть использованы для разработки новых трансдермальных лекарственных форм. Таким образом, исследование закладывает основу для дальнейшего изучения ГЭР как среды для индивидуализированных терапевтических систем и оценки их совместимости с биологическими тканями.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Санкт-Петербургского Государственного Университета (проект 103753335). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава веществ).*

### Литература

1. Beaven E. et al. Potentials of ionic liquids to overcome physical and biological barriers //Advanced drug delivery reviews. 2024. Т. 204. С. 115157.
2. Mustafa N. R. et al. Solubility and stability of some pharmaceuticals in natural deep eutectic solvents-based formulations //Molecules. 2021. Т. 26. №. 9. С. 2645

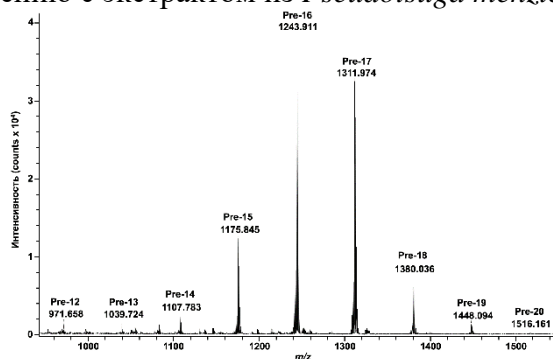
## МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПОЛИПРЕНОЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕНГМЮРА И МАЛДИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

*Гладчук А.С., Суходолов Н.Г., Подольская Е.П.*  
 Институт аналитического приборостроения РАН,  
 Санкт-Петербург, Россия  
 E-mail: [aleglad24@gmail.com](mailto:aleglad24@gmail.com)

Полипренолы – линейные длинноцепочечные изопреноидные спирты природного происхождения. Полипренолы и их производные участвуют в синтезе гликопротеинов клеточных мембран, обладают гепатопротекторной, противовирусной и иммуномодулирующей активностями. Полипренолы представляют собой перспективный класс биологически активных соединений, которые могут выступать в качестве основы для разработки новых лекарственных средств или компонента липосомной системы доставки лекарств. На сегодняшний день количественный анализ полипренолов в различных биологических матрицах преимущественно осуществляется с использованием обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым или масс-спектрометрическим детектором. В то же время, метод масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией/ионизацией (МАЛДИ-МС), отличающийся высокой чувствительностью и экспрессностью, практически не используется для решения такого типа задач.

Предлагаемый новый подход к анализу полипренолов методом МАЛДИ-МС основывается на формировании мономолекулярных слоев полипренолов непосредственно на поверхности ячеек МАЛДИ мишени. Образование монослоев происходит в процессе нанесения раствора полипренолов в н-гексане на каплю водного раствора соли бария. В результате МАЛДИ-МС анализа полученных монослоев полипренолы регистрируются в виде сигналов соответствующих  $[M-H+Ba]^+$  ионов, несмотря на их неионогенную природу.

В качестве объекта исследования был использован концентрат хвойных полипренолов «Пренолит». В масс-спектрах (рисунок 1) детектировался ряд сигналов с разницей  $m/z$  68 ( $C_5H_8$ ) и соответствующих моноалкоголятам бария по значению  $m/z$  и по изотопному распределению. Всего было выявлено 9 полипренол-гомологов с числом изопреновых звеньев в составе от 12 до 20. Предел обнаружения предложенного подхода составил 5 нг/мл. Предложенный подход был апробирован при профилировании полипренолов в экстрактах из сухих листьев *Ginkgo biloba* и хвои пихты *Pseudotsuga menziesii*. Сравнительная характеристика интенсивности сигналов в масс-спектрах позволяет утверждать преобладание в экстракте из *Ginkgo biloba* L. более длинных полипренолов по сравнению с экстрактом из *Pseudotsuga menziesii*.



**Рисунок 1.** МАЛДИ масс-спектр смеси полипренолов «Пренолит»

Авторы выражают благодарность Ресурсному центру «Развитие молекулярных и клеточных технологий» Научного парка СПбГУ за помощь в проведении масс-спектрометрического анализа.



## ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ В АНАЛИЗЕ ТОКСИЧНЫХ АЗОТИСТЫХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ НА УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ

**Гриневич О.И.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Москва, Россия*

*E-mail: [oksigrinevich@gmail.com](mailto:oksigrinevich@gmail.com)*

Азотсодержащие гетероциклические соединения – обширный класс органических соединений, которые находят широкое практическое применение в качестве лекарственных средств, экстрагентов для извлечения редкоземельных металлов, пестицидов и т.п. Подходы газовой и жидкостной хроматографии активно используются для их анализа и разделения. Для разработки эффективных методов идентификации и разделения необходимо понимание процессов, протекающих на границе «сорбат-сорбент», но для многих азотистых гетероциклов механизмы удерживания недостаточно изучены. Это может приводить к трудностям в объяснении наблюдаемого удерживания, в том числе на углеродных материалах. Применение вычислительных методов может улучшить понимание экспериментальных результатов и на основании этого разработать более эффективные методики анализа.

В настоящей работе исследованы шестичленные гетероциклические азины, которые используются в качестве гербицидов и являются структурными фрагментами биологически активных веществ. Изучена адсорбция изомерных диазинов на фрагменте графена для нахождения возможных корреляций с отмеченными особенностями удерживания на графитированной термической саже (ГТС) в условиях газовой хроматографии [1]. Также сравнивалось удерживание пяти триазиновых гербицидов в условиях ВЭЖХ на октадецилсиликагеле (ОДС) и пористом графитированном углероде (ПГУ), и для объяснения повышения селективности разделения на ПГУ и порядка элюирования проводили молекулярно-статистический расчет констант адсорбции Генри. Показано, что возрастание удерживания 1,2-диазина на графене и ГТС может быть связано с усиленными электростатическими взаимодействиями, обусловленными наибольшим дипольным моментом по сравнению с изомерами [2]. Усиление селективности разделения гербицидов на ПГУ и изменения в порядке элюирования по сравнению с ОДС связаны со сложным механизмом удерживания на ПГУ, более чувствительным к строению молекул сорбатов [3]. В конечном итоге, это позволяет разработать методику для более селективного определения целевых токсичных компонентов в сложных смесях.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта № 075-15-2024-534).*

### **Литература**

1. Киселев А.В., Дементьева Л.А. Молекулярно-статистический расчет констант Генри для адсорбции азотсодержащих органических молекул на графитированной саже. Азабензолы // Журнал физической химии. 1986. Т. 60. № 8. С. 1951-1953.
2. Grinevich O.I., Volkov V.V., Buryak A.K. Diazines on graphene: adsorption, structural variances and electronic states // Phys. Chem. Chem. Phys. 2022. Vol. 24. No. 48. P. 29712-29720.
3. Grinevich O., Khesina Z., Buryak A. Abnormal retention of s-triazine herbicides on porous graphitic carbon // Rev. Anal. Chem. 2022. Vol. 41. No. 1. P. 1-9.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИСФЕНОЛА А В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ НА МАГНИТНЫХ СОРБЕНТАХ

*Губин А.С., Суханов П.Т., Кушнир А.А.*

*Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
факультет экологии и химической технологии, Воронеж, Россия*

Загрязнение почв и природных вод бисфенолом А связано не столько с промышленными сбросами, сколько с широким применением пластиков на основе поликарбоната. Поликарбонат неустойчив в окружающей среде, быстро распадается до микропластика, который затем деградирует до свободного БФА. Процессы деградации обычно активно протекают в почве и донных отложениях. БФА относится к эндокринным дизрапторам, которые из-за сходства с  $17\beta$ -эстрадиолом проявляют свое негативное воздействие, прежде всего, на водную биоту.

Для определения БФА разработан комплекс различных подходов, обеспечивающих его определение на уровне десятков и сотен нг/кг или нг/л в различных матрицах. В качестве основного метода определения нами применена газовая хроматография – масс-спектрометрия с дериватизацией уксусным ангидридом или без нее. Предложен магнитный молекулярно импринтированный полимер (ММИП) на основе N-винилпирролидона, характеризующийся величиной импринтинг-фактора 7.1. Для определения БФА с использованием ММИП использовали предварительное концентрирование как в статических, так и в динамических условиях. В динамических условиях использовали автоматизированную систему он-лайн концентрирования, которая позволила достичь коэффициенты концентрирования более 3000. Поскольку почва, в особенности техногенно измененные ландшафты, являются сложной матрицей, применялась предварительная обработка образцов н-гептаном для удаления нефтепродуктов, эфирных масел и других гидрофобных компонентов. Разработанные способы концентрирования в сочетании с ГХ-МС применены для анализа реальных образцов почв, воды и донных отложений.

Определению БФА существенно мешают микропластики на основе поликарбоната, поскольку пробоподготовка включает щелочную экстракцию, в ходе которой поликарбонат разрушается до БФА. При проведении предварительной экстракции для уменьшения влияния микропластиков на результаты определения уменьшали pH до 10. Правильность устанавливали, проводя анализ в присутствии поликарбонатных микропластиков. Для этого образцы поликарбоната подвергали криодеструкции, измельчали на шаровой мельнице до 2 – 10 мкм.

Разработанный способ позволяет определять свободный БФА в присутствии БФА, входящего в состав пластиков. Пределы определения с применением динамического концентрирования составляют от 6 нг/л в чистых речных водах до 40 нг/кг в почвах.

Для определения БФА в донных отложениях предложено использовать матричное твердофазное диспергирование. Для концентрирования применялся магнитный сорбент на основе композита оксида графена и карбоксилата бутилимидазолия. Способ позволяет упростить процедуру анализа, но характеризуется более низкой чувствительностью. При анализе донных отложений предел определения составляет 0,35 – 0,65 мкг/кг.

Разработанный способ определения БФА апробирован на примере анализа водных сред и донных отложений пресноводных водоемов Воронежской области.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ФЕРМЕНТЫ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ТЕСТА МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Деева А.А.<sup>1,2</sup>, Пахтусов Д.С.<sup>1</sup>, Сутормин О.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, ИФБиТ, Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

E-mail: [adeeva@sfu-kras.ru](mailto:adeeva@sfu-kras.ru)

Современные методы контроля загрязнения окружающей среды включают применение экспрессных методов, которые обеспечивают высокую чувствительность и оперативность выявления поллютантов. Ферментативные биолюминесцентные биотесты могут эффективно дополнить уже применяющиеся методики, так как позволяют детектировать достаточно низкие концентрации токсичных веществ. В частности, система, состоящая из бактериальной люциферазы (BLuc) и NAD(P)H:FMN-оксидоредуктазы (Red), применяется для индикации следовых количеств различных загрязнителей. Однако влияние растворителей, используемых в пробоподготовке, на ферменты биотеста остается недостаточно изученным. Кроме того, недавние исследования показали, что чувствительность сопряженной системы BLuc-Red к внешним факторам зачастую определяется изменением активности Red [1]. В связи с чем, понимание механизмов действия различных сред на структуру и динамику данного фермента представляет большой интерес с целью оптимизации условий для его использования в качестве компонента ферментативного биотеста.

Целью данного исследования было определение влияния водного раствора ацетона и ДМСО на структуру и динамику NAD(P)H:FMN-оксидоредуктазы светящихся бактерий.

Моделирование молекулярной динамики проводилось с использованием программного пакета GROMACS 2020.4 в силовом поле CHARMM36. Рассматривались две системы: фермент в воде и фермент в водном растворе ацетона/ДМСО с массовой долей 10 %. После минимизации энергии и релаксации системы проводились три независимых симуляции, время моделирования составило 100 нс. Анализировались такие параметры, как среднеквадратичное отклонение (RMSD), радиус инерции (Rg), площадь поверхности, доступная растворителю (SASA), и среднеквадратичная флуктуация (RMSF) C $\alpha$ -атомов аминокислотных остатков.

В результате моделирования молекулярной динамики было обнаружено, что оба растворителя не оказывают значительного влияния на стабильность структуры Red. Однако в присутствии ацетона происходит изменение подвижности отдельных аминокислотных остатков в области связывания субстратов (90–134 а.о.). Это может повлиять на специфичность фермента к NAD(P)H и эффективность катализируемой реакции, что необходимо учитывать при разработке биолюминесцентных тестов для экоаналитики.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-14-20030, <https://rscf.ru/project/24-14-20030/>.*

### Литература

1. Sutormin O. S. et al. Coupling of NAD (P) H: FMN-oxidoreductase and luciferase from luminous bacteria in a viscous medium: Finding the weakest link in the chain // Photochemistry and Photobiology. 2024. Vol. 100. P. 465-476.



## ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОТО-ПЛЁНОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ИНВЕРСИОННО-ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЫШЬЯКА И ТАЛЛИЯ В УСЛОВИЯХ ДОФАЗОВОГО ОСАЖДЕНИЯ

*Дымова А.В., Еремеева А.С., Мартынов Л.Ю.*

*МИРЭА – Российский Технологический Университет, институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: [dymova@mirea.ru](mailto:dymova@mirea.ru)*

Мышьяк и таллий – одни из самых известных токсичных элементов. Они представляют опасность для живых организмов даже в небольших концентрациях, и могут накапливаться в природных объектах, что приводит к необходимости их тщательного контроля с помощью высокочувствительных методов, например, анодной инверсионной вольтамперометрии (ИВА). Перспективным электродным материалом для ИВА определения мышьяка и таллия являются различные золотые электроды, за счёт сродства к этим элементам, и в частности, золото-плёночные электроды (ЗПЭ), характеризующиеся доступностью и большой рабочей поверхностью.

Цель работы – оптимизация условий подготовки золото-плёночного электрода и разработка методик определения мышьяка и таллия в природных объектах методом квадратно-волновой анодной инверсионной вольтамперометрии.

Изготовление ЗПЭ осуществляется потенциостатическим осаждением золота из его раствора на вращающемся углесталловом электроде. С помощью методов циклической вольтамперометрии и сканирующей электронной микроскопии, а также по ИВА сигналу мышьяка были оптимизированы условия электролиза, при которых формируется равномерный слой золота со средним размером частиц в 0.13 мкм и площадью поверхности 0,4 см<sup>2</sup>:  $\tau_0 = 300$ с,  $E_0 = -0.3$  В,  $\omega = 1000$  об/мин,  $C(\text{HAuCl}_4) = 1$  мМ. Подробно оптимизация ЗПЭ и определение мышьяка были описаны нами в статье [1].

Для ИВА определения мышьяка на изготовленном электроде были подобраны рабочие параметры, получены градуировочные зависимости высоты сигнала от концентрации мышьяка в стандартных водных растворах и проведена оценка метрологических характеристик метода. Предложен способ количественного восстановления As(V) до As(III), позволяющий проводить полное определение элемента в водных растворах. В результате был достигнут предел обнаружения мышьяка в 1.5 мкг/л, что значительно ниже его ПДК (10-50 мкг/л для питьевой воды).

Определение таллия осуществлялось в условиях дофазового осаждения (ДФО) - осаждения монослоя таллия на ряде других металлов при потенциале, более положительном, чем потенциал осаждения его основной массы. При оптимальных параметрах определения таллия в стандартных водных растворах достигнутый предел обнаружения составил 1.6 мкг/л при уравнении градуировочной зависимости  $y = 0.676x + 6.370$  ( $R^2 = 0.9998$ ) и линейном диапазоне 5 - 100 мкг/л;  $S_r$  ( $p = 0.95$ ;  $n = 3$ ) = 0.05.

При установленных условиях было проведено количественное определение исследуемых металлов в питьевой и речной воде и воде из-под крана, а также определение мышьяка в атлантических креветках методом стандартной добавки. При определении мышьяка и таллия в воде степень извлечения составила  $100 \pm 5$  %;  $S_r$  не превышало 0.09. Полученные результаты были сопоставлены и согласовывались с результатами спектральных методов анализа.

### Литература

1. L.Yu. Martynov, A.V. Dymova, et al. Electrochemical and microscopic study of a rotating disk Gold-Film electrode for voltammetric determination of arsenic (III) // Microchem. J. Elsevier B.V. 2024. Vol. 205. № July. P. 111177.

## МАСС-СПЕКТРОМЕТР С МЕМБРАННЫМ ВВОДОМ ПРОБЫ (MIMS) ДЛЯ АНАЛИЗА РАСТВОРЕННЫХ В ВОДЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

*Ершов Т.Д.<sup>1</sup>, Бородин А.В.<sup>2</sup>, Ларичкин М.П.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ФГБУН Институт аналитического приборостроения Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ООО «Инфраспек», Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>ООО «ЦФТИ «Аналитик», Санкт-Петербург, Россия

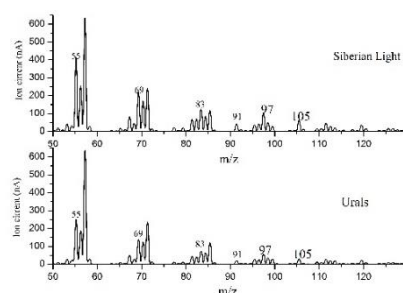
E-mail: [orienteer@yandex.ru](mailto:orienteer@yandex.ru)

В настоящее время, для анализа нефти в морской воде, используются следующие мониторы: ИК-спектрометры, УФ-флуориметры, газовые и жидкостные хроматографы. Из всех перечисленных выше методов, только методы хроматографии позволяют измерять в морской воде парциальные концентрации различных углеводородов. Однако, эти методы требуют квалифицированного персонала и длительную пробоподготовку. Недостатком оптических методов является отсутствие возможности измерять парциальные концентрации ароматических углеводородов.

В докладе представлены возможности масс-спектрометра с мембранным вводом пробы (MIMS) при анализе растворенных в воде углеводородов. В узле ввода пробы использовалась полидиметилсилоксановая мембрана (PDMS), которая подходит для анализа неполярных соединений, таких как бензол, толуол, ксилол (БТК). Молекулы БТК используются для измерения концентрации суспензии нефти в морской воде ввиду линейной зависимости ионного тока масс-спектрометра от концентрации БТК [1].

Метод может увеличивать относительную концентрацию растворенных веществ до тысячи раз [2]. В лабораторных условиях достижим предел обнаружения 0,1ppb для толуола.

Был выполнен анализ водной эмульсии сырой нефти сортов Urals и Siberian Light в морской воде при концентрациях 500 mg/L. Анализ проб был выполнен в диапазоне масс  $m/z$  50-  $m/z$  130. (Рис.1)



**Рисунок 1.** Спектры водной эмульсии нефти сортов Urals и Siberian Light.

Современные MIMS-системы могут быть компактными и легкими, что делает их удобными для использования в полевых условиях [3].

### Литература

1. Brkic B., France N., Taylor S. Oil-in-Water Monitoring Using Membrane Inlet Mass Spectrometry (2011) Anal Chem, 83, 6230–6236.
2. В.Т. Коган, Д. С. Лебедев, А. К. Павлов, Ю. В. Чичагов, А. С. Антонов (2011) Приборы и техника эксперимента, 3, 105-112
3. Kartalovic B., Vujic D., Ilic D., Brkic B. Development and validation of a portable membrane inlet mass spectrometry method for the measurement of monoaromatic hydrocarbons in water from a river canal // The Royal Society of Chemistry 2024

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА КЛОТРИМАЗОЛА В РЫБЕ ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ МЕТОДОМ ВЭЖХ-МС/МС

**Жедулов А.Е., Сорокин А.В., Мамедова Е.И.**

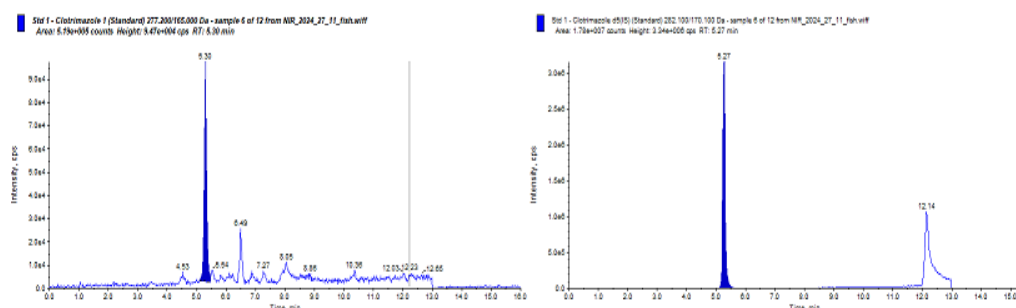
*Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов (ФГБУ «ВГНКИ»), Москва, Россия*

*E-mail: [a.zhedulov@vgnki.ru](mailto:a.zhedulov@vgnki.ru)*

В последнее десятилетие остатки многих фармацевтических препаратов все чаще обнаруживаются в поверхностных, грунтовых и питьевых водах [1]. Клотримазол - антимикотический препарат широкого спектра действия, используемый для лечения дерматологических и гинекологических грибковых инфекций, а также применяемый в ветеринарии. Низкая биodeградация [3], а также нарушения в регламентах применения, технологий очистки сточных вод на фермах [2] и канализационных очистных сооружениях домов и больниц, приводит к тому, что клотримазол массовым потоком попадает в реки и далее - в моря и океаны. Клотримазол имеет выраженную токсичность для рыб, дафний и водорослей [4]. Несмотря на относительно низкие концентрации клотримазола, обнаруженные в водной среде, анализ водных организмов является целесообразным, т.к. они являются индикаторами загрязнения водоёма в целом.

Обзор рисков в отношении клотримазола не позволяет установить значения экологически значимых концентраций, однако комиссией OSPAR предложена рекомендательная стратегия мониторинга клотримазола [4]

В ФГБУ «ВГНКИ» разработана методика, позволяющая проводить количественное определение клотримазола в рыбе. На этапе подготовки проб предложен подход, включающий в себя экстракцию ацетонитрилом с последующей очисткой на картридже Oasis HLB. Хроматографический анализ проводят на ОФ-колонке C18: 150×2.1 мм, 5 мкм.; подвижные фазы: А - 0,5% водный раствор муравьиной кислоты, Б - 2 % раствор муравьиной кислоты в ацетонитриле. Детектирование в режиме MRM с использованием масс-спектрометра «SCIEX TQ 6500+», ионизация в положительном режиме ESI. В качестве внутреннего стандарта используют клотримазол-*d5*. Разработанная методика позволяет определять остаточные содержания клотримазола в диапазоне 1 -1000 мкг/кг.



**Рисунок 1.** Примеры масс-хроматограмм клотримазола на уровне 1 мкг/кг и клотримазола-*d5* в рыбе.

### Литература

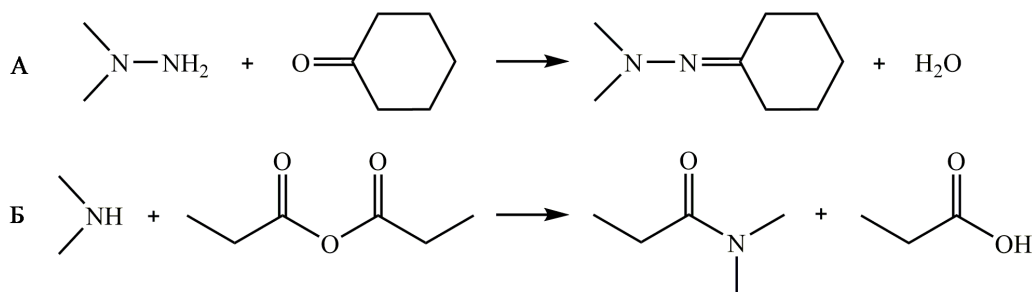
- 1 Corcoran, J., M.J. Winter, and C.R. Tyler. 2010. Pharmaceuticals in the aquatic environment: A critical review of the evidence for health effects in fish. *Critical Reviews in Toxicology* 40: 287–304.
2. Peschka, M., Roberts, P. H., Knepper, T. P., *Anal. Bioanal. Chem.* 2007, 389, 959–968.
3. Mejías C., Martín J., Santos J.L., Aparicio I., Alonso E. Occurrence of pharmaceuticals and their metabolites in sewage sludge and soil: A review on their distribution and environmental risk assessment // *Trends Environ. Anal. Chem.* 2021. Vol. 30. Article e00125
4. OSPAR Commission, OSPAR background document on clotrimazole (2005 Update), 2005.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА  
И ПРОДУКТОВ ЕГО КОНВЕРСИИ  
МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ***Загладкина Е.В., Шачнева М.Д., Савельева Е.И.**Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека,  
188663, Ленинградская область, м.р-н Всеволожский, г.п. Кузьмоловское, ул. Заводская,  
зд. 6/2, корп. №93**E-mail: [e\\_v\\_zagladkina@mail.ru](mailto:e_v_zagladkina@mail.ru)*

Для экоаналитического контроля безопасности ракетно-космической деятельности в объектах окружающей среды (почва, отходы) предписано определение высокотоксичного компонента ракетного топлива несимметричного диметилгидразина (НДМГ) и продуктов его конверсии диметиламина (ДМА), 1,1,4,4-тетраметилтетразена (ТМТ), N-нитрозодиметиламина (НДМА).

