



При поддержке:



ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ



ВСЕРОССИЙСКИЙ СИМПОЗИУМ  
И ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ»

СБОРНИК ТРУДОВ СИМПОЗИУМА



27 ОКТЯБРЯ – 3 НОЯБРЯ, 2021  
г. СЕВАСТОПОЛЬ

При поддержке:



**Российская академия наук**  
**Научный Совет РАН по физической химии**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина**  
**Российской академии наук**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**Федеральный исследовательский центр**  
**«Морской гидрофизический институт РАН»**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**Федеральный исследовательский центр**  
**«Институт биологии южных морей» имени А.О. Ковалевского РАН**



**ВСЕРОССИЙСКИЙ СИМПОЗИУМ И**  
**ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**  
**«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**  
**В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ**  
**ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ»**

**СБОРНИК ТРУДОВ СИМПОЗИУМА**

**27 ОКТЯБРЯ – 3 НОЯБРЯ, 2021**

**г. СЕВАСТОПОЛЬ**

УДК 54  
ББК 24.5  
Ф503

Утверждено к печати Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

Ф503 Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях. Всероссийский симпозиум и школа-конференция молодых ученых, 27 октября – 3 ноября, 2021, Севастополь, Россия. *Сборник трудов симпозиума.* — М.: Издательский дом «Граница», 2021. – 355 с.

**ISBN 978-5-9933-0345-1**

В сборнике представлены материалы Всероссийского симпозиума и школы-конференции молодых ученых «Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях».

Сборник включает тезисы пленарных лекций, устных и стендовых докладов, а также публикации по следующим направлениям: физико-химические методы при междисциплинарных исследованиях; фундаментальные и прикладные вопросы физико-химических процессов на границе раздела фаз; синтез, строение, физико-химические свойства и применение новых сорбционных и хроматографических материалов для промышленного и аналитического применения; научные и практические аспекты разработки и применения сорбционных технологий при переработке природного и техногенного, в том числе, радиоактивного, сырья и отходов; физико-химические механизмы образования комплексов биологически важных продуктов; исследование биогеохимических процессов в Мировом океане; радиохимические методы в исследовании экосистем и анализе объектов окружающей среды; применение биофизических и биохимических методов при мониторинге прибрежной зоны Черного моря; применение физико-химических методов при оценке физических и химических факторов загрязнения окружающей среды; применение физико-химических методов для изучения гидробионтов и культур сельскохозяйственного назначения; физико-химические методы при оценке качества пищевой продукции, фармацевтической продукции, строительных материалов и других объектов исследований; история физико-химических методов (круглый стол); применение физико-химических методов при оценке физических и химических факторов загрязнения окружающей среды.

Тезисы докладов представлены в авторской редакции.

Для широкого круга химиков, физиков, экологов, специалистов научно-исследовательских групп, организаций, аспирантов и студентов.

ISBN 978-5-9933-0345-1

© Авторы научных статей, 2021

© «Граница», 2021



**ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КОМИТЕТ ПО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЮ И ЭКОЛОГИИ**

109012, Москва, ул. Ильинка, д.6, стр.1. <http://www.tpprf.ru>. тел.: (495) 620-00-55, факс: (495) 620-01-66

---

№ 10К/0016

« 24 » сентября 2021 года

Уважаемые коллеги!

От имени Комитета ТПП РФ по природопользованию и экологии приветствую участников симпозиума «ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ».

Только широкое междисциплинарное взаимодействие ученых, специалистов и предпринимателей позволит бережно и рационально использовать природные ресурсы и производить качественную и безопасную продукцию не принося вред окружающей среде.

Комитет ТПП РФ по природопользованию и экологии полагает, что предлагаемые для обсуждения на конференции вопросы имеют не только академическое, но и практическое значение для реализации государственной политики в области охраны окружающей среды, а также для бизнеса, так как ученые могут предложить новые подходы, технологии и решения на стыке химии и биологии в области создания нового хроматографического оборудования, применения сорбционных технологий при переработке природного и техногенного, в том числе радиоактивного, сырья и отходов и в других областях.

Желаем организаторам и участникам симпозиума успешной работы.

Председатель Комитета ТПП РФ  
по природопользованию и экологии,  
заслуженный эколог РФ

Алексеев С.М.