Целью настоящей работы была оценка возможности определения НДМГ, НДМА, ТМТ и ДМА методом газовой хроматомасс-спектрометрии (ГХ-МС) в рамках одной методики.

В условиях капиллярной ГХ-МС возможно прямое определение НДМА и ТМТ, а термолабильные НДМГ и ДМА нуждаются в предварительной дериватизации. Необходимо было подобрать схему, при использовании которой достигалась бы полная конверсия НДМГ и ДМА в термостабильные производные и при этом бы не происходило деградации аналитов. Поставленным условиям отвечала разработанная нами процедура последовательной обработки щелочного раствора аналитов циклогексаном для дериватизации НДМГ и пропионовым ангидридом для дериватизации ДМА. В качестве побочного продукта реакции выделяется слабая пропионовая кислота, в присутствии которой ТМТ остается стабильным. На рисунке 1 представлены схемы реакций дериватизации НДМГ и ДМА.



**Рисунок 1.** Схемы реакций дериватизации НДМГ (А) и ДМА (Б)

Полученные дериваты НДМГ и ДМА, а также НДМА и ТМТ экстрагируют хлористым метилом, концентрируют упариванием в токе азота и анализируют методом ГХ-МС.

Для определения четырех аналитов в одном ГХ-МС анализе необходимо было подобрать хроматографическую колонку, позволяющую получить приемлемые хроматографические характеристики для всех аналитов. Слабополярная колонка DB-5MS не обеспечивает определения полярного НДМА, на полярной колонке WAX дериваты НДМГ и ДМА не удерживаются, а пик ТМТ имеет асимметричную форму. В качестве оптимальной была выбрана колонка с умеренной полярностью DB-624 (30 м × 0,25 мм × 1,4 мкм). На следующем этапе перед нами стоит задача подбора условий экстракции данных аналитов из почвы и других матриц.

## «ЗЕЛЕНАЯ» ЭКСТРАКЦИЯ В АНАЛИЗЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ, СОДЕРЖАЩИХ АМИНОКИСЛОТЫ

*Иванчура П.В.<sup>1</sup>, Мокина Н.Я.<sup>1,2</sup>, Пахомова О.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Елец, Россия

<sup>2</sup>ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия

E-mail: [moksnad@mail.ru](mailto:moksnad@mail.ru)

Лекарственные средства на основе аминокислот нашли широкое применение в медицине для лечения послеоперационных пациентов, помощи в терапии при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, центральной нервной системы. Кроме того, аминокислоты являются основными компонентами различных пищевых добавок, спортивного питания, а также сырья при производстве других веществ. Важная аналитическая задача состоит в разработке методик, позволяющих контролировать содержание аминокислот в лекарственных препаратах без разрушения матрицы объекта.

Жидкостная экстракция является основной стадией пробоподготовки при анализе объектов, содержащих аминокислоты. В качестве экстрагентов наиболее перспективными представляются экологически и экономически целесообразные нетоксичные, негорючие, водорастворимые гомо- и сополимеры N-виниламидов [1]. Такие полимеры в полной мере отвечают требованиям «зеленой» химии и зарекомендовали себя как эффективные экстрагенты в отношении аминокислот и других биологически активных веществ. Для извлечения и определения в лекарственных препаратах гистидина, метионина, пролина и треонина в работе применены синтезированные полимеры на основе N-виниламида [2]. Для использования таких полимеров при экстракции обязательно введение высаливателя, способствующего образованию двухфазной системы (например, сульфата аммония).

Для анализа выбраны таблетированные препараты различных фирм-производителей, содержащие аминокислоты в следующей дозировке: метионин – 250 мг, гистидин – 500 мг, пролин – 1000 мг, треонин – 500 мг. Экстракция проводилась после измельчения таблетированных препаратов и растворения их точной навески в водно-солевом растворе. Установлены наиболее эффективные условия извлечения аминокислот: соотношение объемов водно-солевой и органической фаз 10:3; время экстракции и расслаивания систем – 15 мин, поли-N-винилформамид и его сополимеры в качестве экстрагентов [1].

Степень извлечения аминокислот составляет 96-97 % от их исходного содержания в лекарственных препаратах. Минимально определяемая концентрация аминокислот составляет 0,002 моль/дм<sup>3</sup>. Определение аминокислот в таблетированных препаратах после экстракции осуществлялось спектрофотометрическим (гистидин, метионин) или электрофоретическим (пролин, треонин) методами. Проведенные исследования показали возможность контроля содержания аминокислот в лекарственных препаратах без разрушения многокомпонентной матрицы объекта и применения вредодействующих органических веществ.

### Литература

1. Мокина Н.Я., Шкинев В.М., Пахомова О.А., Шаталов Г.В., Спиваков Б.Я. Экстракционные системы на основе N-винилформамида для извлечения и разделения циклических аминокислот // Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. 2020. Т.492-493. № 1. С. 13-17.
2. Мокина Н.Я., Пахомова О.А., Соколова А.В., Закусилов В.П., Кузнецов И.Е. Синтез и характеристика экологически безопасных водорастворимых полимеров на основе N-виниламида // Уч. записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2021. Т.7. № 3. С. 306-315.

**АНАЛИЗ СОСТАВА «СИНТЕТИЧЕСКИХ» НЕФТИ И ГАЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА  
ОРГАНОНАСЫЩЕННЫЕ ПОРОДЫ В ПЛАСТЕ**

**Калмыков А.Г.<sup>1</sup>, Савостин Г.Г.<sup>1</sup>, Тихонова М.С.<sup>1</sup>, Левкина В.В.<sup>2</sup>, Видищева О.В.<sup>1</sup>,  
Григоренко Т.В.<sup>1</sup>, Костышина М.О.<sup>1</sup>, Волков Д.С.<sup>2</sup>, Пирогов А.В.<sup>2</sup>, Проскурнин М.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
геологический факультет, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Россия

E-mail: [a.kalmykov@oilmsu.ru](mailto:a.kalmykov@oilmsu.ru)

Одним из важных элементов экономики Российской Федерации является ресурсная база, в том числе запасы нефти и газа. С годами количество добываемых стандартными технологиями бурения скважин нефти и газа сокращается за счёт эффективной выработки. В результате недропользователи сталкиваются с новым вызовом: поиском альтернативных источников углеводородов (УВ) для поддержания ресурсного потенциала страны. Один из путей решения – создание технологий третичного воздействия на пласты горных пород, в результате которых в недрах генерируются «синтетические» нефть и газ [1]. Однако помимо необходимости разработать экономически эффективные методы, аналогичные применяемым в США, важно оценить экологические риски применения такой технологии.

В работе выполнен комплексный анализ состава полученных в результате лабораторного применения технологии прогрева пород «синтетических» нефти и газа. Цель исследования – оценка отличий продуктов от природных ресурсов, наличия токсичных и вредных соединений. Для этого при 300-350°C в течение 3-240 часов в присутствии воды были прогреты образцы основных нефтегазоматеринских пород России. Состав УВ определяли методами газовой хроматографии («Хроматэк - Кристалл 5000») и хромато-масс-спектрометрии (Agilent 8890-5977B).

Полученные результаты позволили установить, что «синтетические» нефть и газ содержат УВ соединения, которые встречаются в составе природных продуктов. Соотношение таких компонентов в пробах газа полностью идентично жирному газу месторождений. При этом в пробах присутствует большое количество водорода (до 8%) и углекислого газа (до 40%), количество зависит от состава пород, на которые осуществляется воздействие. В нефтях основные биомаркерные параметры также незначительно отличаются от природных продуктов. В то же время в ходе воздействия формируются полициклические ароматические углеводороды, которые являются токсичным веществом. Однако их количество не превышает 1%, тогда как в сырой нефти может содержаться до 7%.

Проведённая работа показала, что технология гидротермального воздействия на пласт позволяет получать нефть и газ, близкие по составу к природным, продукты не будут загрязнять окружающую среду. Однако в отдельных случаях может формироваться до 10 л CO<sub>2</sub> из 1 кг породы, потребуется корректировка технологии в зависимости от состава пород.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-13-00197.*

**Литература**

1. Попов Е.Ю., Бондаренко Т.М., Добровольская С.А., Калмыков А.Г., Морозов Н.В., Ерофеев А.А. Потенциал применения третичных методов воздействия на нетрадиционные углеводородные системы на примере баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. 2017. № 3. С. 54-57.

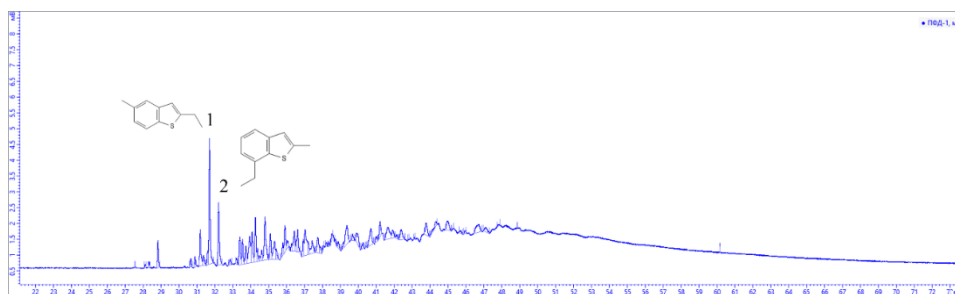
## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С СЕРОСЕЛЕКТИВНЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОФИЛЯ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В СОСТАВЕ АРОМАТИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ НЕФТИ

*Канатьева А.Ю., Курганов А.А., Королев А.А., Викторова Е.Н.*

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: [kanatieva@ips.ac.ru](mailto:kanatieva@ips.ac.ru)*

Изменение состава исходного нефтяного сырья в сторону более высокосернистых смесей и ужесточение экологических требований к продукции и процессам переработки приводит к необходимости разработки новых более эффективных методов обессеривания. Повышению эффективности процессов десульфуризации способствует расширение знаний о возможных серосодержащих соединениях в составе нефтяного сырья. Для пяти ароматических фракций нефти различного происхождения показана возможность использования метода газовой хроматографии с пламенно-фотометрическим детектированием для оценки профиля серосодержащих соединений. Помимо этого, использование селективного к сере детектора позволяет проводить оценку образцов ароматических фракций нефти по общему содержанию соединений серы с учетом взаимного перекрытия пиков ароматических углеводородов и их серосодержащих аналогов. Для этого необходимо построение калибровочной характеристики по БТ и/или ДБТ, использующегося в работе для построения контрольных карт. Показано, что анализ с использованием ГХ с ПИД не позволял с достаточной уверенностью проводить различие между образцами ароматических фракций. С использованием метода ГХ-МС была уточнена природа некоторых сернистых соединений в составе образца и подтверждено наличие взаимного перекрытия пиков ароматических углеводородов и их серосодержащих аналогов. В связи с этим построение профиля сернистых соединений было выполнено с использованием селективного к сере детектора, в качестве которого был выбран ППФД. Для получения численного описания образцов в качестве характеристической величины предложено использование отношения площадей пиков изомерных метилэтилбенз[б]тиофенов (Рис. 1), полученных с контролем процесса с использованием карт Шухарта. На примере годового исследования одного и того же образца показано, что величина отношения остается постоянной в пределах погрешности в течение года, что позволяет использовать эту величину как характеристическую для ароматических фракций.



**Рисунок 1.** ППФД хроматограмма образца ароматической фракции. 1 – 2-этил-5-метилбенз[б]тиофен; 2 – 2-этил-7-метилбенз[б]тиофен.

### Литература

1. Канатьева А.Ю., Курганов А.А., Королев А.А., Викторова Е.Н. Газохроматографическая оценка профиля серосодержащих соединений в составе ароматических фракций // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. Т. 24, No 6. С. 924-933.



## ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В НЕФТИ И ЕЕ ФРАКЦИЯХ.

*Катасонова О.Н., Романова Ю.Н., Марютина Т.А.*

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, 119991, Москва, ул. Косыгина 19*

*E-mail: [katasonova\\_ol@mai.ru](mailto:katasonova_ol@mai.ru)*

Сера относится к основным гетероэлементам нефти, определение её содержания и форм нахождения позволит получить информацию о генезисе и качестве природного полезного ископаемого, выбрать оптимальные способы переработки и очистки нефтяных фракций. Контроль серосодержащих соединений (ССС) в нефти и нефтепродуктах актуален для охраны окружающей среды: активное развитие транспортного сектора и спроса на топливные фракции привели к значимому увеличению выбросов  $SO_x$ , являющихся причиной кислотных дождей. Анализ ряда индивидуальных соединений серы в нефти и некоторых нефтепродуктах, особенно в случае низких концентраций СССР на фоне высокого содержания полициклических ароматических углеводородов требует предварительной пробоподготовки. Для экстракционного выделения СССР из нефтяного сырья, предшествующего анализу, как правило, используются органические растворители, характеризующиеся токсичностью, недостаточной селективностью, а также требующих соблюдения определенной техники безопасности.

В настоящей работе для выделения СССР (меркаптанов, сульфидов, гомологов тиофена) из нефти и ее фракций использовался новый класс экстрагентов – глубокие эвтектические растворители (ГЭР) на основе четвертичных аммониевых солей в качестве акцепторов водородной связи и карбоновых кислот и гликолей в качестве доноров водородной связи. Изучено влияние природы и соотношения акцепторов и доноров водородной связи, а также ряда экстракционных параметров на эффективность и селективность извлечения различных соединений серы, проведена оценка стабильности ГЭР при контакте с реальными образцами, а также учтена взаимная растворимость компонентов экстракционной системы. Показано, что для баланса между экстракционной эффективностью, взаимной растворимостью и стабильностью ГЭР оптимально комбинацией является сочетание длинной углеводородной цепи в акцепторе водородной связи с более короткой в доноре водородной связи и наоборот. Из различных образцов нефтяного сырья кислотными ГЭР было выделено от 25 до 98% соединений серы, которые были идентифицированы с помощью Пиро-ГХ-МС.

Интенсификацию экстракционного выделения соединений серы осуществляли в миниканальном устройстве и УЗ-установке погружного типа, позволяющим сократить время контакта фаз, необходимое для достижения экстракционного равновесия с 20-60 минут до 5-180 сек и соответственно снизить время пробоподготовки. Исследовано влияние конструкционных и рабочих параметров устройств на эффективность извлечения соединений серы из нефтяного сырья. Показано, что результаты экстракции соединений серы из нефти и ее фракций с помощью ГЭР сопоставимы с данными, полученными при использовании классических органических растворителей.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ГЕОХИ РАН.*

## ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД ПОЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

*Д.Л. Колесниченко, И.А. Платонов, И.Н. Колесниченко*  
*Самарский национальный исследовательский университет*  
*E-mail: [irniks@mail.ru](mailto:irniks@mail.ru)*

Стандартные газовые среды широко используются в экологической практике для обеспечения единства измерений, контроля качества, а также создания атмосфер для ускоренных испытаний. Ассортимент аттестованных государственных стандартных образцов достаточно широк и коммерчески доступен, однако их недостатком кроме высокой стоимости является также громоздкость коммерческих ГСО и установок для их получения, что ограничивает их применение во внелабораторных условиях. Для решения этих задач используют динамические методы получения газовых смесей. Наиболее задачам миниатюризации и автоматизации отвечает хромато-десорбционный способ получения газовых сред.

Целью работы являлось получение газовых сред с низким содержанием полярных органических соединений на примере ацетона (1-5 ppm) в воздухе хромато-десорбционным способом.

Для количественного анализа использовали портативный микрофлюидный хроматограф «ПИА». Установлено, что хромато-десорбционный способ позволяет получать газовые смеси ацетона в диапазоне 1-5 ppm в одном цикле анализа, суммарная неопределенность не превышает 10%. Что соизмеримо с ранее полученными результатами для хроматомембранного метода [1] – 6.7%, и парофазного источника [2] – 7%. При этом хромато-десорбционный и хроматомембранный методы отличаются простотой аппаратного оформления и могут быть использованы во внелабораторных условиях. При выборе метода необходимо также учитывать, что данные по значениям константы распределения ацетона в системе вода-пар в различных источниках отличаются на 30-50% при одинаковых температурных условиях [3-5], а в натуральных условиях при отклонении от заданных параметров это значение будет непрогнозируемо отличаться, что будет значительно увеличивать суммарную неопределенность аттестованного значения концентрации аналита, и, следовательно, влиять на достоверность анализа.

### Литература

1. A.R. Gorbacheva, O.V. Rodinkov, Hromatomembrannoe generirovanie standartnyh gazovyh smesey letuchih organicheskikh soedinenij na urovne ppm // *Analitika i kontrol'*. 2018, 22(3), p. 267-272.
2. A.O. Malysheva, M.N. Baldin, V.M. Gruznov, L.V. Blinova, Vnelaboratornyj ekspressnyj gazohromatograficheskij metod analiza vydyhaemogo chelovekom vozduha s avtomatizirovannoj graduirovkoj // *Analitika i kontrol'*, 2018, 22(2), p. 177-185.
3. A.O. Malysheva, M.H. Baldin, B.M. Gruznov, Opredelenie koefficientov raspredeleniya letuchih organicheskikh veshchestv v sisteme zhidkost'-vozduh dlya sozdaniya graduirovочnyh gazoobraznyh obrazcov so sledovymi koncentraciyami veshchestv // *Zhurnal analiticheskoy himii*, 2017, 72(10), p. 867-871.
4. A.G. Vitenberg, L.A. Konopel'ko, Parofaznyj gazohromatograficheskij analiz: metrologicheskie prilozheniya // *Zhurnal analiticheskoy himii*, 2011, 66(5), p. 452-472.
5. A.G. Vitenberg, Sticheskiy parofaznyj gazohromatograficheskij analiz. Fiziko-himicheskie osnovy i oblasti primeneniya // *Ros.him.zhurnal*, 2003, 57(1), p. 7-22.



**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ДИФЕНИЛОЛПРОПАНА, ДИБУТИЛФТАЛАТА И ДИЭТИЛГЕКСИЛФТАЛАТА  
В ВОДНЫХ ЭКСТРАКТАХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ВЭЖХ С  
УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ.**

**Колосов К.Л.<sup>1</sup>, Заславская Д.Н.<sup>1</sup>, Беняев Н.Е.<sup>1</sup>, Еремин С.А.<sup>2</sup>, Пирогов А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Национальный научный центр токсикологической и биологической  
безопасности медицинских изделий», Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Россия

E-mail: [k.kolosov@toxicolog.ru](mailto:k.kolosov@toxicolog.ru)

Оценка безопасности медицинских изделий является важным аспектом охраны здоровья человека. Оценка проводится на основании изучения результатов санитарно-химических и токсикологических испытаний. В задачу санитарно-химических исследований входит идентификация и количественное определение концентраций потенциально опасных химических соединений, и сопоставление их с предельно допустимыми значениями [1]. Для изделий, состоящих из полимерных материалов одним из важных показателей, является количественное определение экстрагирующихся пластификаторов, к которым относятся дифенилолпропан, дибутилфталат и диэтилгексилфталат.

Современные аттестованные методики не позволяют одновременно определять содержание дифенилолпропана, дибутилфталата и диэтилгексилфталата в водных экстрактах. Для одновременного определения дифенилолпропана, дибутилфталата и диэтилгексилфталата в водных экстрактах медицинских изделий, без дополнительной пробоподготовки, разработана методика Высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым детектированием. Диапазоны концентраций для калибровочных кривых выбраны с учетом предельных допустимых значений: дифенилолпропан 0.005-0.4 мг/л ( $R \geq 0.999$ ), дибутилфталат 0.05-4.0 мг/л ( $R \geq 0.999$ ), диэтилгексилфталат 0.05-4.0 мг/л ( $R \geq 0.999$ ).

Экстракцию пластификаторов из медицинских изделий проводили при температуре  $37 \pm 1^\circ\text{C}$ , при постоянном перемешивании в течение 24 часов в воде деонизированной.

Анализ проводили в следующих условиях: хроматографическая система ВЭЖХ, оснащенная бинарным насосом; хроматографическая колонка размером 150 x 4.6 см, заполненная октилсилил силикагелем с размером частиц 5 мкм; программа элюирования: градиентная; детектор: ДМД при ( $\lambda$ -max) 200 нм для дифенилолпропан и 210 нм для дибутилфталата и диэтилгексилфталата. Общее время хроматографирования каждой инъекции составляло 55 минут.

Разработанная методика позволяет оценить количественное определение экстрагирующихся пластификаторов, дифенилолпропан, дибутилфталат и диэтилгексилфталат в водных экстрактах из медицинских изделий без предварительной пробоподготовки.

#### **Литература**

1. ГОСТ Р 52770-2023 Изделия медицинские. Система оценки биологического действия. Общие требования безопасности.
2. Amiridou, D.; Voutsas, V. Alkylphenols and Phthalates in Bottled Waters. J. Hazard. Mater. 2011, 185, 281–286.
3. Casajuana, N.; Lacorte, S. Presence and Release of Phthalic Esters and Other Endocrine Disrupting Compounds in Drinking Water. Chromatographia 2003, 57, 649–655.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО ГЛЮКОМЕТРА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВИРУСНЫХ ЧАСТИЦ

*Кольцова А.В., Михневич Е.И., Дорожко Е.В., Соломоненко А.Н.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,*

*Инженерная школа природных ресурсов, Томск, Россия*

*E-mail: [avk272@tpu.ru](mailto:avk272@tpu.ru)*

Наличие вирусных частиц в технической воде, особенно в период наводнений и паводков, представляет серьезную угрозу для здоровья человека и экологии по сей день. Используемые методы их обнаружения отличаются значительной сложностью и длительностью выполнения анализа [1]. Эти критерии делают их малопригодными для оперативного мониторинга в полевых условиях. В связи с чем возникает необходимость по созданию простого, быстрого и доступного метода обнаружения вирусных загрязнений. Одним из перспективных вариантов в этом направлении является использование персонального глюкометра в качестве анализатора [2].

Целью данной работы является адаптация персонального глюкометра для определения вирусных частиц. Для этого создали конъюгат для иммуноферментного анализа (ИФА) на основе антител к вирусу гепатита А (ВГА) и инвертазы (Inv), катализирующей гидролиз сахарозы с образованием глюкозы и фруктозы. Простота и экспрессность разработанного метода делает его потенциально пригодным для применения в полевых условиях.

Перед началом работы был поставлен входной контроль коммерческой инвертазы (ООО «Торговый дом «Биопрепарат», Россия) для исследования кинетики ферментативной реакции с помощью уравнения Михаэлиса-Ментен. Далее для синтеза конъюгата на основе иммуноглобулинов класса G и инвертаз (IgG-Inv) осуществляли ковалентное сшивание с помощью глутарового альдегида (ГК «Chem-Portal», Китай) [3]. Апробацию конъюгата проводили на модельных растворах и планшете из наборов для проведения иммуноанализа (АО «Вектор Бест», Россия). Для запуска ферментативной реакции вносили сахарозу (300 ммоль/л, pH 4), инкубировали и проводили смену буфера на Трис-HCl (pH 9) для измерения аналитического сигнала. Значение концентрации глюкозы определяли с помощью персонального глюкометра и тест-полосок «Contour TS» (Ascensia Diabetes Care Holdings AG, Швейцария). Содержание глюкозы при работе с контрольно-положительными образцами было в 10 раз выше, чем с контрольно-отрицательными образцами.

Таким образом, возможно использование инвертазы в качестве маркера в иммуноферментном анализе. Синтезированный конъюгат на ее основе способен качественно идентифицировать положительные и отрицательные стандартные образцы модельных растворов. Максимальное время гидролиза составило 20 минут. Следовательно, полученные данные могут быть рекомендованы для будущего определения вирусных загрязнителей в технической воде.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№25-23-00175).*

### Литература

1. Гулий О. И. и др. Методы обнаружения вирусов и биосенсорные технологии //Биофизика. 2019. Т. 64. № 6. С. 1094-1102.
2. Кулакова И. И., Лисичкин Г. В. Биосенсоры на основе графеновых наноматериалов //Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2022. Т. 63. №6. С. 375-394.
3. Hermanson G. T. Bioconjugate techniques. – Academic press, 2013.



**ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОСФАТОВ В  
ПРИРОДНЫХ ВОДАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИЦЕЛЛЯРНОЙ  
МИКРОЭКСТРАКЦИИ НА ОСНОВЕ АЛКИЛПОЛИГЛИКОЗИДОВ**

*Кочеткова М.А.<sup>1</sup>, Двойных Д.Д.<sup>2</sup>, Зубакина Е.А.<sup>2</sup>, Булатов А.В.<sup>1</sup>, Тимофеева И.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет,*

*Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [maria.kochetkova@spbu.ru](mailto:maria.kochetkova@spbu.ru)*

Широкое применение фосфатов в промышленности и сельском хозяйстве приводит к их попаданию в сточные воды, что может привести к нарушению биоценоза и ускорению эвтрофикации водоемов. В связи с этим контроль содержания фосфатов в природных водах является актуальной аналитической задачей.

Одним из наиболее простых и часто используемых методов пробоподготовки для выделения и концентрирования аналитов из сложных по составу матриц является жидкостно-жидкостная экстракция. Однако в классическом варианте такой способ требует использования больших количеств токсичных растворителей, что противоречит принципам «зеленой» аналитической химии. В качестве экологически безопасной альтернативы могут быть использованы супрамолекулярные растворители, которые получают из растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1]. Кроме традиционных ПАВ для образования супрамолекулярного растворителя могут быть применены алкилполигликозиды (АПГ) – биоразлагаемые неионогенные ПАВ с низкой токсичностью.

В данной работе разработан способ мицеллярной микроэкстракции с применением АПГ для фотометрического определения фосфат-ионов в природных водах. Способ основан на дериватизации аналита с образованием восстановленной синей формы молибдофосфорной гетерополиоксикислоты и её последующей экстракции в мицеллярную фазу на основе АПГ. В качестве агента коацервации выступает пивалевая кислота. Полученную фазу анализируют спектрофотометрически. Данный способ был применен для определения фосфатов в морской, речной и колодезной воде. Правильность полученных результатов подтверждена методом «введено-найдено». Для разработанного способа предел обнаружения составляет 0.005 мг/л, диапазон определяемых концентраций – 0.02-0.40 мг/л.

*Работа поддержана грантом Российского Научного Фонда (проект № 24-23-00052, <https://rscf.ru/project/24-23-00052/>).*

**Литература**

1. Mortada W.I. Recent developments and applications of cloud point extraction: A critical review // Microchemical Journal. 2020. Vol. 157. P. 105055.

## СОЗДАНИЕ ПОРТАТИВНЫХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КАТИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

*Кулик В.С., Новикова С.А., Грибова Е.Д., Трошкина Н.Н.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Университет «Дубна», Дубна, Россия*

*E-mail: [kvs.22@uni-dubna.ru](mailto:kvs.22@uni-dubna.ru)*

Загрязнение тяжелыми металлами представляет угрозу для окружающей среды и здоровья человека, из-за чего возникает необходимость в создании быстрого, чувствительного, селективного и компактного инструмента их обнаружения. Преодолеть недостатки современных методов, такие как низкая чувствительность, трудоемкость и высокая стоимость, возможно путем применения сенсоров на основе квантовых точек (КТ). Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, сенсоры на основе КТ могут обеспечивать повышенную чувствительность.

В основе работы сенсоров лежит регистрация изменения одного из физических параметров при взаимодействии с аналитом. В случае КТ фиксируется изменение оптических свойств – интенсивности и цвета испускаемого излучения, что может лежать в основе оптической сенсорной системы. Изменение данных параметров может быть зафиксировано как с помощью приборов, так и непосредственно органами чувств.

Основным требованием к КТ, применяемым в сенсорах, является их гидрофильность. Существует два основных подхода к синтезу халькогенидных КТ – металлоорганический коллоидный и водный коллоидный синтез. КТ, полученные в водной среде изначально гидрофильны, а сам метод является более безопасным и экологически чистым [1], что и стало основанием для его выбора в данной работе.

Для увеличения селективности изготавливаемых сенсоров, а также обеспечения коллоидной стабильности, необходимо модифицировать поверхность КТ лигандами, определяющими способность к взаимодействию с анализируемыми компонентами [2]. Для обнаружения ионов металлов часто применяются производные тиаолкиловых и меркаптоалкиловых кислот.

### Результаты и обсуждение

В рамках работы был проведен водный коллоидный синтез КТ состава CdTe/CdS/ZnS с использованием в качестве стабилизаторов меркаптопропионовой и тиогликолевой кислот, L-цистеина и цистеамина. В ходе изучения стабилизирующих оболочек была выявлена их селективность к ионам  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , что может быть использовано для создания сенсоров для определения ионов нескольких металлов.

Для проведения быстрого определения ионов металлов, были изготовлены бумажные и капиллярные сенсоры на основе КТ. Обнаружение ионов металлов в концентрации от  $1 \cdot 10^{-5}$  М осуществлялись за 5-6 с., затратив 3 мкл анализируемой пробы. Изготовленные сенсоры имеют не высокую стоимость, а метод обнаружения достаточно прост.

### Заключение

В результате исследования было выявлено влияния ионов металлов на свойства КТ различного состава в водной среде, на основании чего были созданы портативные сенсоры на основе КТ для определения ионов  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ .

### Литература

1. Novikova, S. A., Gribova, E. D., Andreev, E. V., Gladyshev P.P. Colloidal Synthesis and Characterization of Hydrophilic CdTe Quantum Dots for Medical Diagnostics // Egypt. J. Chem. 2019. Vol. 62. P. 77–88.
2. Gidwani B., Sahu V., Shukla S. S., Pandey R., Joshi V., Jain V. K. V.A. Quantum dots: Prospectives, toxicity, advances and applications // J. Drug Deliv. Sci. Technol. 2021.



**ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДОФАЗНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ С  
ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ В СОЧЕТАНИИ С ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИЕЙ  
МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЕЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ СКРИНИНГА И  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ АТМОСФЕРНЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ В  
АРКТИЧЕСКОМ СНЕГЕ**

***Латкин Т.Б., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В.***

*Лаборатория экоаналитических исследований, Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика», Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова Наб. Северной Двины, д. 17, 163002, г. Архангельск, Россия.*

*E-mail: [tomdamnnorth@gmail.com](mailto:tomdamnnorth@gmail.com)*

Ключевой проблемой применения ГХ-МСВР для исследования арктического снега является пробоподготовка, которая должна обеспечивать эффективное извлечение и концентрирования аналитов, присутствующих в ультраследовых концентрациях. Традиционные методы пробоподготовки (ЖЖЭ и ТФЭ) предусматривают использование больших объемов экстрагента, концентрирование которого, приводит к появлению на хроматограммах фоновых сигналов микропримесей, затрудняющих поиск минорных соединений в снеге. Для решения данной проблемы нами предложен альтернативный подход к пробоподготовке снега, основанный на твердофазной микроэкстракции с перемешиванием, реализуемой с использованием магнитного мешальника с сорбционным покрытием (SBSE). Для его апробации использована тестовая смесь 76 приоритетных полуволетучих органических загрязнителей различных классов (в соответствии с методом EPA 8270). Применение полидиметилсилоксанового покрытия при экстракции 100 мл водного раствора в течение 3 ч с последующей прямой термодесорбцией аналитов и ГХ-МСВР анализом позволило надежно детектировать более 60 аналитов различных классов, среди них количественная оценка возможна для 15 аналитов. Сравнение эффективности разработанного подхода с методами ЖЖЭ и ТФЭ показало выигрыш в чувствительности SBSE на несколько порядков.

Применение разработанного подхода при анализе приоритетных органических поллютантов в снеге, отобранном в Арктической зоне, позволило выявить 29 компонентов из списка приоритетных загрязнителей атмосферы в концентрациях от 0,09 до 51 нг/л. По результатам нецелевого скрининга было обнаружено свыше 200 органических соединений различных классов, концентрация которых, составляла от 0,01 до 500 нг/л.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект госзадания FSRU-2024-0003).*

**АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ ТИРОЗИНАЗНЫЕ БИОСЕНСОРЫ  
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРИРОВАННЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ *ASPERGILLUS NIGER*.**

**Лопатко Н.Ю.<sup>1</sup>, Малоземова О.Е.<sup>1</sup>, Бейлинсон Р.М.<sup>1</sup>, Медянцева Э.П.<sup>1</sup>, Халдеева Е.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, Россия

<sup>2</sup>ФБУН Казанский НИИ эпидемиологии и микробиологии Роспотребнадзора

E-mail: [nlopatko82@gmail.com](mailto:nlopatko82@gmail.com)

В настоящее время проблема загрязненности объектов окружающей среды патогенными организмами стоит довольно остро, поскольку может негативно влиять на здоровье человека. Одним из патогенов является плесневый гриб *Aspergillus niger*, встречающийся в окружающей среде, в почве, в воде, в воздухе, на растениях и живых организмах. Он вызывает заболевание, называемое черной плесенью, представляющее угрозу здоровью человека.

Одним из современных подходов к мониторингу объектов окружающей среды заключается в применении биосенсоров, поскольку они отличаются экспрессностью, относительно невысокой стоимостью, а также использование таких датчиков снижает потребность в транспортировке и подготовке образцов в централизованную лабораторию, что исключает потребность в консервации пробы и позволяет проводить измерения в полевых условиях.

Основой разрабатываемых биосенсоров послужил печатный графитовый электрод. В составе биочувствительной части разработанного сенсора использовали гомогенат фермента тирозиназы из шампиньонов. В ходе исследования было установлено, что в присутствии *Aspergillus niger* наблюдается увеличение аналитического сигнала (активация) тирозиназного биосенсора в диапазоне рабочих концентраций  $1 \times 10^{-8}$ – $1 \times 10^{-5}$  мг/мл. Нижняя граница определяемых концентраций при этом составила  $5 \times 10^{-9}$  мг/мл, а максимальный процент активации – 240 %.

Одним из направлений развития биосенсорных технологий – применение различных модификаторов рабочей поверхности – в частности углеродных структурированных наноматериалов. С их помощью можно добиться увеличения площади рабочей поверхности электрода, увеличения электропроводности, ускорения переноса электрона, лучшей фиксации фермента на поверхности электрода за счет наличия функциональных групп модификатора.

Для улучшения аналитических характеристик разработанного нами сенсора, поверхность рабочего электрода была модифицирована углеродными структурированными наноматериалами, в частности, многостенными углеродными нанотрубками (МУНТ) и восстановленным оксидом графена (ВОГ). Модификация поверхности электрода благоприятно повлияла на функционирование биосенсора, поскольку наблюдалось увеличение рабочих диапазонов концентраций:  $1 \times 10^{-9}$ – $1 \times 10^{-3}$  мг/мл и снижение нижней границы определяемых концентраций до  $3 \times 10^{-10}$  мг/мл – для ВОГ и  $1 \times 10^{-9}$ – $1 \times 10^{-5}$  мг/мл и нижней границей определяемых концентраций  $5 \times 10^{-10}$  мг/мл – для МУНТ.

Правильность определения оценена способом введено-найденно. Процент открытия составил 92-105%.

При изучении кинетических параметров ферментативной реакции в присутствии *Aspergillus niger* на фермент субстратную систему тирозиназа- фенол наблюдалась псевдоактивация, которая характеризуется уменьшением константы Михаэлиса и максимальной скорости ферментативной реакции.

Разработанная методика в дальнейшем будет апробирована при определении *Aspergillus niger* в образцах различных сельскохозяйственных культур.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА

*Филичкина В.А., Макарова А.И.*

*НИТУ МИСИС, Институт технологий, кафедра сертификации и аналитического  
контроля, Москва, Россия*

*E-mail: [makarova@anacore-exp.ru](mailto:makarova@anacore-exp.ru)*

Обобщенные показатели оценки состояния объектов должны учитывать степень отчуждения и загрязнения природных объектов бытовыми и промышленными отходами. В связи с этим переработка электронного лома (ЭЛ) имеет важное значение для устойчивого развития и защиты окружающей среды. Среди основных положительных аспектов переработки ЭЛ следует выделить снижение загрязнения окружающей среды (почвы и водоемов) токсичными веществами; извлечение из отходов ценных компонентов (цветные и драгоценные металлы), что обеспечивает экономию первичных ресурсов; уменьшение углеродного следа при рециклинге отходов по сравнению с переработкой первичных сырьевых источников.

При производстве электронных продуктов используется свыше 1000 различных материалов, включая бромированные препараты-гасители пламени, поливинилхлориды, тяжелые металлы, пластики и пр., многие из которых способны оказывать тяжелый вред окружающей среде и здоровью рабочих. Поэтому большое количество процессов, операций и материалов, используемых при переработке ЭЛ, являются источниками веществ, оказывающих неблагоприятное воздействие на человека и биосферу [1]. В России переработчики ЭЛ занимаются извлечением из отходов электрического и электронного оборудования ценных компонентов, например, сортированный лом печатных плат направляется на заводы по переработке, где из данного сырья производят медные катоды, а также извлекают драгоценные металлы (ДМ). Наибольший экономический интерес представляют: золото, серебро, платина, палладий [2].

На фоне развития вторичной металлургии ДМ растет интерес к методам анализа вторичного сырья и возможностям для создания системы аналитического контроля технологии от входного контроля до конечной продукции. При проведении исследований входного контроля ЭЛ на российском аффинажном предприятии пришли к заключению о том, что возможно оптимизировать условия подготовки проб для количественного анализа и уменьшить негативное воздействие на работников предприятия и окружающую среду. Установлено, что действующая на предприятии технология подготовки проб, а именно, истирание всего материала отобранного образца ЭЛ после предварительной термической обработки демонстрирует получение сопоставимых результатов при повторных исследованиях и менее безопасна для работников. Предложено изменить последовательность операций, сначала истирать измельченный на промышленном шредере материал образца до определенной крупности, а затем осуществлять термическую обработку. В ходе исследования варьировалась температура и время термической обработки. В результате проведенного межлабораторного эксперимента установлено, что при снижении температуры обжига проб ЭЛ на 50°C и времени обжига на 1 час, получаются сопоставимые результаты анализа.

### Литература

1. Патрушева Т.Н., Барашков В.А., Чурбакова О.В., Петрова С.К. Экологические проблемы производства и утилизации электронных средств // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии 2018. Т. 11, № 6. С. 679 - 693.
2. Карпов Ю. А., Барановская В. Б., Лолейт С. И., Беляев В. Н. Аналитический контроль вторичного металлосодержащего сырья // Цветные металлы. 2015. № 12.

**НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫЕ СВАЛКИ. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОЛИЧЕСТВЕННОГО  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ОТХОДОВ**

**Максакова И.Б., Лопушанская Е.М., Чернова Е.Н.**

*ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»,  
190005, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., 19*

*E-mail: [i.b.maksakova@vniim.ru](mailto:i.b.maksakova@vniim.ru)*

В настоящее время по всей территории РФ органы Росприроднадзора обнаруживают достаточно большое количество несанкционированных свалок и полигонов, а также складских помещений закрытых предприятий, с отходами, находящимися в таре без идентификационных данных. Для того, чтобы принять решение о порядке ликвидации таких объектов, необходимо предварительно провести их идентификацию и определить количественно их состав. Алгоритм работы с пробами неизвестного состава, априорная информация о которых недоступна или ограничена, включает в себя основные операции: определение pH, плотности и растворимости в воде и органических растворителях; изучение газовой выделений методом хромато-масс-спектрометрии с последующей идентификацией компонентов пробы по библиотекам масс-спектров NIST и Wiley, определение элементного состава методом масс-спектрометрии с ИСП или атомно-эмиссионным методом с МП; Однако встречаются отходы, часть которых, представляет собой неконтролируемую продукцию (например, фармацевтическую), которая запрещена к утилизации на полигонах. Общепринятым методом анализа проб неизвестного состава для органических соединений является метод газовой хроматографии/масс-спектрометрии (ГХ/МС), позволяющий проводить идентификацию органических компонентов пробы по библиотекам масс-спектров. Однако, данный метод подходит далеко не для всех веществ. Большинство фармпрепаратов не подлежат анализу методом газовой хроматографии и их идентификация становится весьма проблематичной. Для идентификации таких веществ наиболее перспективным является метод высокоэффективной жидкостной хроматографии/масс-спектрометрии высокого разрешения (ВЭЖХ/МС-ВР). В основе метода лежит измерение точной массы иона анализируемого соединения (4-6 знаков после запятой), что позволяет однозначно определить его элементный и изотопный состав.

Например, при анализе отходов с одной из несанкционированных свалок в Ленинградской области, были обнаружены стеклянные ампулы разных размеров с неизвестным содержимым без этикеток. Исследование традиционным методом ГХ/МС не дало результата, качественный состав ампул был проведен методом ВЭЖХ/МС-ВР. В растворе из ампулы было идентифицировано 4 компонента смеси: пиридоксин, лидокаин, тиамин, цианокобаламин, входящие в состав комбинированных препаратов витаминов группы В (В1, В6 и В12) с обезболивающим компонентом (лидокаин) для инъекций, что подтвердило предварительное предположение о том, что в ампулах содержатся фармпрепараты.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Максимова В.В., Федюнина Н.Н., Лапина В.А., Моходоева О.Б.*

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
Москва, Россия*

*E-mail: [valeriyamaksimova6@gmail.com](mailto:valeriyamaksimova6@gmail.com)*

Изучение процессов накопления и распространения благородных металлов (БМ) в окружающей среде – актуальная аналитическая задача. Имеются сведения о загрязнении атмосферного воздуха, природных и сточных вод вблизи предприятий добычи и переработки ПМ. Это может приводить к нарушению естественных геохимических циклов и неблагоприятному воздействию на живые организмы.

Сложность мониторинга БМ состоит в многообразии их комплексных форм, в том числе в виде микро- и наноразмерных частиц, металлоорганических соединений, частично растворенных и гидролизированных форм. Прямое определение БМ в образцах дорожной пыли и придорожных почв ограничено неоднородностью проб, крайне низкими концентрациями ПМ ( $>10^{-7}$  %), влиянием матричного состава. Снижение предела обнаружения и устранения матричных эффектов достигают предварительным концентрированием.

В настоящем исследовании для определения БМ в объектах окружающей среды предложены новые сорбционные системы на основе «дизайнерских растворителей» [1]. В работе изучали имидазолиевые, фосфониевые и пиридиниевые ионные жидкости, а также эвтектические смеси на основе четвертичных аммониевых оснований, производных гуанидина и тиомочевины, ароматических аминов, фосфорорганических соединений, а также природных соединений терпенов и терпеноидов [2]. Используемые экстрагенты обладают настраиваемыми селективностью, гидрофобностью, способностью к различным взаимодействиям, также их широко применяют для функционализации поверхности твердых носителей. Получены новые сорбенты на основе оксидов металлов/кремния [3]. Сорбционные исследования проводили в статических и динамических условиях. Предложена проточная система для удерживания магнитных сорбентов и проведения сорбции аналитов из больших объемов растворов (в частности, природных вод).

Получены данные по эффективности сорбционного извлечения БМ в зависимости от состава и количества на твердой фазе ионной жидкости/эвтектической смеси, кислотности, времени контакта фаз, состава анализируемого раствора и элюента. Разработанные способы концентрирования апробированы на примере анализа природной воды и дорожной пыли.

*Работа выполнена за счет средств бюджетного финансирования ГЕОХИ РАН.*

### Литература

1. Моходоева О.Б., Максимова В.В., Дженлода Р.Х., Шкинев В.М. Модифицированные ионными жидкостями магнитные наночастицы в анализе объектов окружающей сред // Журн. Аналит. Хим. 2021. Т. 76. № 6. С. 483-495.
2. Mokhodoeva O., Maksimova V., Shishov A., Shkinev V. Separation of platinum group metals using deep eutectic solvents based on quaternary ammonium salts // Sep. Purif. Technol. 2023. Vol. 305. P. 122427.
3. Maksimova V., Mokhodoeva O., Shkinev V., Dzhenloda R. One-pot synthesis of magnetic nanoparticles functionalized by green coatings // J. Nanopart. Res. 2024. Vol. 26. P. 229.

## ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ В АНАЛИЗЕ ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩИХ ОБЪЕКТОВ

*Моходоева О.Б.<sup>1</sup>, Максимова В.В.<sup>1</sup>, Шишов А.Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского  
Российской академии наук, ул. Косыгина, 19, Москва, 119991*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет,  
Институт химии, Университетский просп., 26, Санкт-Петербург, 198504  
E-mail: olga@mokhodoeva.ru*

Экологические аспекты разработки новых платинометалльных месторождений, а также загрязнение почв, придорожных ландшафтов, природных и сточных вод в результате антропогенного воздействия обуславливают необходимость определения металлов платиновой группы в объектах окружающей среды [1]. Прямое определение этих элементов затруднено даже современными чувствительными методами анализа ввиду ультранизких концентраций и/или многочисленных интерференций со стороны матричных компонентов. В связи с этим актуальна разработка методов предварительного концентрирования платиновых металлов.

(Глубокие) эвтектические растворители нашли широкое применение в качестве экстракционных систем для селективного извлечения большого круга органических и неорганических веществ. Благодаря вариабельности составных компонентов эвтектические растворители, как и ионные жидкости, относят к дизайнерским растворителям. Их отличают простота получения в лабораторных условиях, нетоксичность, нелетучесть, биоразлагаемость, низкая стоимость [2].

Авторами исследована возможность экстракционного и сорбционного извлечения металлов платиновой группы (Pt, Pd, Rh, Ir, Ru), а также золота с использованием эвтектических растворителей, в том числе из компонентов природного происхождения. Синтезированы и изучены эвтектические смеси на основе четвертичных аммониевых оснований, производных гуанидина и тиомочевины, фосфорорганических соединений, тионалидов, карбоновых кислот, ментола, камфоры и др.

В докладе представлены способы селективного извлечения благородных металлов с использованием новых экстракционных и сорбционных систем, а также результаты определения благородных металлов в природных водах и технологических сбросных растворах спектрометрическими методами [3-5].

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект РНФ 25-23-00161).*

### Литература

1. Кубракова И.В., Никулин А.В., Кощеева И.Я., Тютюнник О.А. Платиновые металлы в окружающей среде: содержания, определение, поведение в природных системах // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20. № 6. С. 645-656.
2. Mokhodoeva O. Alternative Extraction Systems for Precious Metals Recovery: Aqueous Biphasic Systems, Ionic Liquids, Deep Eutectic Solvents. In: Extraction Metallurgy – New Perspectives. IntechOpen; 2023.
3. Mokhodoeva O., Maksimova V., Shishov A., Shkinev V. Separation of platinum group metals using deep eutectic solvents based on quaternary ammonium salts // Sep. Purif. Technol. 2023. V. 305. 122427.
4. Maksimova V., Lapina V., Martynov L., Shishov A., Mokhodoeva O. Gold determination by electrothermal atomic absorption spectrometry after preconcentration using natural deep eutectic solvent based on menthol and camphor // J. Anal. Test. 2023. V. 7. P. 435-443.
5. Maksimova V., Mokhodoeva O., Shkinev V., Dzhenloda R. One-pot synthesis of magnetic nanoparticles functionalized by green coatings // J. Nanopart. Res. 2024. V. 26. 229.



## МИКРОКОНЦЕНТРАТОРЫ НА ОСНОВЕ СИЛАГЕРМЫ-8040 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

*Маргарян А.Э., Платонов И.А., Колесниченко И.Н., Новикова Е.А.*

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика*

*С.П. Королева, Самара, Россия*

*E-mail: pia@ssau.ru*

Выдыхаемый воздух – это многокомпонентная смесь, состоящая из тысячи летучих органических соединений (ЛОС), содержание которых может показывать нормальное или патологическое состояние здоровья человека. Около 20 из них используются в качестве биомаркеров различных заболеваний. В число селективных соединений входит ацетон, который образуется в результате окисления жиров. Его повышенное содержание в выдыхаемом воздухе сигнализирует об избыточном уровне глюкозы в крови, что позволяет использовать ацетон в качестве биомаркера сахарного диабета [1].

Согласно статистике Всемирной организации здравоохранения численность лиц, страдающих сахарным диабетом, неуклонно растет и на сегодняшний день превышает 800 миллионов пациентов в мире, которым необходим постоянный контроль уровня глюкозы в крови, поэтому ранняя диагностика сахарного диабета является актуальной задачей [2]. Так как ацетон в выдыхаемом воздухе находится на уровне микропримесей, возникает необходимость предварительного концентрирования для увеличения чувствительности и точности определения.

Перспективным направлением в области аналитического приборостроения является разработка микрофлюидных устройств, представляющих собой системы тонких каналов на поверхности различных материалов, таких как стекло, кремний, различные полимерные материалы [3], а наиболее актуальной тенденцией развития аналитического приборостроения является миниатюризация, что позволяет увеличить доступность и мобильность аналитических приборов и расширить границы их использования за пределами лаборатории [4].

В рамках настоящего исследования для проведения концентрирования ацетона в выдыхаемом воздухе предложена конфигурация микроконцентраторов, которые представляют собой пластины на основе Силагерма 8040 с микроканалами, заполненными сорбентом Порапак-Q.

Установлены оптимальные условия концентрирования ( $t_{\text{сорб}}=0^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{дес}}=70^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{\text{сорб}}=45$  мл,  $t_{\text{дес}}=1$  сек) с использованием микроконцентраторов, заполненных сорбентом Порапак-Q, при которых достигнуто максимальное значение коэффициента концентрирования, которое равно 43.