## СПИСОК УСТНЫХ ДОКЛАДОВ

- 1 *Буряк А.К., Карнаева А.Е., Матюшин Д.Д., Миненкова И.А., Пыцкий И.С.*

**ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ В  
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

- 2 *Даванков В.А.*

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ И СЛУЧАЙНОСТИ НА ПУТИ  
ЭВОЛЮЦИИ МАТЕРИИ ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО  
ЖИВОЙ СУБСТАНЦИИ (С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ  
ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ)**

- 3 *Долгоносков А.М.*

**ЕЩЕ РАЗ О ХАРАКТЕРЕ ИОНООБМЕННЫХ СИЛ**

- 4 *Хамизов Р.Х.*

**САМОПОДДЕРЖИВАЮЩИЕСЯ ПРОЦЕССЫ УМЯГЧЕНИЯ  
— ОПРЕСНЕНИЯ СОЛЕННЫХ ВОД**

- 5 *Довгий И.И., Тананаев И.Г.*

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА В  
РАДИОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МИРОВОГО  
ОКЕАНА**

- 6 *Дроздов В.И.*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ  
ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ**

- 7 *Боголицын К.Г., Москалюк Е.А., Шульгина Е.В.*

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ  
ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ  
КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД ЦБП**

8 *Паршина А.Э., Боголицын К.Г.*

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЛКОВО-ПОЛИСАХАРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ АРКТИЧЕСКИХ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ**

9 *Крылов В.А.*

**25 ЛЕТ РАЗВИТИЯ ЖИДКОСТНО-ЖИДКОСТНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ**

10 *Селеменев В.Ф., Рудаков О.Б.*

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ КНИГИ «НАСЛЕДИЕ М. С. ЦВЕТА В ТРУДАХ ВОРОНЕЖСКИХ ХИМИКОВ»**

11 *Варфоломеева В.В., Терентьев А.В.*

**КАТАЛИТИЧЕСКАЯ РОЛЬ ВОДОРОДНЫХ СВЯЗЕЙ В ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ**

12 *Каламбет Ю.А., Козьмин Ю.П.*

**СБОР И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В ХРОМАТОГРАФИИ**

13 *Беляков М.В., Каракашев Г.В., Сухов И.Б., Дашиева В.Ж., Сибаров Д.А., Шестакова Н.Н.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНАЛЬГЕТИКА КВ-R7943 В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ**

- 14 *Баторова Г.Н., Норбоева Б.С., Батуева И.С.*
- ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКОТОКСИКАНТОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ РИСКА**
- 15 *Славинская Г.В., Куренкова О.В.*
- ВОЗМОЖНОСТЬ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ АНИОННЫХ ПАВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА**
- 16 *Козловская О.Н., Шибецкая Ю.Г., Бежин Н.А., Довгий И.И.*
- СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ИЗОТОПОВ РАДИЯ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ**
- 17 *Довгий И.И., Бежин Н.А.*
- ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ СОРБЕНТАМИ ИМПРЕГНИРОВАННОГО ТИПА НА ОСНОВЕ КРАУН-ЭФИРОВ**
- 18 *Шибецкая Ю.Г., Бежин Н.А., Довгий И.И.*
- СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ТОРИЯ-234 ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ**
- 19 *Селеменев В.Ф., Рудакова Л.В., Рудаков Я.О., Рудаков О.Б.*
- ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ**
- 20 *Зенкевич И.Г., Никитина Д.А., Деруши А.*
- ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ОФ ВЭЖХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНЫХ СООТНОШЕНИЙ**



- 21 *Бежин Н.А., Довгий И.И., Милютин В.В.*  
**КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ЦЕЗИЯ И СТРОНЦИЯ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ СОРБЕНТАМИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ**
- 22 *Яковлева Е.Ю., Патрушев Ю.В.*  
**АНАЛИЗ УГЛЕВОДОРОДОВ, МЕТАНОЛА И СЕРНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПОРИСТОСЛОЙНЫХ КАПИЛЛЯРНЫХ КОЛОНКАХ С НЕПОЛЯРНОЙ ФАЗОЙ**
- 23 *Зайцева Е.А., Долгоносов А.М.*  
**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НОВОГО МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ НЕПОДВИЖНЫХ ФАЗ**
- 24 *Гуськов В.Ю., Аллаярова Д.А., Шаяхметова Р.Х., Шарафутдинова Ю.Ф.*  
**МЕХАНИЗМ ХИРАЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ АДСОРБЕНТОВ С СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОЙ ХИРАЛЬНОСТЬЮ**
- 25 *Патрушев Ю.В., Сидельников В.Н.*  
**КОМПЛЕКСНАЯ ДВУМЕРНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ В АНАЛИЗЕ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ**
- 26 *Шашков М.В., Сотникова Ю.С., Долгушев П.А.*  
**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ ДВУМЕРНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**
- 27 *Хоменко Т.Ю., Сигора Г.А.*  
**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