### Литература

1. Копылов Ф.Ю., Сыркин А.Л., Чохамидзе П.Ш. и др., Перспективы диагностики различных заболеваний по составу выдыхаемого воздуха // Клиническая медицина. 2013. № 10. С.16-21.
2. World Health Organization. Diabetes. 14 November 2024. Режим доступа <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/diabetes> (дата обращения: 18.02.2025).
3. Платонов И.А. Платонов Вл.И., Платонов Вал.И., Рощупкина И.Ю., Пилларные МЭМС колонки для газовой хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. Т.18, №2. С. 243-247.
4. Платонов Вал.И. Дисс. канд. хим. наук. Воронеж, 2020. 102 с.



## РАСТВОРИМОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТИВОВИРУСНЫХ ВЕЩЕСТВ В СРЕДЕ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

*Муравьёва Д.А.<sup>1</sup>, Рогачев А.Д.<sup>2</sup>, Яровая О.И.<sup>2</sup>, Шишов А.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный Университет, СПбГУ, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, г.

Новосибирск, Россия

E-mail: [muravvad@mail.ru](mailto:muravvad@mail.ru)

Глубокие эвтектические растворители (ГЭР) представляют собой новый класс растворителей, формируемых за счёт взаимодействия донора и акцептора водородных связей. Благодаря своей уникальной структуре, ГЭР сохраняют жидкое состояние при комнатной температуре, что делает их перспективными для использования в различных научных и технологических областях.

Одним из ключевых направлений использования ГЭР является их применение в качестве растворителей для лекарственных препаратов. Многие активные фармацевтические ингредиенты (АФИ) выпускаются исключительно в твёрдой форме (таблетки, капсулы) из-за отсутствия подходящих растворителей. ГЭР предлагают решение этой проблемы, позволяя создавать жидкие формы препаратов для пероральной доставки, которые характеризуются высокой биосовместимостью, экологической безопасностью и устойчивостью.

В рамках данного исследования был проведён анализ растворимости и стабильности двух противовирусных соединений — дигидрокверцетина [1] и гинсамида [2] — в различных ГЭР. Для количественного определения концентрации веществ использовался метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым и масс-спектрометрическим детектированием.

Результаты исследования демонстрируют перспективность использования ГЭР в качестве среды для растворения и доставки лекарственных веществ. Полученные данные открывают новые возможности для разработки жидких форм препаратов, которые могут быть использованы в персонализированной медицине, обеспечивая повышение биодоступности и снижение токсического воздействия на организм.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Санкт-Петербургского Государственного Университета (проект 103753335). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава веществ).*

### Литература

1. Galochkina, A.V., Anikin, V.B., Babkin, V.A. et al. Virus-inhibiting activity of dihydroquercetin, a flavonoid from *Larix sibirica*, against coxsackievirus B4 in a model of viral pancreatitis. Arch Virol 161, 929–938 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00705-016-2749-3>
2. A.S. Volobueva, O.I. Yarovaya, M.V. Kireeva, S.S. Borisevich, K.S. Kovaleva, I.Ya. Mainagashev, Yu.V. Gatilov, M.G. Ilyina, V.V. Zarubaev, N.F. Salakhutdinov Discovery of New Ginsenol-like Compounds with High Antiviral Activity Molecules, 2021, 26(22), 6794 doi: 10.3390/molecules26226794

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ МЕТОДОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО- СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ.

*А.И. Новиков<sup>1</sup>, А.А. Широкая<sup>1</sup>, М.В. Слуковская<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИХТРЭМС КНЦ РАН) 184209, г. Апатиты, Мурманская обл., мкр. Академгородок, д. 26а*

<sup>2</sup>*Центр наноматериаловедения - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ЦНМ КНЦ РАН) 184209, г. Апатиты, Мурманская обл., ул. Ферсмана, д. 14  
E-mail: [a.novikov@ksc.ru](mailto:a.novikov@ksc.ru)*

Активное развитие промышленности в XX веке существенно увеличило антропогенную нагрузку на окружающую среду, последствия которой хорошо заметны, например, вокруг некоторых горнометаллургических предприятий. Такая местность получила название «техногенная пустошь» и характеризуется отсутствием растительности или её угнетением ввиду загрязнения почвы потенциально токсичными металлами (ПТМ), которые также представляют опасность для здоровья человека.

Изучение механизмов и разработка приемов повышения устойчивости экосистем на территориях с высоким уровнем загрязнения ПТМ диктует необходимость элементного анализа с пробоподготовкой современными более доступными и производительными методами всех компонентов системы, а в частности - растительной биомассы (РБ).

Цель данной работы – разработать и апробировать методику пробоподготовки РБ; провести элементный анализ РБ с экспериментальных площадок, находящихся на техногенной пустоши.

Навеску РБ помещали в специальную термостойкую полипропиленовую пробирку объемом 50 см<sup>3</sup> для Digiblock ED54, приливали 10 см<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub> конц. и выдерживали несколько суток с периодическим перемешиванием до прекращения видимой реакции. Затем пробирки с приоткрытой крышкой помещали в систему термической пробоподготовки Digiblock ED54 с заданной температурой 115°C, выдерживали до исчезновения образовавшейся пены; остужали, добавляли 0,200 см<sup>3</sup> перекиси водорода, 0,100 см<sup>3</sup> плавиковой кислоты и вновь нагревали с приоткрытой крышкой в системе термической пробоподготовки при 115°C до полного растворения навески РБ. После охлаждения, полученные растворы доводили до объема 50 см<sup>3</sup> деионизированной водой.

Измерения проводили на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной аргонной плазмой ICPE-9000 (Shimadzu, Япония). Качество анализа контролировали по стандартному образцу травосмеси TP-1 (ГСО 8922-2007).

Данная методика применена для подготовки образцов РБ, отобранных в 0.7 км от действующего предприятия по переработке медно-никелевой руды для анализа содержания ПТМ. Ранее на участке была проведена рекультивация с использованием серпентинсодержащих горнопромышленных отходов и высеваны семена злаков. К моменту отбора в травостое доминировал пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) и овсяница красная (*Festuca rubra* L.).

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ 24-77-10055*

## РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ТЕСТИРОВАНИЯ И КВАЛИФИКАЦИИ ОБРАЩЕННО-ФАЗНЫХ ВЭЖХ КОЛОНОК

*Окунская Е. А.<sup>1</sup>, Рудакова Л. В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Воронежский Государственный Университет, химический факультет, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Воронежский Государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, фармацевтический факультет, Воронеж, Россия.

E-mail: [e.okunskaya@gmail.com](mailto:e.okunskaya@gmail.com)

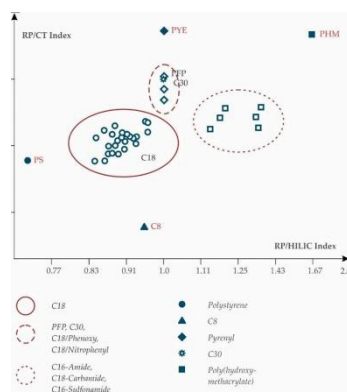
Ключевым принципом аналитических лабораторий является прослеживаемость измерений: все инструменты и процессы, участвующие в измерении, должны прослеживаться до некоторого общепринятого стандарта. В большинстве физико-химических методов анализа достижимая точность измерения определяется применяемым прибором, и оценка прослеживаемости инструмента, по сути, эквивалентна квалификации оборудования.

Уникальность хроматографических методов состоит в том, что специфичность и точность анализа определяется комбинацией применяемой методики и используемой хроматографической колонки. При этом, для проверки методики существует процедура ее валидации, но подобной процедуры не существует для хроматографических колонок.

Целью данной работы является разработка специализированных тестов для квалификации обращенно-фазовых хроматографических колонок как наиболее широко применяемых на практике.

Разработанный авторами тест предоставляет уникальную возможность определения селективности не по одному, а по двум ортогональным параметрам, один из которых связан с примесным гидрофильным механизмом удерживания (HILIC mode), а другой – с примесным режимом за счет переноса заряда (charge-transfer mode).

Тест также позволяет оценивать удерживание в обращенно-фазовом режиме (RP mode), химическую инертность неподвижной фазы и эффективность упаковки колонки. Уникальная способность теста заключается в возможности представления новой классификации обращенно-фазовых НФ по характеру демонстрируемой селективности [1].



**Рисунок 1.** Демонстрация возможности классификации обращенно-фазовых колонок на основе результатов разработанного теста.

### Литература

1. Сычев К.С., Окунская Е.А., Галушко И.А. Применение изократической ВЭЖХ в обращенно-фазовом и гидрофильном режимах для группового определения антибиотиков различных классов. // Аналитика, выпуск #2/2021



## ОПТИМИЗАЦИЯ СТАДИИ ДЕСОРБЦИИ ПРИ ВЭЖХ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФЕНОЛОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ НА УГОЛЬНЫХ СОРБЕНТАХ

*Павлова В.М., Родинков О.В.*

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

Одной из актуальных задач современной экоаналитической химии при определении высоко опасных соединений в объектах окружающей среды является разработка экспрессных высокочувствительных методик концентрирования аналитов. Дополнительные возможности снижения пределов обнаружения при ВЭЖХ определении фенольных соединений (фенол, изомерные крезолы) в природных водах и воздухе возникают за счет оптимизации стадии десорбции. В последние годы для десорбции фенолов все чаще используют горячую воду, однако подобный подход нельзя признать универсальным и к тому же для его реализации требуется дополнительное оборудование.

Существенного снижения пределов обнаружения можно добиться, осуществляя десорбцию аналитов не чистым органическим растворителем, а водно-органическим раствором, близким по составу к используемому элюенту для ВЭЖХ разделения. При использовании подобных растворов высоты пиков фенольных соединений при равных концентрациях в растворе оказываются в 2–2,5 раза больше, чем при десорбции чистым органическим растворителем, в то время как объем десорбирующего раствора, необходимый для количественной десорбции фенолов, при увеличении содержания воды от 0 до 40 % об. увеличивается незначительно.

В таблице приведены высоты пиков фенолов ( $h$ ) и необходимые для количественной десорбции объемы раствора ( $V_{\text{дес}}$ ) в зависимости от содержания ацетонитрила в десорбирующем растворе. В качестве составного критерия, характеризующего достигаемый эффект от разбавления органического растворителя водой при десорбции, принята величина  $Z$ . Концентрирование проводилось в колонке ( $4 \times 0,3$ ) см с активным углем ФАС, а ВЭЖХ определение с использованием колонки Discovery C<sub>18</sub> ( $15 \times 0,46$ ) см, элюент содержал ацетонитрил (60 % об.) и воду (40 %).

**Таблица 1.** Влияние содержания ацетонитрила на параметры процесса.

| Содержание ацетонитрила, объемная доля | Высота пика ( $h$ ), условные единицы |          | Объем десорбента ( $V_{\text{дес}}$ ), мл |          | $Z = h/V_{\text{дес}}$ , мВ/мл |          |
|--|---------------------------------------|----------|---|----------|--------------------------------|----------|
|  | фенол                                 | о-крезол | фенол                                     | о-крезол | фенол                          | о-крезол |
| 1,0                                    | 1,00                                  | 1,00     | 0,39                                      | 0,42     | 2,6                            | 2,3      |
| 0,8                                    | 1,29                                  | 1,31     | 0,42                                      | 0,48     | 3,1                            | 2,7      |
| 0,7                                    | 1,62                                  | 1,55     | 0,45                                      | 0,55     | 3,5                            | 2,8      |
| 0,6                                    | 2,3                                   | 2,0      | 0,51                                      | 0,71     | 4,5                            | 2,8      |
| 0,5                                    | 2,1                                   | 1,8      | 0,8                                       | 1,2      | 2,7                            | 1,2      |

Как следует из данных таблицы, максимальные значения критерия  $Z$ , достигаются при содержании ацетонитрила 60 % об, которое, таким образом, можно признать оптимальным. Как показали результаты проведенных исследований, эффект увеличения высот пиков аналитов при десорбции водно-органическим раствором по сравнению с чистым растворителем проявляется по крайней мере для двух наиболее распространенных в обращенно-фазовой ВЭЖХ растворителей: ацетонитрила и метанола. Нам представляется также, что подобный подход может быть распространен и на ВЭЖХ определение не только фенольных, но и других относительно гидрофильных органических токсикантов. Однако оптимальные степени разбавления могут существенно различаться.



## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЭЖХ-АНАЛИЗА ЭКСТРАКТА МАКЛЕИ СЕРДЦЕВИДНОЙ

*Павлова Л.В., Платонов И.А., Сулейманова Л.Р., Титова К.Е.*

*Самарский национальный исследовательский университет*

*имени академика С.П. Королева*

*г. Самара, Россия*

*E-mail: [lora-pavlova@mail.ru](mailto:lora-pavlova@mail.ru)*

В настоящее время возвращается интерес к лекарственным средствам на растительной основе. В связи с этим проводится ряд исследований по созданию и совершенствованию новых методов контроля этих препаратов с использованием современного оборудования. В фармстатье (ФСП 42-0171-5053-04), определяющей порядок контроля препарата «Сангвиритрин» на основе настойки маклеи сердцевидной, заложен только фотометрический метод количественного анализа, содержащихся в данном препарате действующих веществ сангвинарина гидросульфата и хелеритрина гидросульфата, а также других алкалоидов. В фармстатье на субстанцию «Сангвиритрин» (ФСП 42-0171-4858-03) алкалоидов маклеи сердцевидной заложен метод контроля «тонкослойная хроматография». С целью обеспечения более детального контроля при производстве данных препаратов необходимо разработать методику анализа настойки маклеи методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, позволяющим разделить сложную смесь, идентифицировать и количественно оценить действующие вещества препарата.

Эксперимент проводили на ВЭЖХ установке Azura Knauer. Детектирование осуществляли спектрофотометрическим детектором, длина волны 270 нм. Опираясь на научные публикации, в качестве подвижной фазы использовали сочетания ацетонитрила, метанола, раствора додецилсульфата натрия, фосфатного буферного раствора, ацетатного буферного раствора. Во всех случаях водный раствор подкисляли уксусной кислотой до pH=2,8, т.к. в нейтральной среде не происходит элюирования сангвинарина и хелеритрина. Были опробованы варианты градиентного и изократического элюирования. Основная трудность заключалась в разделении производных сангвинарина. Проверка режимов элюирования на детекторе с диодной матрицей показывала наличие неразделенных компонентов в зоне пика сангвинарина гидросульфата.

Установлено, что оптимальная подвижная фаза для разделения сангвинарина и хелеритрина и их производных при ВЭЖХ анализе настойки маклеи сердцевидной на колонке Phenomenex C18 5 мкм 250\*4,6 мм - 60% раствор 0,01 М фосфатного буфера и 0,0005М додецилсульфата натрия pH=2,8 и 40 % ацетонитрил. Режим элюирования - изократический. Скорость потока 0,5 мл/мин. Температура анализа 25°C. В этом случае на хроматограмме помимо пиков основных компонентов наблюдаются пики дегидросангвинарина и дегидрохелеритрина. Время анализа 45 минут. Неплохие результаты по элюированию дает подвижная фаза 0,01 М фосфатный буфер pH=2,8 – ацетонитрил 60:40 соответственно.

Для экономии времени и при суммарной оценке сангвинарина и его производных, а также хелеритрина и его производных целесообразно использовать подвижную фазу: 60% 0,01М буферный раствор ацетата аммония pH= 2,8 и 40 % ацетонитрил; изократический режим элюирования. Время анализа 15 минут. В этом случае на хроматограмме наблюдаются только основные пики сангвинарина гидросульфата и хелеритрина гидросульфата.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТКЛИКА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСТРАКЦИИ ЭВТЕКТИЧЕСКИМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ

*Панфилова К.А., Бочко Т.Н., Мелесова М.А., Шишов А.Ю.*

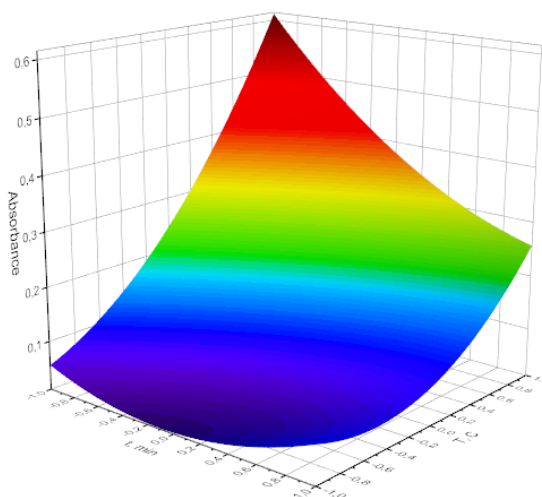
*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия,  
наб. Университетская, 26*

*E-mail: [panfilova24022005@yandex.ru](mailto:panfilova24022005@yandex.ru)*

Растительное сырье представляет собой важный источник биологически активных веществ, используемых в медицине для профилактики и лечения различных заболеваний. К основным компонентам лекарственных растений относятся алкалоиды, гликозиды, флавоноиды, эфирные масла, танины, полифенолы и полисахариды. Эти вещества обладают антибактериальными, противовоспалительными, антисептическими и антиоксидантными свойствами. В работе был проведен фитохимический скрининг полисахаридов травы овса молочной спелости *Avena sativa* L. Получены оптимальные условия экстракции биологически активных веществ из овса *Avena sativa* с использованием оптимизации эксперимента методом построения поверхностей отклика. Изучены экстракты овса как традиционные (спиртовые, водно-спиртовые, водные и ацетонитрильные), так и на основе глубоких эвтектических растворителей (холин хлорид с кислотами, спиртами, сахарами и амидом).

Определение общего содержания полисахаридов проводили с использованием спектрофотометрии. Для этого антрон смешивали с экстрактами травы и определяли оптическую плотность при 540 нм. В качестве стандартного раствора использовали крахмал.

Методом построения поверхностей отклика обнаружено, что оптимальными условиями экстракции полисахаридов из овса являются ГЭР на основе холин хлорида с этиленгликолем и 20 масс.% воды при 90°C в течение 20 мин (рис. 1). Дальнейшее увеличение температуры является энергетически невыгодным и нецелесообразным исходя из 8 принципа Зеленой химии.



**Рисунок 1.** График поверхности отклика оптической плотности от времени и температуры.

*Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта 115679504.*

## ОЦЕНКА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЧВОЗАЩИТНОГО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

**В.И. Платонов, Орлова Л.В., Кнурова Г.В., Колесниченко И.Н., Новикова Е.А.,  
Цыганенко Д.А.**

*Самарский национальный исследовательский университет,*

*E-mail: [rovvv@yandex.ru](mailto:rovvv@yandex.ru)*

Во всем мире отмечается развитие почвенного, углеродного и климатического кризисов, которые неразрывно связаны между собой и имеют общие причинно-следственные связи. Процессы деградации, эрозии и опустынивания пахотных земель усугубляют общие экологические проблемы, поскольку сельское хозяйство является одним из основных эмитентов парниковых газов. Одной из наиболее перспективных технологий является почвозащитное ресурсосберегающее земледелие (ПРЗ) [1].

На проектных площадях Аграрного карбонового полигона «Агро Инженерия» была проведена оценка общего климатического эффекта и углеродного следа продукции растениеводства при использовании технологий почвозащитного ресурсосберегающего земледелия.

Установлено, что общий климатический эффект составляет 42650.97т CO<sub>2</sub>-экв. Оценка углеродного следа показала, что для твердых сортов пшеницы углеродный след составил 0,209 кг CO<sub>2</sub>-экв. × кг<sup>-1</sup>, что в 2,5 раза ниже, чем в среднем по другим странам - 0,526 кг CO<sub>2</sub>-экв. × кг<sup>-1</sup>, углеродный след от производства сои по технологии прямого посева показали углеродный след 0,360 кг CO<sub>2</sub>-экв × кг<sup>-1</sup>, сопоставимый с европейским показателем 0,360 кг CO<sub>2</sub>-экв × кг<sup>-1</sup>.

Полученные результаты выявляют перспективы широкого внедрения природных климатических проектов с применением технологий почвозащитного ресурсосберегающего земледелия для устойчивого снижения удельных затрат на производство продукции и удельного углеродного следа конечной продукции. Это обеспечивает возможность формирования и верификации углеродных единиц с их последующей регистрацией и выпуском в обращение в качестве эффективного источника дополнительного финансирования мероприятий по повышению плодородия сельскохозяйственных почв и повышению рентабельности производства.

Результаты оценки углеродного следа шести наиболее востребованных в засушливой части лесостепного Заволжья России культур могут служить исходной информационно-методической основой для валидации проектов с применением технологий почвозащитного ресурсосберегающего земледелия – на предмет проверки обоснованности заявляемых в них объемов формирования углеродных единиц в сопоставимых с Аграрным карбоновым полигоном Самарской области условиях, с ее последующей детализацией и районированием по мере накопления экспериментальных данных для проведения аналогичных расчетов и совершенствования применяемых технологий.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект FSSS-2024-0022 (регистрационный номер: 1023112900147-4 от 31.01.24).*

### Литература

1. Kan Z.R., Liu W.X., Liu W.S., Lal R., Dang Y.P., Zhao X., Zhang H.L. Mechanisms of soil organic carbon stability and its response to no-till: A global synthesis and perspective // Global Change Biol. 2022. V. 28(3). P. 693–710.

**КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ ПО  
ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL НА АГРАРНОМ КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ "АГРО  
ИНЖЕНЕРИЯ": ОТ NDVI ДО СЕКВЕНИРОВАНИЯ ГЕНОМА**

***В.И. Платонов, Орлова Л.В., Подлипов В.В., Захарова Е.А., Платонов Вал. И.***

*Самарский национальный исследовательский университет,*

*E-mail: [rovvy@yandex.ru](mailto:rovvy@yandex.ru)*

Применение устаревших нормативов в технологиях, неконтролируемое использование химических препаратов и интенсивная обработка почвы, стали причиной нарушения природных механизмов в агроэкосистемах и роста эмиссии парниковых газов от сельскохозяйственной деятельности. Для оценки и принятия эффективных мер необходима разработка действенных метрологически достоверных и импортонезависимых методов количественной оценки потоков парниковых газов, которые могут стать фундаментом новой парадигмы развития сельского хозяйства на основе почвосберегающих принципов и природоподобных технологий.

Разработана методология и архитектура аналитических систем для анализа эмиссии парниковых газов в почвенно-климатических условий Среднего Поволжья. Предлагаемый подход основан на многофакторном анализе с использованием методов дистанционного мониторинга, агрохимического анализа, оценке микробиома, и адаптированных методиках проведения анализа (разведовательного и уточняющего) в полевых условиях. Таким образом формируется совокупность многофакторных массивов данных, которая создает научную основу эффективности применения почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (ПРЗ), и методологическую базу для оценки эмиссии парниковых газов и эффективности депонирования углерода, здоровья почв, оценки общего климатического эффекта, и формирования климатических проектов.

На основе полученных данных по секвестрации углерода, эмиссии парниковых газов и массообменных процессов, протекающих в сельскохозяйственных почвах, агрохимическим и микробиологическим показателям с использованием разработанных подходов и приборно-аппаратных решений проведена экономическая оценка эффективности использования ПРЗ. На проектных площадях индустриального партнера был разработан и валидирован аккредитованным органом по валидации и верификации парниковых газов («Союз защиты экологических прав населения Московской области») аграрный климатический проект (Заявка №4510176516, Оператор реестра углеродных единиц №1001), зарегистрирован в Реестре (№ 36-2024-00000069), оценен общий климатический эффект и углеродный след продукции.

Основным целевым сегментом потребителей разрабатываемых методических и инструментальных решений являются организации планирования и проведения экологического мониторинга, контроля за глобальными изменениями НИИ, лаборатории, карбоновые полигоны, занимающиеся анализом и контролем климатически активных газов. Разрабатываемая методология может быть масштабирована на «зеркальные» проекты в странах БРИКС.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект FSSS-2024-0022 (регистрационный номер: 1023112900147-4 от 31.01.24).*

## ИМПРИНТИРОВАННЫЕ БЕЛКИ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МИКРОЦИСТИНОВ

*Пресняков К.Ю., Ильичева П.М., Решетник И.А., Пиденко П.С.*

*Саратовский университет, Институт химии, Саратов, Россия*

*E-mail: [kirillpresnyakov1999@ya.ru](mailto:kirillpresnyakov1999@ya.ru)*

Микроцистины являются одними из наиболее распространённых представителей токсинов природного происхождения (экотоксикантов), присутствующих в водных объектах. Негативное воздействие микроцистинов на людей и животных проявляется как при внешнем воздействии, так и при попадании внутрь организма с водой и пищей. Наиболее распространённым представителем микроцистинов является микроцистин–LR, воздействующий на печень, оказывающий нейротоксическое действие, способствующий развитию опухолей и массовой гибели организмов, обитающих в водной среде. В связи с этим, актуальной является разработка доступных методов контроля содержания микроцистина–LR и подходов для его инактивации. Технология молекулярного импринтинга широко используется при создании высокоселективных сорбентов для пробоподготовки образцов, удаления загрязняющих веществ из различных матриц, в том числе воды [1], а также для инактивации экотоксикантов в организмах животных. Перспективным направлением развития молекулярного импринтинга является применение белковых молекул вместо органических мономеров — получение импринтированных белков (ИБ).

Получение импринтированных материалов требует выбора необходимой структуры молекул шаблона. Использование целевого вещества в качестве шаблонов сопряжено с определенными сложностями, связанными с высокой токсичностью, сложностью извлечения и ограниченной доступностью коммерческих препаратов. В связи с этим, более целесообразно, при получении ИБ, использование фиктивных шаблонов — соединений с сопоставимой пространственной структурой. В случае микроцистина–LR в качестве фиктивных шаблонов может выступать аминокислотный ADDA-фрагмент и переменные аминокислоты — L-аргинин и L-лейцин [2, 3]. Применение ADDA-фрагментов позволяет достичь специфичности ко всем соединениям класса микроцистинов, в тоже время переменные аминокислоты могут быть использованы для повышения селективности ИБ.

В работе описано получение ИБ, специфичных к аминокислотам — L-аргину и L-лейцину, являющихся переменными фрагментами в структуре микроцистина–LR. Получены бионеорганические сорбенты, позволяющие извлекать L-аргинин и L-лейцин из модельных растворов. Выбор аминокислот проведён на основе результатов компьютерного моделирования взаимодействия микроцистина–LR со структурой белка при pH 3. Полученные результаты открывают возможность упрощения и снижения себестоимости получения ИБ, специфичных к микроцистину–LR, а также расширения области их применения в системах для анализа аналитов данного ряда.

*Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект 24-73-00250).*

### Литература

1. Silvestro I. et al. molecularly imprinted polymers based on chitosan for 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid removal // Int. J. of Mol. Sci. 2022. Vol. 23. №. 21.
2. Qi Z. et al. Selective fluorometric determination of microcystin-LR using a segment template molecularly imprinted by polymer-capped carbon quantum dots // Microchem. J. 2021. Vol. 161.
3. Zhao R. et al. Reaction mechanism and detecting properties of a novel molecularly imprinted electrochemical sensor for microcystin based on three-dimensional AuNPs@ MWCNTs/GQDs // Water Sci. & Technol. 2023. Vol. 88. №. 3. P. 572–585.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИРТА ЛИМОННОГО КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАПИТКОВ

*Пушкарев Г.А., Платонов И.А., Павлова Л.В.*

*Самарский национальный исследовательский университет,  
Естественнонаучный институт, химический факультет, Самара, Россия  
E-mail: [pushkarevga@gmail.com](mailto:pushkarevga@gmail.com)*

Мирт лимонный (*Backhousia Citriodora*) является малоизученным растением. Для изучения состава аромата мирта лимонного проведен анализ газового экстракта [1] измельченных листьев. Также проводилась экстракция водой, водно-этанольной смесью [2] и в условиях, приближенных к условиям ЖКТ. Исследование проводилось с использованием метода газовой хроматографии с масс-спектрометрическим обнаружением (ГХ-МС). Компоненты водного экстракта были переэкстрагированы этилацетатом, затем полученный экстракт был дериватизирован БСТФА [3] и вводился в хроматограф.

Было определено, что мирт лимонный содержит 29 ароматических соединений, преобладающими изомерами цитраля. В газовом экстракте также присутствуют мелональ, гераниол, розефуран, борнеол, фуран, цис-оцимен, D-лонгифолен, и вербенол. Анализ водного экстракта обнаружил линалоол, гераниол, и цитронеллол – производные цитраля, обеспечивающие сходные ароматические характеристики с сухими сырьем. Водные экстракты в значительной степени повторяют друг друга, но экстракт, полученный при кипении, содержит больше алканов, а также L-метионин, эпикатехин и лигнотериловый спирт. Субкритические экстракты расширяют спектр найденных веществ. Так в экстракте, полученном при 110°C, была обнаружена фумаровая кислота, лутенин-2, 2-фенилсерин, а в экстракте, полученном при 130°C – резорцин, α-терпинен, лизин. Анализ спиртового экстракта показал преобладание различных сахаров: глюкозы, D-фруктозы, D-рибозы, глюкофуранозы, а также жирных кислот, таких как азелаиновая и гексакозановая, в составе мирта лимонного. Также обнаружены лупенон, фитол, L-пролин, β-америн, β-ситостирол, α-токоферол, которые при приготовлении напитка возможно переходят в водный экстракт в следовых количествах. Анализ проб, подготовленных в условиях среды внутри органов ЖКТ, повторил предыдущие анализы, но также обнаружил ацетоуксусную кислоту, аконитовую кислоту и трезозу. Кроме того, в кислой среде желудка происходит гидролиз сложных эфиров, высвобождаются многоатомные спирты и карбоновые кислоты.

На основании установленного компонентного состава, можно предположить, что мирт лимонный обладает антисептическими, противовирусными, бактерицидными, антимикотическими свойствами, седативным и отхаркивающим действием и является отличным сырьем в приготовлении напитков, вкусо-ароматических добавок и, возможно, может стать хорошей добавкой к продуктам функционального питания.

### Литература

1. Павлова Л.В., Платонов И.А., Архипов В.Г., Куркин В.А., Рощупкина И.Ю. Газохроматографический анализ ромашки аптечной (*Chamomilla recutita* R.) // Аналитика и контроль. 2013, т.17, № 1, с. 66 – 75.
2. Государственная Фармакопея СССР. - 11-е издание / МЗ СССР. - Вып. 2: Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье // М.: Медицина, 1990, 400 с.
3. Верниковская Н.А. Хроматографическое определение фенольных соединений и флавоноидов в лекарственных растениях. Автореф. дис. ... канд.хим.наук: 02.00.02 / Верниковская Наталья Андреевна. // Краснодар, 2011, 23 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛЕДОВЫХ КОЛИЧЕСТВ ГАЛОГЕНОРГАНИЧЕСКИХ  
СОЕДИНЕНИЙ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

***Рябов К.Е., Платонов И.А., Колесниченко И.Н., И.М. Муханова***

*Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева,*

*E-mail: [vector1003@mail.ru](mailto:vector1003@mail.ru)*

Источники поступления летучих галогенорганических соединений (ЛГОС) в объектах окружающей среды чаще всего имеет антропогенный характер: топливо, сырая нефть и разработка нефтяных месторождений, методы хлорирования в системах очистки и водоподготовки, сточные воды. Высокий уровень содержания галогенорганических примесей в нефти может приводить к поступлению их в окружающую среду, причиняя ущерб экологии и здоровью человека, и являясь источником загрязнения почв и грунтовых вод. Наиболее перспективным методом количественного анализа на данный момент выступает газовая хроматография с чувствительностью к ЛГОС менее 0,1 ppm [1], для повышения точности которого необходимо наличие стандартных образцов, соответствующих матрице пробы, позволяющих проводить калибровку в широком диапазоне (от предела детектирования до норм ПДК).

Целью настоящей работы была разработка устройств и методических приемов количественного газохроматографического определений ЛГОС, включая получение градуировочных газовых и жидких смесей ЛГОС и пробоподготовку.

Разработан способ получения газовых смесей, содержащих известное количество ЛГОС с использованием хромато-десорбционных систем (ХДС) в стандартном исполнении и инъекционных микросистемах. Установлено, что стабильность (квазипостоянство) газовых смесей, содержащих ЛГОС варьируется от 5 до 30 часов для проточных ХДС и 3-6 дискретных вводов для микро-ХДС. Диапазон концентраций от предела детектирования до границы чувствительности детектора (детектор электронного захвата). Выявлено, что для снижения общей суммарной неопределенности процедуры градуировки шаг должен составлять 20 % для каждого кусочно-линейного участка градуировочной функции.

**Литература**

1. Новиков Е. А. Определение хлора в нефти. Обзор аналитических методов // Мир нефтепродуктов. 2019. №. 7. С. 39-50.

## КОРЕЛЯЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ В МУЛЬТИПЛЕКСНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

*Сайфулин М.Ж., Сайфуллин Р.Т.*

*Самарский государственный технический университет,  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244*

*E-mail: [ims@smagtu.ru](mailto:ims@smagtu.ru)*

При хроматографических исследованиях особое внимание следует уделять вопросам улучшения качества исходной хроматограммы, повышению при ее получении отношения сигнал/шум, поскольку именно это определяет достоверность анализа и точность конечных результатов. Особенно это важно, когда измерения проводятся на пределе обнаружения хроматографа.

В этой связи представляется перспективным использование мультиплексной хроматографии, основанной на многократном вводе проб с последующей математической обработкой выходного сигнала хроматографа. Обработка хроматографических данных эквивалентна алгоритму метода наименьших квадратов и связана с вычислением оценок автокорреляционной функции входного сигнала и взаимно-корреляционной функции входного и выходного мультиплексного сигнала.

Разработан алгоритм получения оценок усредненной на множестве вводов пробы хроматограммы, учитывающий вид входной последовательности вводов проб, конечность как длины последовательности, так и времени усреднения. Алгоритм может быть модифицирован для вычисления усредненной дифференциальной хроматограммы, когда интересует различие компонентного состава двух образцов (например, исследуемого и эталонного).

Для формирования входных сигналов используется псевдослучайная последовательность Лежандра с элементами 0 и 1: 1 – означает ввод пробы, 0 – отсутствие ввода в данный момент времени. Предложены новые варианты последовательности ввода проб для формирования мультиплексных хроматограмм [1], которые позволяют упростить алгоритм вычисления и обеспечить высокую точность оценок усредненной хроматограммы (достигается десятикратное и более подавление помехи).

Для подтверждения теоретических результатов получения усредненных хроматограмм произведено имитационное моделирование работы портативного газового хроматографа с автоматическим пробоотборником.

Методика проведения имитационного эксперимента заключается в генерировании входных последовательностей ввода проб, генерировании хроматографического сигнала при многократном вводе проб с наложенной помехой, вычислении усредненной хроматограммы и ее сопоставление с заданной хроматограммой.

Результаты моделирования подтвердили эффективность алгоритма оценивания усредненной хроматограммы, который позволяет значительно уменьшить высокочастотную помеху хроматографического сигнала, понизить предел обнаружения компонентов анализируемой пробы и повысить диапазон измеряемых концентраций.

### Литература

1. Сайфулин М. Ж. Моделирование псевдослучайных последовательностей Лежандра с асимметричным алфавитом / Материалы XII Всероссийской научной конференции с международным участием «Математическое моделирование и краевые задачи». Том 2. – Самара: СамГТУ, 2024. с. 104-106.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ МАТРИЧНОГО ЭФФЕКТА

**Самусева А.Г., Бочко Т.Н., Михеев Е.В., Шишов А.Ю.**

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия,  
наб. Университетская, 26

E-mail: [anna.samuseva000@gmail.com](mailto:anna.samuseva000@gmail.com)

Лекарственные растения играют ключевую роль в современной медицине, поскольку извлекаемые из них вещества обладают широким спектром фармакологических свойств, таких как противоопухолевое, антимикробное, антиоксидантное, противовоспалительное, обезболивающее, антидиабетическое и гипотензивное действие. Экстракты растений, содержащие фитохимические компоненты, используются как в традиционной, так и в современной медицине.

Флавоноиды являются водорастворимыми антиоксидантами, которые защищают клетки от окислительного повреждения и обладают выраженными противоопухолевыми свойствами. Гиперозид, рутин, кверцетин и кемпферол и др. обладают высокой биологической активностью и содержатся во многих растениях [4].

В качестве объектов исследования были выбраны следующие лекарственные растения: корень марены красильной (*Rubia tinctorum* L.), лабазник обыкновенный (*Filipendula vulgaris*), корень лопуха большого (*Arctium lappa* L.), исландский мох (*Cetraria islandica*). Эти растения были отобраны благодаря их богатому фитохимическому составу и широкому спектру фармакологической активности, что делает их особенно интересными для фитохимических исследований.

Для детального исследования влияния природы растворителей и условий извлечения на эффективность экстракции флавоноидов из трав был использован метод ВЭЖХ-УФ. Для количественного определения концентраций извлеченных БАВ были построены градуировочные зависимости с использованием стандартных растворов веществ в метаноле (рутин, кверцетин, лютеоин, эпикатехин, апигенин, кемпферол, гесперидин). Для анализа 10 г растительного сырья измельчали, тщательно перемешивали, помещали 50 мг пробы в стеклянный сосуд, добавляли 2 мл соответствующего экстрагента и помещали флаконы в ультразвуковую ванну. Экстракцию проводили при различных температурах от 20°C и 60°C в течение 30 минут соответственно. Затем экстракты фильтровали в случае традиционных растворителей и центрифугировали в случае использования ГЭР. Была проведена передэкстракционная и послеэкстракционная добавка флавоноидов в растительные экстракты на основе традиционного растворителя (метанол) и глубоких эвтектических растворителей (холин хлорид с кислотами, амидами, спиртами и сахарами).

Исследована устойчивость флавоноидов при ультразвуковом воздействии в эвтектических растворителях и представленных растениях. Установлено матричное влияние лекарственных растений на экстракцию флавоноидов. Определены оптимальные условия экстракции флавоноидов в соответствии с принципами «зеленой» химии.

Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта 115679504.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АНАЛИТА В ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

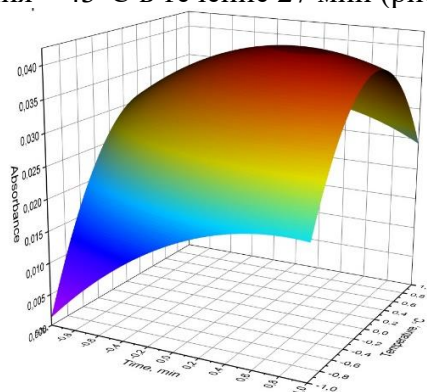
**Сварник Г.В., Бочко Т.Н., Шишов А.Ю.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия,  
наб. Университетская, 26  
E-mail: [gavriil.svarnik@mail.ru](mailto:gavriil.svarnik@mail.ru)*

Традиционные методы, используемые для экстракции биоактивных соединений (т.е. мацерация, отвар и настаивание), имеют недостатки вследствие длительных периодов экстракции, трудоемкости и большого потребления растворителей. В настоящее время используют ультразвуковую экстракцию, поскольку она позволяет повысить эффективность экстракции биологически активных веществ (БАВ).

Полифенольные соединения имеют антиоксидантные, антиканцерогенные и антимутагенные эффекты, что делает их важными компонентами для лечения воспалительных заболеваний и профилактики нейродегенеративных расстройств. Известно, что полифенолы положительно влияют на здоровье человека, особенно в отношении профилактики хронических и сердечно-сосудистых заболеваний. В связи с этим исследование условий экстракции полифенольных соединений с использованием ГЭР представляет большой интерес для фармацевтической и пищевой промышленности. В работе выполнено исследование влияния условий и типа ГЭР (на основе холина хлорида с мочевиной, этиленгликолем, пропиленгликолем, глицерином, фруктозой, молочной, малоновой и яблочной кислотами и 20 масс.% воды) на экстракцию полифенолов (галловая кислота, п-кумаровая кислота, ванилин, ванилиновая кислота, феруловая кислота, мирицетин, кофейная кислота, катехин, синапиновая кислота) при их ультразвуковом воздействии при температурах 30, 50 и 70°C в течение 10, 30 и 50 мин с использованием математического моделирования полученных экспериментальных данных. Проведено сравнение результатов с традиционным растворителем (метанол) методами ВЭЖХ-УФ и спектрофотометрии (метод Фолина-Чокалтеу).

Установлены оптимальные условия экстракции полифенолов из травы овса (*Avena sativa* L.) в ГЭР на основе холина хлорида и этиленгликоля с использованием математического моделирования – 43°C в течение 27 мин (рис. 1).



**Рисунок 1.** График поверхности отклика оптической плотности от времени и температуры.

Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта 115679504.

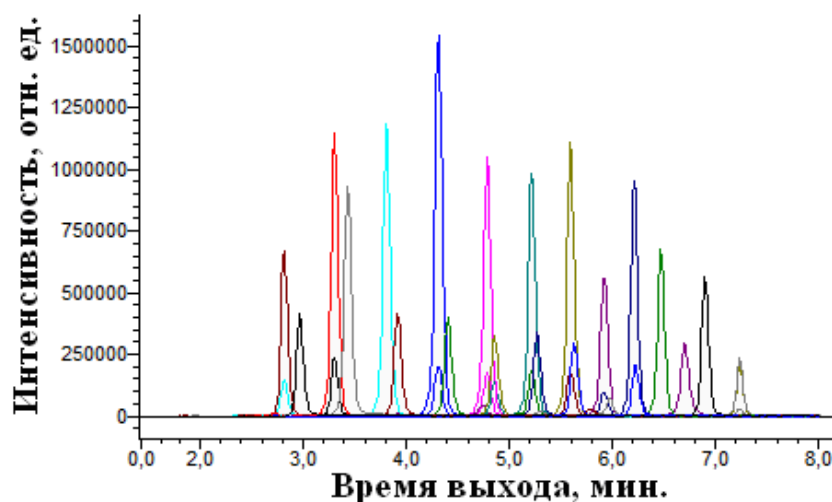
## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРФТОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ТКАНЯХ ГИДРОБИОНТОВ МЕТОДОМ ВЭЖХ-МС/МС

*Сорокин А.В., Жедулов А.Е.*

*Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов (ФГБУ «ВГНКИ»), Москва, Россия*

*E-mail: [alex\\_sorokin@list.ru](mailto:alex_sorokin@list.ru)*

Перфторорганические соединения (ПФОС) – органические соединения, в которых все атомы водорода, соединённые с углеродом, замещены на атомы фтора. Они входят в состав средств пожаротушения, используются и получают в процессе производства тефлоновых покрытий и схожих полимеров. ПФОС обладают устойчивостью к гидролизу, фотолизу, биodeградации и термостойкостью, что в сочетании с широкой областью применения привели к тому, что их остатки обнаруживаются повсеместно. Обладая гидрофильными свойствами, ПФОС способны накапливаться в мышечных тканях, делая гидробионтов индикаторами загрязнения водоёма. Для анализа такого объекта исследования, автором, разработана методика (ФР.1.31.2019.33379), рассчитанная на использование квадрупольно-времяпролетной хромато-масс-спектрометрии. После неоднократных обвинений в отношении канцерогенности перфтороктановой кислоты (PFOA), производство перешло с 2009 г на новый химикат – GenX (CAS 13252-10-6). Согласно докладу Агентства по охране Окружающей среды (2018 г, США), имеются убедительные доказательства канцерогенного потенциала перорального воздействия химических веществ GenX на людей. С учетом последних рекомендаций ЕС по контролю за остатками ПФОС методика будет переработана для анализа на более простых средствах измерения – системе тройного квадруполь; также будет переработана и схема пробоподготовки. Предполагается снизить предел количественного определения и расширить список объектов исследования, в т.ч. на почву и воду.



**Рисунок 1.** Примеры масс-хроматограммы смеси стандартов ПФОС, извлеченных из тканей рыб, полученные на масс-спектрометре Shimadzu 8060 .

### Литература

1. Sorokin A.V. et al. Development of extraction and cleanup approaches for PFASs analysis in fish tissue by HPLC-MS/MS technique // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2019. V. 263. P. 012060.

**СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ СОСТАВА АРОМАТИЧЕСКИХ  
УГЛЕВОДОРОДОВ И МНОГОКОМПОНЕНТНОГО РАСТВОРА  
АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ**

***С.В. Спири́н, А.Ю. Михеева, А.И. Крылов***

*ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» («ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»), г. Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: [s.v.spirin@vniim.ru](mailto:s.v.spirin@vniim.ru)*

ВТЕХ(анг.)/БТЭК(рус.) – это группа летучих соединений, включающая в себя бензол, толуол, этилбензол и *м-,о-,п*-ксилолы. Компоненты ВТЕХ входят в состав нефтепродуктов, промышленных растворителей, так же присутствуют в выбросах промышленных предприятий и автотранспорта. Эти соединения представляют значительный риск для окружающей среды и здоровья человека.

Особенно важным является проведение мониторинговых измерений содержания ВТЕХ в атмосферном воздухе городских агломераций и на территории промышленных предприятий. Для этих целей разработано и активно применяется портативное оборудование на основе метода газовой хроматографии, в том числе – в подвижных лабораториях. Это позволяет получать данные быстрее и с меньшими затратами по сравнению с лабораторными методиками, требующими предварительного отбора проб.

Стандартные образцы (СО) имеют ключевое значение в аналитической химии для калибровки/градуировки приборов, валидации методов и обеспечения точности измерений. Прослеживаемые СО позволяют лабораториям получать согласованные, сопоставимые данные, что особенно важно для соблюдения нормативных требований, контроля загрязнения окружающей среды и оценки рисков для здоровья.

В связи с выше сказанным становится очевидным необходимость разработки СО для метрологического обеспечения измерения ВТЕХ в атмосферном воздухе, промышленных выбросах и прочих объектах контроля.

Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании, входящем в состав Государственного первичного эталона единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации органических компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе жидкостной и газовой хромато-масс-спектрометрии с изотопным разбавлением и гравиметрии ГЭТ 208.

В результате проведенных исследований были разработаны восемь новых типов СО состава чистых веществ: толуол (ГСО 12371-2023), этилбензол (ГСО 12372-2023), *м*-ксилол (ГСО 12368-2023), *п*-ксилол (ГСО 12370-2023), *о*-ксилол (ГСО 12369-2023) кумол (ГСО 12542-2024), псевдокумол (ГСО 12543-2024), мезитилен (ГСО 12367-2023). Также для удобства применения при проведении рутинного анализа, особенно с использованием портативного оборудования, разработаны два новых типа СО состава многокомпонентных растворов ГСО 12541-2024 (6ЛОС) и ГСО 12540-2024 (9ЛОС). Раствор 6ЛОС включает в себя базовый набор ВТЕХ. В раствор 9ЛОС помимо ВТЕХ добавлены кумол, псевдокумол и мезитилен как потенциально не менее значимые компоненты как для гигиенического контроля, так и при проведении экологического мониторинга.

Поскольку компоненты ВТЕХ являются примесными друг для друга, был разработан методологический подход учета массовых концентраций встречаемых примесей ВТЕХ при аттестации СО многокомпонентного раствора, и оценки их неопределенности.

Разработанные СО метрологически прослеживаются к ГЭТ 208 и представлены в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (ФИФОЕИ). СО коммерчески доступны для всех заинтересованных лиц.



## СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ СОСТАВА АЛКИЛКАРБОНАТОВ И МНОГОКОМПОНЕНТНОГО РАСТВОРА АЛКИЛКАРБОНАТОВ.

*С.В. Спирин, А.И. Крылов, А.Ю. Михеева, А.Г. Будко*

*ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева), г. Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [s.v.spirin@vniim.ru](mailto:s.v.spirin@vniim.ru)*

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) более 20 лет используются в портативной электронике, электромобилях и других устройствах. В качестве органических растворителей для электролитных систем широкое применение нашли смеси алкилкарбонатов. В настоящее время выбор растворителей для использования в коммерческих перезаряжаемых ЛИА сфокусирован вокруг этиленкарбоната в сочетании с другими алкилкарбонатами и добавками сорастворителей с низкой вязкостью для повышения проводимости. В этой связи очевидна необходимость контроля качества исходных веществ и готовой продукции на предприятиях-изготовителях ЛИА.

Кроме того, необходимы и проводятся испытания готовых ЛИА в различных эксплуатационных режимах (в том числе - экстремальных с разрушением корпуса аккумулятора) с целью установить штатные и безопасные параметры работы оборудования. В таких испытаниях ВНИИМ им. Д.И. Менделеева неоднократно принимал участие и определял качественный и количественный состав газовыделений, где основными компонентами были алкилкарбонаты.

Помимо этого, в настоящий момент действуют несколько нормативных документов, регламентирующих измерение массовых концентраций алкилкарбонатов в воздухе рабочей зоны, где в качестве калибраторов предлагается использовать чистые вещества российского и зарубежного производства, никак метрологически не охарактеризованные.

Принимая во внимание важность и актуальность данных измерительных задач, было необходимо разработать СО для метрологического обеспечения измерений содержания пяти приоритетных алкилкарбонатов в воздухе рабочей зоны и других вероятных объектах контроля.

Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании, входящем в состав Государственного первичного эталона единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации органических компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе жидкостной и газовой хромато-масс-спектрометрии с изотопным разбавлением и гравиметрии ГЭТ 208.

В результате были разработаны и внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ФИФОЕИ) шесть новых типов стандартных образцов: СО состава чистых веществ диметилкарбоната (ГСО 12544-2024), диэтилкарбоната (ГСО 12545-2024), этилметилкарбоната (ГСО 12548-2024), этиленкарбоната (ГСО 12547-2024) пропиленкарбоната (ГСО 12546-2024) востребованные при изготовлении и испытаниях ЛИА, а также СО состава многокомпонентного раствора пяти алкилкарбонатов (ГСО 12745-2024), который представляет практический интерес для решения задач гигиенического контроля и экологического мониторинга.

Разработанные СО метрологически прослеживаются к Государственному первичному эталону ГЭТ 208, что гарантирует точность и сопоставимость получаемых результатов измерений, а также выполнение требований Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» ФЗ-102.

## **ЗЕЛЕНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДРЕНАЛИНА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ВЫДЕЛЕНИЕМ В ГЛУБОКИЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ.**

**Султанова А.А., Мещева Д.А., Крехова Ф.М., Шишов А.Ю.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [st117520@student.spbu.ru](mailto:st117520@student.spbu.ru)*

Катехоламины, относящиеся к группе биогенных аминов, представляют собой биологически активные вещества, которые играют ключевую роль в регуляции деятельности сердечно-сосудистой, нервной и эндокринной систем и вызывают значительный интерес в медицине. Изменение эндогенных уровней катехоламинов в организме человека приводит к неврологическим нарушениям и ряду заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона, а также к нейроэндокринным катехоламинпродуцирующим опухолям – феохромоцитоме, параганглиоме, карциноидным опухолям и нейробластоме. Однако диагностика нейроэндокринных опухолей представляет собой значительную проблему, поскольку не сопровождается характерными клиническими проявлениями у пациента и злокачественное новообразование часто диагностируется уже в период развития метастатической стадии заболевания. Поэтому контроль концентрации катехоламинов в биологических жидкостях является важным ранней ранней диагностике патологических изменений в организме человека.

При этом основной проблемой определения катехоламинов в биологических жидкостях является его высокое сродство к матрице пробы, что приводит к их удерживанию в пробе и требует применения сложных и длительных процедур пробоподготовки. В данной работе был предложен вариант микроэкстракционного выделения адреналина из проб плазмы крови в глубокий эвтектический растворитель (ГЭР) за счет дериватизации аналита с образованием гидрофобного неполярного производного, высоким сродством к экстрагентной фазе.

ГЭР являются представителями растворителей нового поколения, выступающие в качестве потенциальной замены ионным жидкостям и токсичным органическим соединениям. Они представляют собой бинарные или тройные смеси веществ, которые в определенном стехиометрическом соотношении образуют эвтектическую смесь за счет образования водородных связей, имеющую более низкие температуры плавления, чем у исходных компонентов [1]. Кроме того, они могут служить не только экстрагентами, но и реагентами для дериватизации аналитов.

Была представлена возможность одновременной дериватизации и микроэкстракции полярного водорастворимого аналита из биологических жидкостей за счет образования флуоресцирующего агента в гидрофобный ГЭР на основе тимола и о-фенилендиамина. Новый способ был применен для определения адреналина в крови человека методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Санкт-Петербургского Государственного Университета (проект 103753335). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава веществ).*

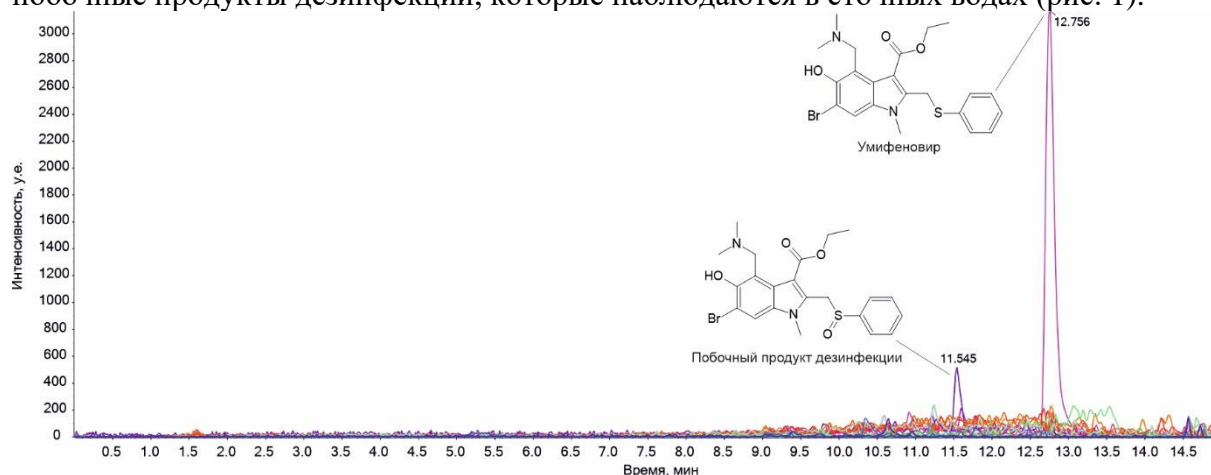
### **Литература**

1. Smith E. L., Abbott A. P., Ryder K. S. Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications // American Chemical Society. 2014.

**ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ  
 ПРОТИВОВИРУСНОГО ПРЕПАРАТА УМИФЕНОВИР (АРБИДОЛ)**  
*Сыпалов С.А., Варсегов И.С., Данилова Э.В., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В.,  
 Лебедев А.Т.*

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова  
 E-mail: [s.sipalov@narfu.ru](mailto:s.sipalov@narfu.ru)*

Сезонные вирусные инфекции и особенно эпидемии приводят к резкому росту потребления противовирусных лекарственных средств. Особое внимание заслуживает умифеновир (Арбидол) потребление которого значительно выросло в период пандемии COVID-19. Используемые в настоящее время технологии очистки сточных вод (обеззараживание активным хлором и воздействие активного ила) не обеспечивают эффективного удаления умифеновира, в результате чего образуются нежелательные побочные продукты дезинфекции, которые наблюдаются в сточных водах (рис. 1).



**Рисунок 1.** Хроматограмма экстракта сточной воды в режиме масс-спектрометрии высокого разрешения.

Более экологичной альтернативой технологий дезинфекции может рассматриваться применение современных методов окисления – озонирования. Их разработка требует глубокого понимания механизмов и путей превращения умифеновира под действием озона. В связи с этим целью настоящего исследования было выявление механизмов взаимодействий умифеновира с озоном в водных средах, обнаружение и идентификация первичных продуктов трансформации, сравнение взаимодействия умифеновира с активным хлором. Модельное озонирование проводили путем барботирования озона (10 мг/ч) через раствор умифеновира 10 мг/л с pH 2 и 12 при комнатной температуре и непрерывном перемешивании. Реакционную смесь умифеновира с озоном отбирали через интервалы времени 0 (исходная проба), 1, 5, 10, 20, 30, 45 и 60 мин. Исследование образцов, поиск и предварительная идентификация продуктов трансформации проводились методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией высокого разрешения.

Установлено образование не менее 22 основных продуктов трансформации. Проведена их предположительная идентификация и предложены схемы образования. В то время как взаимодействие умифеновира с активным хлором приводит в основном к окислению сульфидной группы и отщеплению алкиламинового фрагмента, основные направления трансформации при озонировании включают окисление бензольного кольца в кислой среде и гидроксилирование в щелочной.

*Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НО “Арктика” САФУ им. М.В. Ломоносова при финансовой поддержке РНФ, проект 24-43-00153.*



## СОРБЦИОННО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕФТРИАКСОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРЕМНЕЗЕМА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИДИМЕТИЛДИАЛИЛАММОНИЕМ

*Тимофеева А.А., Дидух-Шадрин С.Л., Убодоев Л.А.*

*Сибирский федеральный университет, Институт цветных металлов, кафедра органической и аналитической химии, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
E-mail: [an.natm@yandex.ru](mailto:an.natm@yandex.ru)*

Производство и применение антибиотиков (АБ), а в частности цефалоспоринов, обладающих широким и сильным спектром бактерицидного действия, в клинической практике постоянно растет. Увеличение присутствия этих веществ в окружающей среде является основной проблемой, поскольку они вызывают множественную резистентность у бактерий, которые оказывают опасное воздействие на здоровье человека и животных. Поэтому контроль за содержанием АБ в объектах природы и продуктах питания является актуальной задачей. В последнее время все больше внимания уделяется концентрированию АБ сорбентами различной природы для их выделения и последующего определения люминесцентным методом, который является наиболее простым, доступным и одновременно чувствительным методом.

В данной работе для концентрирования цефтриаксона (CFX) в качестве сорбента предложен кремнезем, модифицированный полидиметилдиалиламмонием (ПДДА). Данный сорбент не имеет собственной окраски и люминесценции.

Цефтриаксон количественно (степень извлечения  $> 95\%$ ) извлекается аминированным кремнеземом при pH 3,0-6,5 с временем установления сорбционного равновесия 10 мин. При облучении ультрафиолетовым светом сорбента после извлечения CFX наблюдается слабая люминесценция желто-зеленым цветом ( $\lambda_{\text{возб}} = 370$  нм,  $\lambda_{\text{люм}} = 420$  нм). При взаимодействии CFX с ионами Eu(III) на поверхности аминированного кремнезема возникает интенсивная красная люминесценция. Спектры возбуждения люминесценции представляют собой широкую полосу в диапазоне длин волн 300-500 нм с максимумом при 410 нм. Спектр люминесценции имеет пять характерных узких полос с максимумами при 529, 560, 610, 652 и 694 нм, соответствующих переходам  $^5D_0 \rightarrow ^7F_J$  ( $J = 0, 1, 2, 3, 4$ ) [1]. Максимальная интенсивности люминесценции поверхностного комплекса достигается в диапазоне pH 5,0-7,0 и времени контакта фаз 5 мин. С повышением концентрации CFX на поверхности аминированного кремнезема увеличивается значение максимальной интенсивности люминесценции и сохраняется форма спектров люминесценции.

Проведенные исследования использованы при разработке методики сорбционно-люминесцентного определения цефтриаксона в природной воде на основе его комплекса с Eu(III) на поверхности аминированного кремнезема. Линейность градуировочной зависимости для определения CFX сохраняется в диапазоне 10-150 мг/л. Предел обнаружения, рассчитанный по 3s-критерию, составляет 4 мг/л. Относительно стандартное отклонение не превышает 0,10.

Сорбционному концентрированию CFX и последующему люминесцентному определению не мешают ионы металлов, присутствующие в природных водах и не извлекающиеся аминированным кремнеземом в широком диапазоне pH.

Разработанная методика сорбционно-люминесцентного определения CFX опробована при анализе природных вод. Правильность полученных результатов подтверждена методом «введено-найдено».

### Литература

1. Singh D., Bhagwan S., Dalal A. Oxide ancillary ligand-based europium  $\beta$ -diketonate complexes and their enhanced luminosity. // Rare Met. 2021. Vol. 40. P. 2873–2881.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

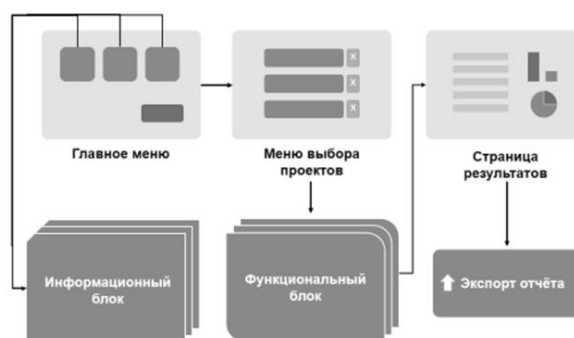
*Толстов М.А., Занин А.А.*

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва,  
 Россия*

*E-mail: [taxjpeg@mail.ru](mailto:taxjpeg@mail.ru)*

В контексте роста химической промышленности, существует высокая потребность в разработке инновационных методов для определения безопасности химических процессов для человека и окружающей среды [1]. Программное обеспечение для оценки экологической эффективности химических процессов призвано облегчить принятие решений для предотвращения негативного воздействия промышленных процессов на здоровье человека и окружающую среду.

В данной работе представлен процесс разработки модели сравнительного анализа экологической эффективности химических процессов между собой на основе 12 принципов зелёной химии [2]. Чтобы обеспечить количественное сравнение показателей для каждого из принципов была разработана математическая формула и специфические коэффициенты, которые зависят от массовых показателей и физико-химических параметров процессов, направленных на получение одного и того же химического продукта.



**Рисунок 1.** Блок-схема функционала программного обеспечения

Формулы для отдельных принципов зелёной химии также содержат коэффициенты физико-химической и токсикологической опасности, которые были адаптированы на основе нормативного документа ГОСТ 32419-2022 «Классификация опасности химической продукции. Общие требования». На основе подсчитанных данных, пользователю будет представлен отчет о экологических показателях процесса и представлен вывод о наиболее экологически эффективном процессе.

### Литература

1. Constable D.J.C. Green and sustainable chemistry - The case for a systems-based, interdisciplinary approach // iScience. 2021. Vol. 24. P. 103489.
2. Etzkorn, A. F. The 12 Principles of Green Chemistry: The 12 Principles of Green Chemistry // A. F. Etzkorn. 2019. 447 p.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛОНОВОГО ДИАЛЬДЕГИДА В РАСТИТЕЛЬНОМ МАСЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

*Урусова С.В.<sup>1</sup>, Шишов А.Ю.<sup>1</sup>, Banerjee T.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Индийский технологический институт Гувахати, Индия  
E-mail: [st106271@student.spbu.ru](mailto:st106271@student.spbu.ru)*

Малоновый диальдегид (МДА) является мутагенным вторичным продуктом перекисного окисления полиненасыщенных жирных кислот. В связи с этим, его часто используют в качестве мишени для определения степени окисления пищевых продуктов, например, растительных масел, мяса, орехов, чипсов и др. Содержание МДА в них определяют проведением реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБА), растворенной в подкисленной водно-этанольной среде. В ходе этой реакции образуется аддукт МДА-ТБА розового цвета, концентрацию которого определяют спектрофотометрически и из неё находят содержание МДА в пищевом продукте [1].

В данной работе мы обнаружили, что реакция между МДА и ТБА может также протекать в глубоком эвтектическом растворителе (ГЭР) на основе органических кислот и холин хлорида с добавлением воды для снижения вязкости, при этом также получается аддукт розового цвета, концентрацию которого можно определить спектрофотометрически. В ходе экспериментов были подобраны оптимальный состав ГЭР, который позволяет эффективно извлекать МДА из растительного масла, были оптимизированы условия проведения реакции (время, температура, соотношение фаз), а разработанная процедура была автоматизирована на принципах проточных методов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 24-43-02023). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава веществ).*

### Литература

1. Craziosi C., Faura G., Dossi N., Toniolo R., Terzi F., Bontempelli G. A colorimetric paper-based smart label soaked with deep-eutectic solvent for the detection of malondialdehyde // *Sensors and Actuators, B:Chemical*. 2021. Vol. 329. P. 129174.

**ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 14 РОДЕНТИЦИДОВ В  
ПАТОЛОГИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ  
ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С ТАНДЕМНЫМ МАСС-  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТОРОМ**

**Усанова Е.Д.<sup>1</sup>, Халевин И.А.<sup>1</sup>, Толмачева В.В.<sup>1,2</sup>, Мелехин А.О.<sup>1</sup>, Тищенко В.В.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный центр охраны здоровья животных, Владимир, Россия

<sup>2</sup>Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

E-mail: [usanova.e.d@gmail.com](mailto:usanova.e.d@gmail.com)

Во всем мире происходят случайные или преднамеренные отравления домашних или диких животных, в том числе в форме вторичного отравления родентицидами, которые применяются для борьбы с вредными грызунами и обычно доступны для приобретения без каких-либо ограничений. Клинические симптомы проявляются через 24–72 часа в виде кровотечения. При отсутствии своевременной терапии возможен летальный исход. Необходимость выявления содержания родентицидов в тканях животных возникает при расследовании случаев отравления, поэтому разработка методик их обнаружения представляет собой важную задачу.

В данной работе представлена быстрая и простая аналитическая методика определения 14 родентицидов в патологическом материале методом жидкостной хроматографии с тандемным масс-спектрометрическим детектором (ВЭЖХ-МС/МС), к преимуществам которого относятся высокая чувствительность, превосходная специфичность, скорость и надежность получаемых результатов, а также возможность одновременного определения большого количества аналитов в сложных биологических образцах.

Важным этапом подготовки сложной матрицы для последующего определения является устранения мешающих компонентов и снижения матричного эффекта. Одним из подходящих способов является QuEChERS — это хорошо зарекомендовавший себя метод экстракции, который часто применяется для анализа пестицидов в пищевых продуктах с начала 2000 года. Данный метод отличается широкими возможностями для его модификации под конкретные матрицы и аналиты, оставаясь при этом простым и быстрым в реализации. Он также успешно применяется при анализе родентицидов [1].

Идентификацию родентицидов проводили методом мониторинга множественных реакций (MRM). В качестве ионов-предшественников выбирали характерные молекулярные ионы; для каждого соединения контролировали два иона-продукта. Способ обеспечивал хорошие степени извлечения от 80 до 120 % и хорошую воспроизводимость ( $s_r \leq 0.18$ ). Матричный эффект для всех родентицидов был ниже 30%. Количественное определение проводили методом матричной градуировки, с применением внутренних дейтерированных стандартов, пределы определения составили от 0.2 до 1 мкг/кг. Таким образом представленная авторами методика была успешно валидирована для количественного определения 14 родентицидов в патологическом материале.

*Исследование выполнено в рамках НИР «Разработка методики определения родентицидов в патологическом материале».*

**Литература**

1. Vudathala D., Cummings M., Murphy L. Analysis of multiple anticoagulant rodenticides in animal blood and liver tissue using principles of QuEChERS method //Journal of analytical toxicology. 2010. Т. 34. №. 5. С. 273-279.

## ПРИНЦИП УНИВЕРСАЛЬНОГО ВВОДА ПРОБ В ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКУЮ КОЛОНКУ ПОРТАТИВНОГО ПРИБОРА МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСОРБЦИИ

**В.В. Федотов, М.Н. Балдин, В.М. Грузнов**

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука*

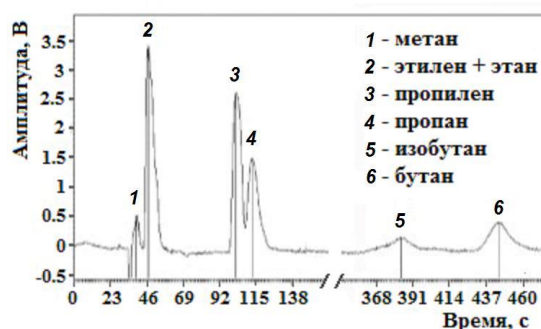
*Сибирского отделения Российской академии наук,  
 проспект Академика Коптюга, 3, Новосибирск, Россия*

*E-mail: [fedotovvv@ipgg.sbras.ru](mailto:fedotovvv@ipgg.sbras.ru)*

Широкий круг решаемых газовой хроматографией задач вызвал развитие разнообразных способов отбора проб, что привело к созданию различных устройств ввода проб в газовый хроматограф (ГХ).

В докладе представлена универсальная система ввода проб органических веществ в газохроматографическую колонку портативного ГХ [1]. Универсальность достигнута применением сменных инжекторов (устройств введения проб в камеру ввода ГХ): концентрационного для ввода методом термической десорбции газообразных или жидких проб, отобранных на концентратор, или проб в твердом состоянии (в виде измельченной породы и т.п.); шприцевого для ввода жидких или газообразных проб, отобранных с помощью жидкостного или газового шприца; автодозировочного для отбора и ввода газообразных проб. Применено программное управление потоками газа-носителя путем использования электромагнитных клапанов и сигнала с датчика давления в камере ввода ГХ.

Концентрационный инжектор рассчитан на применение концентраторов для геохимического поиска залежей углеводородов в виде металлических трубок с внешним диаметром 6 мм, толщиной стенки 0,3 мм, с пленкой сорбента SE-30 порядка 100 мкм на внутренней поверхности для регистрации ароматических углеводородов С6 – С8 или с сорбентов в виде угольного волокна для регистрации насыщенных углеводородов. Универсальная система обеспечивает ввод проб без ручных операций с возможностью коротких (от 5 мс) вводов анализируемых проб, необходимых при использовании эффективных газохроматографических колонок.



**Рисунок 1.** Хроматограмма поверочной смеси ТУ 6-16-2956-92.

Колонка Restek MXT-Q-PLOT (30 м×0,53 мм×20 мкм).

На примере анализа насыщенных углеводородов С1 – С4 с сильно различающейся летучестью (т.е. сильным различием времен испарения с концентратора) от метана до бутана показан удовлетворительный ввод веществ с концентрационным инжектором методом термической десорбции. Это иллюстрируется на рисунке 1.

*Работа выполнена в рамках ПФНИ, проект FWZZ-2022-0027 (ИНГГ СО РАН).*

### Литература

1. Федотов В.В., Балдин М.Н., Грузнов В.М. Универсальный газохроматографический ввод органических веществ для исследования объектов окружающей среды // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 5. С. 144-149.

**ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ  
СЕРЕБРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**

**Фурлетов А.А., Аняри В.В., Дмитриенко С.Г.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Россия  
E-mail: [aleksei\\_furletov@mail.ru](mailto:aleksei_furletov@mail.ru)*

В последние десятилетия наночастицы серебра различной морфологии привлекают внимание исследователей благодаря своим уникальным оптическим свойствам и относительной простоте получения. Оптические характеристики наночастиц серебра обусловлены явлением локализованного поверхностного плазмонного резонанса, что делает эти нанообъекты востребованными в качестве оптических сенсоров в методах молекулярной абсорбционной спектроскопии, а также в тест-методах химического анализа. Высокая чувствительность наночастиц серебра к биологически активным соединениям, а также нестандартные механизмы возникновения аналитического сигнала делают их перспективной заменой традиционным аналитическим реагентам [1, 2].

В настоящем докладе обсуждены возможности и перспективы использования наночастиц серебра, твердофазных аналитических реагентов и микрофлюидных бумажных систем на их основе для определения ряда биологически активных соединений методами спектрофотометрии, спектроскопии диффузного отражения и цифровой цветометрии. Рассмотрены основные процессы с участием наночастиц серебра, приводящие к спектральным изменениям: формирование наночастиц и их поверхностного слоя, изменение морфологии, агрегация, окисление. Выявлено влияние структурных особенностей аналитов на их взаимодействие с наночастицами серебра и аналитические характеристики определения методами оптической молекулярной абсорбционной спектроскопии. Приведены примеры использования наночастиц серебра в качестве аналитического реагента или аналитической формы при определении органических веществ (флавоноидов, тиосоединений, катехоламинов и их метаболитов, пероксидов), а также некоторых неорганических соединений.

Охарактеризованы пути повышения чувствительности и управления селективностью анализа с применением наночастиц серебра и их композитов. Представлены особенности выбора аналитического сигнала при определении веществ с помощью наночастиц. Показаны возможности мини-спектрофотометра – калибратора мониторов в качестве недорогой и портативной альтернативы спектрометру диффузного отражения для измерения спектральных характеристик композитов наночастиц в видимой области. Предложенные подходы применены для анализа вод различного типа, лекарственных препаратов, продукции пищевой и косметической промышленности. Хорошее соответствие полученных результатов данным, заявленным производителями, и данным, полученным независимыми методами, свидетельствует о правильности разработанных методик.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-73-00061, <https://rscf.ru/project/24-73-00061/>).*

**Литература**

1. Rabbi M.B.U., Haque S., Bedoura S. Advancements in synthesis, immobilization, characterization, and multifaceted applications of silver nanoparticles: A comprehensive review // Heliyon. 2024. Vol. 10. P. e40931.
2. Furletov A.A., Apyari V.V., Zaytsev V.D., Sarkisyan A.O., Dmitrienko S.G. Silver triangular nanoplates: Synthesis and application as an analytical reagent in optical molecular spectroscopy. A review // Trends Anal. Chem. 2023. Vol. 166. P 117202.

## ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 430 ПЕСТИЦИДОВ В ПОДМОРЕ ПЧЕЛ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С ТАНДЕМНЫМ МАСС- СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТОРОМ

Халявин И.А.<sup>1</sup>, Осина Е.С.<sup>1,2</sup>, Баиров А.Л.<sup>1</sup>, Усанова Е.Д.<sup>1</sup>, Тищенко В.В.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Федеральный центр охраны здоровья животных, Владимир, Россия

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва  
Россия

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов, Москва Россия

E-mail: [raiderpetrovich@mail.ru](mailto:raiderpetrovich@mail.ru)

Медоносные пчелы являются ключевыми опылителями и играют определяющую роль для как для сельского хозяйства, так и для экосистемы в целом. В настоящее время колонии пчел страдают от высоких ежегодных потерь из-за ряда экологических стрессоров, одним из которых является воздействие широкого спектра пестицидных препаратов (ПП), применяемых в сельском хозяйстве [1]. Одной из проблем, затрудняющих выявление факта воздействия ПП на организм медоносных пчёл, является недостаток научных данных о методах пробоподготовки биоматериала для последующего газохроматографического анализа. В связи с тем, что количество действующих веществ ПП может достигать сотен наименований, актуальным сегодня является создание мультиметодов для одновременного качественного и количественного определения большого числа ПП, поэтому разработка таких методов является актуальной задачей.

В данной работе представлена быстрая и простая аналитическая методика определения 430 пестицидов в пчелах методом газовой хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектором (ГХ-МС/МС). Метод ГХ-МС/МС является одним из наиболее чувствительных и селективных способов обнаружения микроколичеств органических веществ в различных биологических средах. [2].

В данной работе была использована пробоподготовка QuEChERS, основанная на быстрой экстракции целевых компонентов при помощи растворителей и специально подобранных по составу и соотношения солей, с последующей очисткой методом дисперсионной твердофазной экстракцией смесью сорбентов C18 и PSA в присутствии осушителя.

Ионизацию пестицидов проводили электронным ударом при классической (70 эВ) энергии, с последующей идентификацией методом мониторинга множественных реакций (MRM) по двум переходам. Предложенная методика обеспечивала хорошие степени извлечения от 60 до 99 % и хорошую воспроизводимость ( $s_r \leq 0.30$ ). Матричный эффект для всех пестицидов был ниже 30%. Количественный анализ осуществляли методом матричной градуировки, пределы определения составили от 0.5 до 5,0 мкг/кг. Таким образом представленная авторами методика была успешно валидирована для количественного определения 430 пестицидов в подморе пчел.

*Исследование выполнено в рамках НИР «Разработка методики измерений пестицидов в подморе пчел хромато-масс-спектрометрическими методами»*

### Литература

1. Harwood, G.P.; Dolezal, A.G. Pesticide–Virus Interactions in Honey Bees: Challenges and Opportunities for Understanding Drivers of Bee Declines. *Viruses* 2020, 12, 566.
2. Mullin, C.A.; Chen, J.; Fine, J.D.; Frazier, M.T.; Frazier, J.L. The Formulation Makes the Honey Bee Poison. *Pestic. Biochem. Physiol.* 2015, 120, 27–35.

## ИЗУЧЕНИЕ МЕШАЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ПРИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЭКСТРАКТАХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

**Яцышина В.С., Шишов А.Ю., Низов Е.Р.**

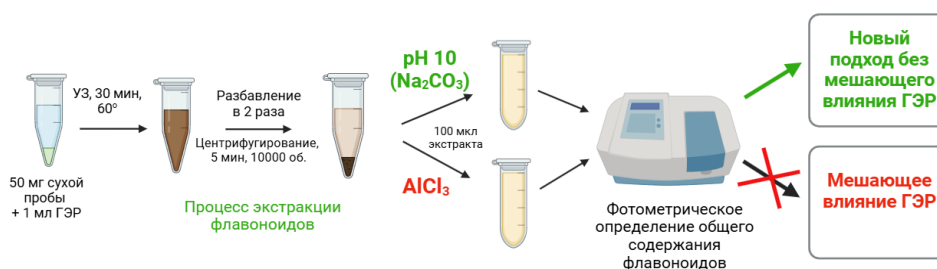
*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Институт химии, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: [st107503@student.spbu.ru](mailto:st107503@student.spbu.ru)*

Флавоноиды - группа полифенольных соединений, обладающих рядом полезных свойств, включая противовирусные, противовоспалительные, кардиопротекторные, противодиабетические, противораковые [1]. Одним из широко используемых методов определения общего содержания флавоноидов в растительных экстрактах является фотометрический анализ с использованием  $AlCl_3$  [2]. В современной аналитической химии для извлечения БАВ из растительного сырья все чаще применяют глубокие эвтектические растворители (ГЭР), компоненты которых могут связываться с  $AlCl_3$  или с флавоноидами и искажать аналитический сигнал. Целью данной работы было выяснить, оказывают ли ГЭР на основе хлорида холина как акцептора водородных связей и различных классов соединений (спиртов, сахаров, мочевины и кислот) как доноров, мешающий эффект и, если он есть, предложить варианты его устранения, а также провести фотометрический анализ реальных образцов с использованием ГЭР.

В данном исследовании проводили фотометрическую реакцию в оптимальных условиях с различными добавками ГЭР и вычисляли мешающий эффект. Было показано, что во всем изученном диапазоне концентраций (10-100 г/л) использование ГЭР для определения флавоноидов без каких-либо дополнительных процедур или без учета мешающего влияния невозможно. Были исследованы способы устранения мешающего влияния, в первую очередь, изменение pH среды. Флавоноиды в щелочной среде способны образовывать окрашенные формы, при этом наблюдается bathochromic shift в спектре поглощения. В результате был предложен альтернативный подход к фотометрическому анализу, основанный на изменении pH раствора экстракта без добавления  $AlCl_3$ . С помощью предложенного метода было определено общее содержание флавоноидов в травах. Результаты анализа сравнивали с результатами, полученными по стандартному методу с использованием  $AlCl_3$ .



**Рисунок 1.** Анализ растительного сырья.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Санкт-Петербургского Государственного Университета (проект 103753335). Научные исследования были проведены с использованием оборудования научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета (Методы анализа состава веществ).*

### Литература

1. Shen N., Wang T., Gan Q., Liu S., Wang L., Jin B.. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity // Food Chemistry. 2022. Vol. 383. P. 1-13.
2. Shraim A., Ahmed T., Rahman M., Hijji Y. Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation // LWT. 2021. Vol. 150. P. 1-11

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| ЛЕД КАК ОБЪЕКТ АНАЛИЗА  |    |
| Папина Т.С. ....  | 18 |
| ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ В АНАЛИЗЕ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ:<br>БИТВА ЗА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ  |    |
| А.А.Васильев <sup>1</sup> , О.В.Куль <sup>2</sup> , А.В.Шапошник <sup>3</sup> .....   | 19 |
| ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ В ОКРУЖАЮЩЕЙ<br>СРЕДЕ  |    |
| Федотов П.С., Ермолин М.С., Иванеев А.И. ....   | 20 |
| АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ПРОБЛЕМЫ МИКРО- И НАНОПЛАСТИКА:<br>СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ВОПРОСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ                                       |    |
| Проскурнин М.А. ....  | 21 |
| СОСТОЯНИЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ<br>ПО АНАЛИЗУ ПРИРОДНЫХ ВОД   |    |
| С.В. Пирогова, А.В. Карташова .....   | 22 |
| ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ В АНАЛИЗЕ ПРИРОДНЫХ ВОД: ПРИКЛАДНЫЕ<br>АСПЕКТЫ  |    |
| Муравьёв А.Г., Богачёва А.Г. ....   | 22 |
| ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ<br>ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ   |    |
| Шишов А.Ю., Булатов А.В. ....   | 24 |
| МОНИТОРИНГ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ (СОЗ) В<br>АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ  |    |
| Запевалов М.А., Самсонов Д.Г., Кочетков А.И., Пасынкова Е.М., Левшин Д.Г. ..  | 25 |
| ОЦЕНКА ЭКСПОЗИЦИИ ЧЕЛОВЕКА К ЛЕТУЧИМ ПРОМЫШЛЕННЫМ<br>ТОКСИКАНТАМ МЕТОДАМИ ХРОМАТОМАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ   |    |
| Савельева Е.И., Шачнева М.Д., Каракашев Г.В., Беляков М.В., Венедиктов А.С. 26  |    |
| БАЙКАЛ КАК ПРИРОДНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКИХ<br>ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ НА СЛЕДОВОМ<br>УРОВНЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ |    |
| Горшков А.Г., Кустова О.В., Изосимова О.Н., Григорьева Т.А. ....  | 27 |
| МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ<br>АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЛЕТУЧИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ                             |    |
| Родинков О.В. <sup>1</sup> , Москвин Л.Н. <sup>1</sup> , Якимова Н.М. <sup>1</sup> .....  | 28 |
| РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЕГАЗАЦИИ ВОДЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА<br>РАСТВОРЁННЫХ В ВОДЕ ГАЗОВ  |    |
| Сапрыкин О.А., Сафронов В.В., Зевакин Е.А. ....   | 29 |
| ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВОЗДУХА. СЕГОДНЯ. ЗАВТРА.  |    |
| И.А. Платонов, В.И. Платонов, Вал.И. Платонов, М.Г. Горюнов, М.Е. Ледаев ....   | 30 |

## СРАВНЕНИЕ СХЕМ ПОДГОТОВКИ ПРОБ ПОЧВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ В НИХ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ АЭС-ИСП

|  |    |
|--|----|
| Савинов С.С., Тлеужанова Р.Д. ....   | 31 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СОПРЯЖЕННЫХ СРЕД «ПОЧВА–РАСТЕНИЕ» МЕТОДОМ ДУГОВОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ   |    |
| Васильева И.Е. <sup>1</sup> , Шабанова Е.В. <sup>1</sup> , Бямбасурэн Ц. <sup>2</sup> .....  | 32 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА, РАЗМЕРА И МОРФОЛОГИИ ТВЕРДЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ВОЗДУХА АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ  |    |
| Цыганкова А.Р. <sup>1,2</sup> , Гусельникова Т.Я. <sup>1,2</sup> , Сапрыкин А.И. <sup>1</sup> .....  | 33 |
| МОНИТОРИНГ ПХБ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НЕОРГАНИЗОВАННОГО ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ  |    |
| Левшин Д.Г., Запевалов М.А., Бурков А.И. ....  | 34 |
| РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ТВЕРДОГО ОСАДКА СНЕГА В ЗОНЕ ВЫБРОСОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА  |    |
| Чубаров В.М., Амосова А.А., Просекин С.Н. ....   | 35 |
| СПЕЦИФИКА ВЫБОРА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ  |    |
| Марютина Т.А., Савонина Е.Ю., Мусина Н.С., Романова Ю.Н. ....  | 36 |
| ПРОБООТБОР И АНАЛИЗ ПЛЕНОК НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ  |    |
| Зуев Б.К. <sup>1,2</sup> , Грибова Е.Д. <sup>2</sup> , Полотнянко Н.А. <sup>2</sup> .....  | 37 |
| БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ  |    |
| Лоншакова-Мукина В.И. <sup>1,2,3</sup> , Громова А.В. <sup>1,3</sup> , Есимбекова Е.Н. <sup>2,1</sup> , Кратасюк В.А. <sup>1,2</sup> .....   | 38 |
| АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МИКРОПЛАСТИКАМИ ПОЛИПРОПИЛЕНА, ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ВСПЕНЕННОГО ПОЛИСТИРОЛА  |    |
| Гусельникова Т.Я. <sup>1</sup> , Цыганкова А.Р. <sup>1,2</sup> , Лепешонкова Ю.В. <sup>1,2</sup> .....   | 39 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЭКСПРЕССНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ МЕТАБОЛИТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ - ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ |    |
| Подольская Е.П. ....   | 40 |
| АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ ФЕРРАТНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ   |    |
| Ермаков С.С. <sup>1</sup> , Наволоцкая Д.В. <sup>1</sup> , Пантин А.В. <sup>1</sup> .....  | 41 |
| МЕТОДОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТАВА НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ   |    |
| Мусина Н.С., Романова Ю.Н., Марютина Т.А. ....   | 42 |
| КОМПЛЕКС ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ОСОБО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОБЪЕКТОВ  |    |

|   |    |
|---|----|
| Буряк А.К., Гриневич О.И., Пыцкий И.С., Миненкова И.С. ....   | 43 |
| СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНИВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ   |    |
| Шабанова Е.В. <sup>1</sup> , Васильева И.Е. <sup>1</sup> , Бямбасурэн Ц. <sup>2</sup> .....   | 44 |
| ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЫШЕННЫХ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА БЕНЗ(А)ПИРЕНОМ (БаП)   |    |
| Корунов АО.....   | 45 |
| ОБНАРУЖЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ДЕЙСТВУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ В ОБЪЕКТАХ ЭКСПЕРТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ ПРОБОПОДГОТОВКИ QUECHERS |    |
| Стрижаков Д.А.....  | 46 |
| ИММУНОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  |    |
| Жердев А.В., Дзантиев Б.Б. ....   | 47 |
| НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЛЬТАМЕПРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ЭКОТОКСИКАНТОВ НА ОРГАНОМОДИФИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДАХ   |    |
| Слепченко Г.Б., Дорожко Е.В., Нурпейис Е., Нурмаметова А.А. ....  | 48 |
| ПОДХОДЫ К РЕКУЛЬТИВАЦИИ И ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА. РОЛЬ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ   |    |
| Калмыков С.Н. <sup>1,2</sup> .....  | 49 |
| АНАЛИТИКА СОСТАВА ОТХОДОВ КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА  |    |
| Жабриков С.Ю., Оспанова Т.Е. ....   | 50 |
| УСОЛЬЕХИМПРОМ - ИСТОРИЯ КАТАСТРОФЫ, ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ И ВЫЗОВЫ ДЛЯ ХИМИИ  |    |
| Иванов А.В. ....  | 51 |
| МЕТОДИКА НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ДИАГНОСТИКИ РАДИОАКТИВНЫХ МИКРОЧАСТИЦ  |    |
| Полякова Т.Р., Власова И.Э., Калмыков С.Н. ....   | 52 |
| СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ЛЕТУЧИХ СЕРАОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ВОЗДУХА  |    |
| Абдрахманова Э.Ф. <sup>1</sup> , Хатмуллина Р.М. <sup>2</sup> , Галактионова Е.Б. <sup>1</sup> , Сафарова В.И. <sup>2</sup> .....   | 53 |
| КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ ТЕСТ-СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛОКУЛЯНТА ПОЛИДАДМАХ В ВОДЕ  |    |
| Антонова А.Н., Кочеткова М.А., Тимофеева И.И., Шишов А.Ю., Булатов А.В....  | 54 |

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОД ДЛЯ  
ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Баронин М.Е.<sup>1,2</sup>, Слепченко Г.Б.<sup>2</sup> ..... 55

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ХЕМОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ  
РОЛИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПОСТУПЛЕНИИ МИКРОПЛАСТИКА ИЗ РЕКИ  
СЕВЕРНАЯ ДВИНА В БЕЛОЕ И БАРЕНЦЕВО МОРЕ

Белесов А.В., Молоткова Е.Ю., Покрышкин С.А., Кожевников А.Ю. .... 56

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНОГО ОБЪЕКТА  
НЕФТЬЮ – АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЮРИДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Бородин А.В.<sup>1</sup>, Ершов Т.Д.<sup>2</sup>, Ларичкин М.П.<sup>3</sup> ..... 57

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ ПРИМЕСЕЙ В  
АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В  
НЕСКОЛЬКИХ ТОЧКАХ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Васильева Д.Е.<sup>1,2</sup>, Наговицына Е.С.<sup>1,2</sup>, Гадельшин В.М.<sup>1,2</sup> ..... 58

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ  
ХЛОРОФОРМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ, ПИТЬЕВЫХ И СТОЧНЫХ  
ВОД

Вельямидова А.В., Колпакова Е.С. .... 59

НОВЫЙ СПОСОБ ЖИДКОСТНО-ЖИДКОСТНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ НА  
ОСНОВЕ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ПОСЛЕДНЕГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИРОДНОЙ  
ВОДЕ

Веселова Д.С., Барбаянов К.А., Тимофеева И.И., Булатов А.В. .... 60

КОНТРОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, АДсорбированных ИЗ  
ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, МЕТОДОМ  
ОКСИТЕРМОГРАФИИ

М.Ю. Воробьёва<sup>1,2,3</sup>, Б.К. Зуев<sup>1,3</sup>, Д.В.Философов<sup>2,3</sup> ..... 61

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ И ФОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Воронич С.С., Роева Н.Н., Зайцев Д.А., Хлопаев А.Г. .... 62

СКРИНИНГ 35 АНТИБИОТИКОВ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ В  
СТОЧНОЙ ВОДЕ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ  
ХРОМАТОГРАФИИ – ТАНДЕМНОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Воронов И.С., Фалёв Д.И., Ульяновский Н.В., Косяков Д.С. .... 63

МНОГОКОМПОНЕНТНОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ОСТАТКОВ 55 ВЕТЕРИНАРНЫХ  
ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РЕЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНОЙ  
ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРАКЦИИ С ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ МАГНИТНОГО  
СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

Гончаров Н.О.<sup>1</sup>, Толмачева В.В.<sup>1,2</sup>, Мелехин А.О.<sup>2</sup>, Бирюкова М.А.<sup>1</sup>, Апяри В.В.<sup>1</sup>,  
Дмитриенко С.Г.<sup>1</sup> ..... 64

НЕЦЕЛЕВОЙ СКРИНИНГ ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СТОЧНЫХ ВОДАХ МЕТОДАМИ ВЭЖХ С КОМБИНИРОВАННЫМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ ИСП-МС И ИЭР-МСВР

|  |    |
|--|----|
| Данилова Э.В., Сыпалов С.А., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В. ....   | 65 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕСКА НЕФТЕПРОДУКТАМИ МЕТОДОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ  |    |
| Дженлода Р.Х., Марютина Т.А. ....  | 66 |
| ПРОТОЧНОЕ ЭКСТРАКЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО НА ОСНОВЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОБОПОДГОТОВКИ ВОДНЫХ СРЕД. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ |    |
| Должанская Т.Р. <sup>1</sup> , Banerjee T. <sup>2</sup> , Шишов А.Ю. <sup>1</sup> .....  | 67 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ЛОВОЗЕРСКОГО РАЙОНА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ  |    |
| Дрогобужская С.В. <sup>1</sup> , Мазухина С.И. <sup>2</sup> , Маслобоев В.А. <sup>2</sup> .....  | 68 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В СТОЧНЫХ ВОДАХ   |    |
| Дядищев М.Е. <sup>1</sup> , Моргачева Н.В. <sup>1</sup> , Зяблов А.Н. <sup>1,2</sup> .....   | 69 |
| МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «УДОБРЕНИЕ – ПОЧВА – РАСТЕНИЕ»   |    |
| Егорова И.В., Панова Л.П., Родионова Н.А., Смирнова В.Н. ....  | 70 |
| ДОСТОИНСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ИММУНОАНАЛИЗА ХЛОРОФЕНОКСИ_ГЕРБИЦИДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  |    |
| Еремин С.А. <sup>1,2</sup> , Колоколова М.К. <sup>1</sup> , Мухаметова Л.И. <sup>1,2</sup> .....   | 71 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ХРОМА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ  |    |
| Роева Н.Н., Зайцева И.А., Буздаков Д.Р. ....   | 72 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ КАДМИЯ_В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ   |    |
| Роева Н.Н. <sup>1</sup> , Зайцев Д.А. <sup>1</sup> , Зайцева И.А. <sup>1</sup> , Гвоздева Е.Е. <sup>2</sup> .....  | 73 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИМИ СЕНСОРАМИ  |    |
| Зяблов А.Н., Выборный А.Ю., Тertyшникoвa O.A. ....   | 74 |
| ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЕНТОВ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ БИОМАРКЕРОВ ИЗ ПРОБ ВЫДЫХАЕМОГО ВОЗДУХА  |    |
| Ионов Г.А., Платонов И.А., Колесниченко И.Н. ....  | 75 |
| УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ КАК СОРБЕНТЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ   |    |
| Казаков А.Г., Екатова Т.Ю., Хворостинин Е.Ю., Винокуров С.Е. ....  | 76 |
| ПРОБОПОДГОТОВКА МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД И ХВОСТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПРОБ С  |    |

БИФТОРИДОМ АММОНИЯ И КИСЛОТНЫХ ВЫТЯЖЕК ДЛЯ АНАЛИЗА  
МЕТОДАМИ МС/АЭС-ИСП

Казин В.И., Захарченко Е.А., Громяк И.Н., Тюрин Д.А. Колотов В.П. .... 77

АНАЛИЗ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД И ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТОВ ИХ  
ПЕРЕРАБОТКИ МЕТОДОМ МС-ИСП, ВКЛЮЧАЯ УЧЕТ СПЕКТРАЛЬНЫХ  
ИНТЕРФЕРЕНЦИЙ РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ

Казин В.И., Хлуднева А.О., Захарченко Е.А., Тюрин Д.А., Колотов В.П. .... 78

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИНОЛОНОВЫХ АНТИБИОТИКОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ  
МЕТОДОМ КЭ-УФ В СОЧЕТАНИИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИЕЙ  
НАНОЧАСТИЦАМИ  $Fe_3O_4$  С ПОЛИДОФАМИНОВЫМ ПОКРЫТИЕМ

Карпицкий Д.А., Карцова Л.А. .... 79

СОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ БЛОЧНО-ПОРОЗНОГО ТИПА ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ И МАЛОЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В  
ВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ

Платонов И.А., Новикова Е.А., Карсункина А.С., Сакс А.В. .... 80

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ НА ТОКСИЧНОСТЬ ПРЕСНЫХ  
ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Ермакова Н. А., Соколовская К. С., Кияшко В. А., Федосимова А. М. .... 81

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА КОНЦЕНТРАЦИЯ  
ГАЛОГЕНООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
СТОЧНЫХ, ПРИРОДНЫХ И ПИТЬЕВЫХ ВОД

Коробицына Р.Д., Королева Т.А. .... 82

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ РЕК

Кревень Ю.О., Ларина Н.С. .... 83

ПРИБОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА  
ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Курепов А.А., В.И. Платонов, И.А. Платонов, Горюнов М.Г., Платонова С.А. .... 84

ОЦЕНКА ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ  
ОЗЕРА БАЙКАЛ

Кустова О.В., Дзюба Е.В., Букин Ю.С., Горшков А.Г. .... 85

СОДЕРЖАНИЕ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПОЧВЕ  
МОСКВЫ

Левашова Е.А., Зыкова Г.В., Финаков Г.Г. .... 86

СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЙ РАСТВОРИТЕЛЬ НА ОСНОВЕ СОЛИ ДИ-(2-  
ЭТИЛГЕКСИЛ)-ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ  
ФТОРХИНОЛОНОВ ИЗ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

Лодянов Ю.О., Почивалов А.С., Булатов А.В. .... 87

ВЭЖХ-ФЛД ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТИБИОТИКОВ ФТОРХИНОЛОНОВОГО РЯДА  
В ПОЧВАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ С ВЫДЕЛЕНИЕМ В ГЛУБОКИЙ  
ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ

Лусникова К.М., Крехова Ф.М., Шишов А.Ю. .... 88

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СЕНСОРОВ НА АММИАК

|   |    |
|---|----|
| Матьяш Е.В., Ермаков С.С., Приходько И.В. ....  | 89 |
| ВЭЖХ-ФЛД ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ПОЧВАХ С<br>ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ВЫДЕЛЕНИЕМ В ГЛУБОКИЙ ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ<br>РАСТВОРИТЕЛЬ  |    |
| Мещева Д.А., Крехова Ф.М., Шишов А.Ю., Булатов А.В. ....  | 90 |
| ПРИМЕНЕНИЕ КВАЗИ-ГИДРОФОБНЫХ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ<br>РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ И<br>НЕПОЛЯРНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ   |    |
| Мурадымов Р.Р. <sup>1</sup> , Шишов А.Ю. <sup>1</sup> Banerjee T. <sup>2</sup> .....  | 91 |
| СОРБЦИОННОЕ УЛАВЛИВАНИЕ ЛЕТУЧИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ<br>ПРОБОПОДГОТОВКЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ   |    |
| Слепов Е.А., Мусина Н.С., Марютина Т.А. ....  | 92 |
| ОДНОВРЕМЕННОЕ ВЭЖХ-МС/МС-ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ<br>КОЛИЧЕСТВ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ<br>ВЕТЕРИНАРНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ПОЧВЕ   |    |
| Некрасов Д.Ю. <sup>1</sup> , Лаврухина О.И. <sup>1,2</sup> , Батов И.В. <sup>1</sup> , Третьяков А.В. <sup>1</sup> , Щербаков А.В. <sup>3</sup> ,<br>Вергунов О.П. <sup>1</sup> .....                                       | 93 |
| СОВМЕСТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЙОДА И СЕЛЕНА В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ<br>МЕТОДОМ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ  |    |
| Нигаметзянова А.Н. <sup>1,2</sup> , Слепченко Г.Б. <sup>1</sup> .....   | 94 |
| АНИЗОТРОПНАЯ СЕТЬ Ni-NiO КАК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ СЕНСОР НА NO <sub>2</sub> ,<br>РАБОТАЮЩИЙ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ   |    |
| Низамеев И.Р., Низамеева Г.Р., Лебедева Э.М., Кузнецова В.В., Синяшин О.Г. ....   | 95 |
| ВЭЖХ-ФЛ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ<br>УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИРОДНОЙ ВОДЕ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ<br>ЭКСТРАКЦИОННО-ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ В<br>ГЛУБОКИЙ ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ В ПРОЦЕССЕ ПРОБООТБОРА |    |
| Низов Е.Р., Шишов А.Ю. ....   | 96 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРПИРИФОСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>ПРОБОПОДГОТОВКИ QUECHERS В РАМКАХ КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ<br>СОДЕРЖАНИЙ ФОП В ПОЧВЕ  |    |
| Лебедев А.М. <sup>1</sup> , Лаврухина О.И. <sup>1,2</sup> , Николенко Д.В. <sup>1</sup> , Сурогин М.В. <sup>1</sup> , Виниченко<br>Е.В. <sup>1</sup> , Третьяков А.В. <sup>1</sup> .....                                    | 97 |
| ХИМИЧЕСКОЕ ИСЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ<br>ТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ ГОРОДА БИШКЕК, ЧЕРЕЗ<br>АНАЛИЗ СНЕЖНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ.  |    |
| Оселедко П.А., Асанова К.А. ....  | 98 |
| ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДА РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО<br>АНАЛИЗА С ПОЛНЫМ ВНЕШНИМ ОТРАЖЕНИЕМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ<br>МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЗОЛЫ УГЛЯ   |    |
| Пашкова Г.В., Жиличева А.Н., Чубаров В.М., Черкашина Т.Ю., Ухова Н.Н. ....  | 99 |
| КОНТРОЛЬ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПЕСЧАНЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ<br>ЗАПАДНОЙ СИБИРИ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ   |    |

|   |     |
|---|-----|
| Петрова Ю.Ю., Фаррахова Г.Р., Дурягин А.В., Чудова Е.С.,<br>Таныкова Н.Г., Сутормин О.С.....  | 100 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТИЛГИДРАЗИНА И НЕСИММЕТРИЧНОГО<br>ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА В ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ МЕТОДОМ<br>ТЕРМОДЕСОРБЦИОННОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ |     |
| Попов М.С., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В.....  | 101 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИРАЛЬНЫХ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ В<br>ВОДНЫХ СРЕДАХ МЕТОДОМ ВЭЖХ НА СОРБЕНТАХ С ЭРЕМОМИЦИНОМ                                       |     |
| Просунцова Д.С., Бурцев Б.С., Ананьева И.А. ....  | 102 |
| О МИГРАЦИИ РТУТИ В ПИЩЕВОЙ ЦЕПОЧКЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ  |     |
| Роева Н.Н., Яковлюк Р.О., Петровский Н.А. ....  | 103 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ В ПОЧВАХ<br>УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ  |     |
| Роева Н.Н., Кольцова Е.Г., Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г.,<br>Мурачев Е.Б., Орловский Р.А.....  | 104 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ ДОСТУПНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ<br>МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ В РАЙОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАРАБАШСКОГО<br>МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА                    |     |
| Савонина Е.Ю., Козлов А.Э., Марютина Т.А. ....  | 105 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ, ФОРМИРУЮЩИХ НЕПРИЯТНЫЙ<br>ЗАПАХ СТОЧНЫХ ВОД РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ   |     |
| Соколова Л. И., Гацанюк А.Б., Липченко Е. В., Хуторная И. Ю.....  | 106 |
| ЭКСПРЕСС-ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АРИЛАМИНОВ В ВОДАХ   |     |
| Соколова Т.А. <sup>1</sup> , Цыгулева Э.И. <sup>2</sup> , Косырева И.В. <sup>1</sup> , Доронин С.Ю. <sup>1</sup> .....                              | 107 |
| КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛИФОСАТА И<br>АМИНОМЕТИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ В ПОЧВЕ И ВОДЕ МЕТОДОМ ВЭЖХ-<br>МС/МС  |     |
| Сорокин А.В., Жедулов А.Е. ....   | 108 |
| ОБОБЩЕННЫЕ И НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ<br>МАЛЫХ РЕК ОЗЕРА СЕЛИГЕР   |     |
| Тимакова С.И., Михайлова А.В., Сенин В.Г.....   | 109 |
| ПРОБЛЕМЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ АТМОСФЕРНЫХ<br>ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПО ОБРАБОТКЕ, УТИЛИЗАЦИИ И<br>ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ОТХОДОВ I-II КЛАССОВ ОПАСНОСТИ |     |
| Трубачев А.В., Трубачева Л.В.....   | 110 |
| ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ В<br>ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ НА АНАЛИЗАТОРЕ РА 915-М С<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИСТАВКИ ПИРО-915+               |     |
| Ухова Н.Н., Черкашина Т.Ю., Петрова А.Н., Иванов А.В. ....  | 111 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕФАЗОЛИНА В СТОЧНОЙ ВОДЕ МОДИФИЦИРОВАННЫМ<br>АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИМ СЕНСОРОМ  |     |

|  |     |
|--|-----|
| Фам Тхи Гам <sup>1,2</sup> , Зяблов А.Н. <sup>1</sup> , Фам Тхи Бик Нгок <sup>3</sup> .....  | 112 |
| СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ПРИРОДНОЙ ВОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСТРАКТА МАРЕНЫ КРАСИЛЬНОЙ (RUBIA TINCTORUM) ПОЛУЧЕННОГО С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ |     |
| Федосов П. А., Шишов А.Ю., Бочко Т.Н. ....   | 113 |
| АНАЛИЗ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРОБАХ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ   |     |
| Финаков Г.Г., Левашова Е.А., Зыкова Г.В. ....  | 114 |
| ВНЕЛАБОРАТОРНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛОВ В ВОДАХ   |     |
| Цыгулёва Э.И. <sup>1</sup> , Соколова Т.А. <sup>2</sup> , Косырева И.В. <sup>2</sup> , Доронин С. Ю. <sup>2</sup> .....  | 115 |
| ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПОТЕНЦИАЛЬНО РУДОНОСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  |     |
| Чубаров В.М., Петрова А.Н., Черкашина Т.Ю., Ухова Н.Н., Иванов А.В.....  | 116 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРА В ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗЦАХ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОМЕРНОЙ ГРАДИРОВКИ   |     |
| Шабанова Е.В., Васильева И.Е. ....   | 117 |
| ПОИСК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ – МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ                         |     |
| Шаврина И.С., Латкин Т.Б., Данилова Э.В., Косяков Д.С.....   | 118 |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМУ МОНИТОРИНГУ, ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, НА ПРИМЕРЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЖИЛЫХ ЗОН РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН                   |     |
| Шарипова Л.Д., Сидельников А.В., Гареев И.А., Бижанова Г.Г., Васенина Н.А., Квятковская А.С. ....  | 119 |
| КИНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ «ОТПЕЧАТКОВ ПЛЫЦЕВ» В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ВОД  |     |
| Шик А.В., Скоробогатов Е.В., Беклемишев М.К.....   | 120 |
| ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕТРОЛОГИЯ И ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ЭКОЛОГИИ   |     |
| Абакумов Е.В. ....   | 121 |
| ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АМИНОКИСЛОТ НА ИХ ЭКСТРАКЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ                                   |     |
| Адамов А.А., Давыдова Е.Г., Шишов А.Ю.....   | 122 |
| РАЗВИТИЕ МАЛЫХ АРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР: ТЕНДЕНЦИИ К ЭВТРОФИРОВАНИЮ  |     |

|  |     |
|--|-----|
| Базова М.М., Моисеенко Т. И.....   | 123 |
| ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 15 ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТАХ ЖИВОТНОВОДСТВА МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ                                     |     |
| Баиров А.Л. <sup>1</sup> , Усанова Е.Д. <sup>1</sup> , Осина Е.С. <sup>1,2</sup> , Мелехин А.О. <sup>1</sup> , Тищенко В.В. <sup>1,3</sup> ..                                      | 124 |
| АТОМНО-ЭМИССИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПОЛИВИНИЛФОРМАЛЬДЕГИД-ТИОМОЧЕВИНЫМ СОРБЕНТОМ   |     |
| Белякович Д.И., Дидух-Шадрина С.Л., Казик М.М., Гулиева Р.М. ....  | 125 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИРКОНИЙСОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ ДЛЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ТЕТРАЦИКЛИНА   |     |
| Брянцева Ю.Д., Уфлянд И.Е. ....  | 126 |
| СЕНСОРЫ ИОНОВ d-МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ДИПИРРОМЕТЕНОВ  |     |
| Бумагина Н.А., Антипа Е.В., Березин М.Б. ....  | 127 |
| ПОЛУЧЕНИЕ ИМПРИНТИРОВАННОГО ПОЛИАНИЛИНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КВЕРЦИТИНА, ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА  |     |
| Бурмистрова Н.А., Горло В.Д., Пиденко П.С. ....  | 128 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАЗИНА, МЕТИЛГИДРАЗИНА И НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА МЕТОДОМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ФЛЮИДНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ – ТАНДЕМНОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ                            |     |
| Вахрамеев С.А., Овчинников Д.В., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В.....  | 129 |
| ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДИК В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ   |     |
| Воронич С.С., Роева Н.Н., Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г., Кольцова Е.Г. ...  | 130 |
| СМАРТФОН-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТНЫХ СЕНСОРОВ  |     |
| Гавриленко М.А., Волгина Т.Н., Серебряков К.В., Кожемякин Н.А., Шульгин П.Р. ....  | 131 |
| ТВЕРДОФАЗНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕТРАЦИКЛИНА   |     |
| Кузнецова Д.Е. <sup>1</sup> , Саранчина Н.В. <sup>1</sup> , Гавриленко Н.А. <sup>1</sup> , Гавриленко М.А. <sup>2</sup> .....  | 132 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ ЭКСТРАГЕНТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РОДАМИНА 6Ж В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ МЕТОДОМ СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРИИ |     |
| Герасимова А.А. <sup>1</sup> , Шишов А.Ю. <sup>1</sup> и Банерджи Т. <sup>2</sup> .....  | 133 |
| РАСТВОРИМОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ: ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ТРАНСДЕРМАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ  |     |
| Гиниятуллин И.М., Шишов А.Ю. ....  | 134 |
| МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПОЛИПРЕНОЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕНГМЮРА И МАЛДИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ  |     |
| Гладчук А.С., Суходолов Н.Г., Подольская Е.П.....  | 135 |

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ В АНАЛИЗЕ  
ТОКСИЧНЫХ АЗОТИСТЫХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ НА УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ

|  |     |
|--|-----|
| Гриневич О.И. ....   | 136 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИСФЕНОЛА А В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ С<br>ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ НА МАГНИТНЫХ СОРБЕНТАХ   |     |
| Губин А.С., Суханов П.Т., Кушнир А.А. ....   | 137 |
| ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ФЕРМЕНТЫ<br>БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ТЕСТА МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ  |     |
| Деева А.А. <sup>1,2</sup> , Пахтусов Д.С. <sup>1</sup> , Сутормин О.С. <sup>1,2</sup> ....   | 138 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОТО-ПЛЁНОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ИНВЕРСИОННО-<br>ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЫШЬЯКА И ТАЛЛИЯ В<br>УСЛОВИЯХ ДОФАЗОВОГО ОСАЖДЕНИЯ   |     |
| Дымова А.В., Еремеева А.С., Мартынов Л.Ю. ....   | 139 |
| МАСС-СПЕКТРОМЕТР С МЕМБРАННЫМ ВВОДОМ ПРОБЫ (MIMS) ДЛЯ<br>АНАЛИЗА РАСТВОРЕННЫХ В ВОДЕ УГЛЕВОДОРОДОВ   |     |
| Ершов Т.Д. <sup>1</sup> , Бородин А.В. <sup>2</sup> , Ларичкин М.П. <sup>3</sup> ....  | 140 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА КЛОТРИМАЗОЛА В РЫБЕ<br>ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ МЕТОДОМ ВЭЖХ-МС/МС  |     |
| Жедулов А.Е., Сорокин А.В., Мамедова Е.И. ....   | 141 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА И<br>ПРОДУКТОВ ЕГО КОНВЕРСИИ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО-МАСС-<br>СПЕКТРОМЕТРИИ   |     |
| Загладкина Е.В., Шачнева М.Д., Савельева Е.И. ....   | 142 |
| «ЗЕЛЕНАЯ» ЭКСТРАКЦИЯ В АНАЛИЗЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ,<br>СОДЕРЖАЩИХ АМИНОКИСЛОТЫ  |     |
| Иванчура П.В. <sup>1</sup> , Мокшина Н.Я. <sup>1,2</sup> , Пахомова О.А. <sup>1</sup> ....   | 143 |
| АНАЛИЗ СОСТАВА «СИНТЕТИЧЕСКИХ» НЕФТИ И ГАЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ<br>ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА<br>ОРГАНОНАСЫЩЕННЫЕ ПОРОДЫ В ПЛАСТЕ   |     |
| Калмыков А.Г. <sup>1</sup> , Савостин Г.Г. <sup>1</sup> , Тихонова М.С. <sup>1</sup> , Левкина В.В. <sup>2</sup> , Видищева О.В. <sup>1</sup> ,<br>Григоренко Т.В. <sup>1</sup> , Костышина М.О. <sup>1</sup> , Волков Д.С. <sup>2</sup> , Пирогов А.В. <sup>2</sup> , Проскурнин М.А. <sup>2</sup><br>..... | 144 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С СЕРОСЕЛЕКТИВНЫМ<br>ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОФИЛЯ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ<br>СОЕДИНЕНИЙ В СОСТАВЕ АРОМАТИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ НЕФТИ  |     |
| Канатьева А.Ю., Курганов А.А., Королев А.А., Викторова Е.Н. ....   | 145 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ<br>АНАЛИЗА СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В НЕФТИ И ЕЕ ФРАКЦИЯХ.  |     |
| Катасонова О.Н., Романова Ю.Н., Марютина Т.А. ....   | 146 |
| ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ<br>ГАЗОВЫХ СРЕД ПОЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ  |     |
| Д.Л. Колесниченко, И.А. Платонов, И.Н. Колесниченко .....  | 147 |

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ДИФЕНИЛОЛПРОПАНА, ДИБУТИЛФТАЛАТА И ДИЭТИЛГЕКСИЛФТАЛАТА В  
ВОДНЫХ ЭКСТРАКТАХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ВЭЖХ С  
УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

Колосов К.Л.<sup>1</sup>, Заславская Д.Н.<sup>1</sup>, Беняев Н.Е.<sup>1</sup>, Еремин С.А.<sup>2</sup>, Пирогов А.В.<sup>2</sup> ..... 148

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО ГЛЮКМЕТРА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ  
ВИРУСНЫХ ЧАСТИЦ

Кольцова А.В., Михневич Е.И., Дорожко Е.В., Соломоненко А.Н. .... 149

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОСФАТОВ В ПРИРОДНЫХ  
ВОДАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИЦЕЛЛЯРНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ НА ОСНОВЕ  
АЛКИЛПОЛИГЛИКОЗИДОВ

Кочеткова М.А.<sup>1</sup>, Двойных Д.Д.<sup>2</sup>, Зубакина Е.А.<sup>2</sup>, Булатов А.В.<sup>1</sup>, Тимофеева И.И.<sup>1</sup>  
..... 150

СОЗДАНИЕ ПОРТАТИВНЫХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ  
КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КАТИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Кулик В.С., Новикова С.А., Грибова Е.Д., Трошкина Н.Н. .... 151

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДОФАЗНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ С  
ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ В СОЧЕТАНИИ С ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИЕЙ МАСС-  
СПЕКТРОМЕТРИЕЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ СКРИНИНГА И  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ АТМОСФЕРНЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ В  
АРКТИЧЕСКОМ СНЕГЕ

Латкин Т.Б., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В. .... 152

АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ ТИРОЗИНАЗНЫЕ БИОСЕНСОРЫ  
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРИРОВАННЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ ASPERGILLUS NIGER.

Лопатко Н.Ю.<sup>1</sup>, Малоземова О.Е.<sup>1</sup>, Бейлинсон Р.М.<sup>1</sup>, Медянцева Э.П.<sup>1</sup>, Халдеева  
Е.В.<sup>2</sup> ..... 153

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ  
ЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА

Филичкина В.А., Макарова А.И. .... 154

НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫЕ СВАЛКИ. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОЛИЧЕСТВЕННОГО  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ОТХОДОВ

Максакова И.Б., Лопушанская Е.М., Чернова Е.Н. .... 155

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ

Максимова В.В., Федюнина Н.Н., Лапина В.А., Моходоева О.Б. .... 156

ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ В АНАЛИЗЕ ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩИХ  
ОБЪЕКТОВ

Моходоева О.Б.<sup>1</sup>, Максимова В.В.<sup>1</sup>, Шишов А.Ю.<sup>2</sup> ..... 157

МИКРОКОНЦЕНТРАТОРЫ НА ОСНОВЕ СИЛАГЕРМЫ-8040 ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Маргарян А.Э., Платонов И.А., Колесниченко И.Н., Новикова Е.А. .... 158

РАСТВОРИМОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТИВОВИРУСНЫХ ВЕЩЕСТВ В СРЕДЕ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Муравьёва Д.А.<sup>1</sup>, Рогачев А.Д.<sup>2</sup>, Яровая О.И.<sup>2</sup>, Шишов А.Ю.<sup>1</sup> ..... 159

ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ МЕТОДОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

А.И. Новиков<sup>1</sup>, А.А. Широкая<sup>1</sup>, М.В. Слуковская<sup>2</sup> ..... 160

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ТЕСТИРОВАНИЯ И КВАЛИФИКАЦИИ ОБРАЩЕННО-ФАЗНЫХ ВЭЖХ КОЛОНОК

Окунская Е. А.<sup>1</sup>, Рудакова Л. В.<sup>2</sup> ..... 161

ОПТИМИЗАЦИЯ СТАДИИ ДЕСОРБЦИИ ПРИ ВЭЖХ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФЕНОЛОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ НА УГОЛЬНЫХ СОРБЕНТАХ

Павлова В.М., Родинков О.В. .... 162

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЭЖХ-АНАЛИЗА ЭКСТРАКТА МАКЛЕИ СЕРДЦЕВИДНОЙ

Павлова Л.В., Платонов И.А., Сулейманова Л.Р., Титова К.Е. .... 163

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТКЛИКА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСТРАКЦИИ ЭВТЕКТИЧЕСКИМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ

Панфилова К.А., Бочко Т.Н., Мелесова М.А., Шишов А.Ю. .... 164

ОЦЕНКА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЧВОЗАЩИТНОГО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В.И. Платонов, Орлова Л.В., Кнурова Г.В., Колесниченко И.Н., Новикова Е.А., Цыганенко Д.А. .... 165

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL НА АГРАРНОМ КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ "АГРО ИНЖЕНЕРИЯ": ОТ NDVI ДО СЕКВЕНИРОВАНИЯ ГЕНОМА

В.И. Платонов, Орлова Л.В., Подлипов В.В., Захарова Е.А., Платонов Вал. И. 166

ИМПРИНТИРОВАННЫЕ БЕЛКИ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МИКРОЦИСТИНОВ

Пресняков К.Ю., Ильичева П.М., Решетник И.А., Пиденко П.С. .... 167

ИССЛЕДОВАНИЕ МИРТА ЛИМОННОГО КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАПИТКОВ

Пушкарев Г.А., Платонов И.А., Павлова Л.В. .... 168

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛЕДОВЫХ КОЛИЧЕСТВ ГАЛОГЕНОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Рябов К.Е., Платонов И.А., Колесниченко И.Н., И.М. Муханова ..... 169

КОРЕЛЛЯЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ В МУЛЬТИПЛЕКСНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Сайфулин М.Ж., Сайфуллин Р.Т. .... 170

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ МАТРИЧНОГО ЭФФЕКТА

|  |     |
|--|-----|
| Самусева А.Г., Бочко Т.Н., Михеев Е.В., Шишов А.Ю. ....  | 171 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АНАЛИТА В ГЛУБОКИХ<br>ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ   |     |
| Сварник Г.В., Бочко Т.Н., Шишов А.Ю. ....  | 172 |
| КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРФТОРОРГАНИЧЕСКИХ<br>СОЕДИНЕНИЙ В ТКАНЯХ ГИДРОБИОНТОВ МЕТОДОМ ВЭЖХ-МС/МС  |     |
| Сорокин А.В., Жедулов А.Е. ....  | 173 |
| СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ СОСТАВА АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ<br>И МНОГОКОМПОНЕНТНОГО РАСТВОРА АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ   |     |
| С.В. Спирин, А.Ю. Михеева, А.И. Крылов .....   | 174 |
| СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ СОСТАВА АЛКИЛКАРБОНАТОВ И<br>МНОГОКОМПОНЕНТНОГО РАСТВОРА АЛКИЛКАРБОНАТОВ   |     |
| С.В. Спирин, А.И. Крылов, А.Ю. Михеева, А.Г. Будко .....   | 175 |
| ЗЕЛЕНЬЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДРЕНАЛИНА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ<br>ВЫДЕЛЕНИЕМ В ГЛУБОКИЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ РАСТВОРИТЕЛИ.  |     |
| Султанова А.А., Мещева Д.А., Крехова Ф.М., Шишов А.Ю. ....   | 176 |
| ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ<br>ПРОТИВОВИРУСНОГО ПРЕПАРАТА УМИФЕНОВИР (АРБИДОЛ)   |     |
| Сыпалов С.А., Варсегов И.С., Данилова Э.В., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В.,<br>Лебедев А.Т. ....   | 177 |
| СОРБЦИОННО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕФТРИАКСОНА С<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРЕМНЕЗЕМА, МОДИФИЦИРОВАННОГО<br>ПОЛИДИМЕТИЛДИАЛИЛАММОНИЕМ  |     |
| Тимофеева А.А., Дидух-Шадрина С.Л., Убодоев Л.А. ....  | 178 |
| РАЗРАБОТКА ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ<br>БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ<br>ПРОЦЕССОВ  |     |
| Толстов М.А., Занин А.А. ....  | 179 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛОНОВОГО ДИАЛЬДЕГИДА В РАСТИТЕЛЬНОМ МАСЛЕ<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ   |     |
| Урсова С.В. <sup>1</sup> , Шишов А.Ю. <sup>1</sup> , Banerjee T. <sup>2</sup> .....  | 180 |
| ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 14 РОДЕНТИЦИДОВ В<br>ПАТОЛОГИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ<br>ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С ТАНДЕМНЫМ МАСС-<br>СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТОРОМ |     |
| Усанова Е.Д. <sup>1</sup> , Халявин И.А. <sup>1</sup> , Толмачева В.В. <sup>1,2</sup> , Мелехин А.О. <sup>1</sup> , Тищенко В.В. <sup>1,3</sup><br>.....                         | 181 |
| ПРИНЦИП УНИВЕРСАЛЬНОГО ВВОДА ПРОБ В<br>ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКУЮ КОЛОНКУ ПОРТАТИВНОГО ПРИБОРА<br>МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСОРБЦИИ  |     |
| В.В. Федотов, М.Н. Балдин, В.М. Грузнов .....  | 182 |

ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ  
СЕРЕБРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В  
ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Фурлетов А.А., Апяри В.В., Дмитриенко С.Г. .... 183

ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 430 ПЕСТИЦИДОВ В ПОДМОРЕ ПЧЕЛ  
МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С ТАНДЕМНЫМ МАСС-  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТОРОМ

Халявин И.А.<sup>1</sup>, Осина Е.С.<sup>1,2</sup>, Баиров А.Л.<sup>1</sup>, Усанова Е.Д.<sup>1</sup>, Тищенко В.В.<sup>1,3</sup> ... 184

ИЗУЧЕНИЕ МЕШАЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ  
РАСТВОРИТЕЛЕЙ ПРИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИ  
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЭКСТРАКТАХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Яцышина В.С., Шишов А.Ю., Низов Е.Р. .... 185



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ  
ОПЕРАТОР  
РОСАТОМ



**Крисмас®**



**ПЕТРОАНАЛИТИКА**

**ЛАБТЕСТ**



**LABTEST**

**ФЛП**  
ФизЛабПрибор



**A90B.COM**

**ИЛИМ**

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ЛАБОРАТОРИИ**  
pe-lab.ru

**EV  
SCIENCE**  
A PART OF 

**ЭП**  
ЭНЕРГОЛАБ



**ЭЛТЕМИКС**  
ELTEMIKS-LAB

**ЛАБОРАТОРИЯ И  
ПРОИЗВОДСТВО**

 **ТЕХНОСФЕРА**  
ПРОГРАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
[www.j-analytics.ru](http://www.j-analytics.ru)  
**Аналитика**  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