28 *Полякова Н.В., Стеблевская Н.И.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МОРСКИХ ГИДРОБИОНТОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА**

29 *Драньков А.Н., Балыбина В.А., Тананаев И.Г., Папынов Е.К.*

**СИНТЕЗ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ВОЛЬФРАМА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ Sr-90 ИЗ ЖИДКИХ СРЕД**

30 *Балыбина В.А., Драньков А.Н., Тананаев И.Г., Папынов Е.К.*

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ ФЕРРОЦИАНИДОВ Ni-K И Zn-K ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ Cs-137 ИЗ ВОДНЫХ СРЕД**

31 *Малахова Л.В., Лобко В.В., Мурашова А.И., Железнова С.Н.*

**ОТКЛИК ЗЕЛеной ВОДоросли *ULVA RIGIDA* НА ПОЯВЛЕНИЕ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ БИСФЕНОЛА А В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА**

32 *Токарь Э.А., Маслов К.В., Тананаев И.Г., Егорин А.М.*

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ УРАНА С ПОМОЩЬЮ Se-ПРОИЗВОДНЫХ АМИДОКСИМОВ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

33 *Карл Л.Э., Лащенко Т.Н.*

**ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ ОБЪЕКТА ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ**

34 *Мирзоева Н.Ю., Архипова С.И., Мосейченко И.Н., Мирошниченко О.Н., Проскурнин В.Ю., Терещенко Н.Н., Стецюк А.П.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЯДЕРНОЙ ГЕОХРОНОЛОГИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ СЕДИМЕНТАЦИИ И ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМАХ СОЛЕННЫХ ОЗЕР КРЫМА**

- 35 *Мирошниченко О.Н., Сидоров И.Г., Проскурнин В.Ю.*
- ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  $^{137}\text{Cs}$   
В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ  
ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2013-2020 гг.**
- 36 *Хоружий Д.С.*
- ПРЯМОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ  
УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И КОНЦЕНТРАЦИИ  
НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА МЕТОДОМ  
ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**
- 37 *Шапошник А.В., Москалев П.В., Звягин А.А.*
- ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ**
- 38 *Проскурнин В.Ю., Параскив А.А.,  
Чужикова-Проскурнина О.Д., Терещенко Н.Н.*
- ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ  
ПОТОКОВ СЕДИМЕНТАЦИОННОГО  
ДЕПОНИРОВАНИЯ  $^{241}\text{Am}$  В ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ  
ЧЕРНОГО МОРЯ**
- 39 *Венглинская Е.Э.*
- ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЦИИ  $^{137}\text{Cs}$ ,  
 $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$  ИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ЖРО  
МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ГОРЮЧИМИ СЛАНЦАМИ  
ОТ ОТНОШЕНИЯ ОБЪЕМА РАСТВОРА К МАССЕ  
СОРБЕНТА**
- 40 *Шарафутдинова Ю.Ф., Ганиева А.Ш., Гуськов В.Ю.*
- РАЗДЕЛЕНИЕ РАЦЕМАТА ПЕНТАНОЛА-2 НА  
ХИРАЛЬНОЙ НЕПОДВИЖНОЙ ФАЗЕ НА ОСНОВЕ  
ГОМОХИРАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  
ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ СОЗРЕВАНИЯ ВИЕДМЫ**

- 41 *Семенюк Д.Ф., Наливкин И.А., Семенова А.М.*
- СПЕКТРОСКОПИЯ ИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ  
В БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ**
- 42 *Губанова Ю.К., Карл Л.Э., Кайгородов Е.И., Лащеннова Т.Н.*
- РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА  
ПОДЗЕМНЫХ ВОД МОСКОВСКОГО РЕГИОНА**
- 43 *Фролова М.А., Чуклин А.А., Довгий И.И., Тананаев И.Г.*
- АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КАК ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ  
МЕТОД ПРИ ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**
- 44 *Дорожко Е.В., Сакиб М., Соломоненко А.Н., Короткова Е.И.,  
Липских О.И., Воронова О.А., Логунова Д.В.*
- ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАРБАРИЛА НА ЭЛЕКТРОДЕ,  
МОДИФИЦИРОВАННОМ ВОССТАНОВЛЕННЫМ  
ОКСИДОМ ГРАФЕНА**
- 45 *Москалев П.В., Шапошник А.В.*
- ПРОВЕДЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ГАЗОВ С  
ПОМОЩЬЮ МАЛОСЕЛЕКТИВНЫХ СЕНСОРОВ**
- 46 *Соловьева Д.А.*
- РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ  
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ НЕАВАРИЙНЫХ  
МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ**
- 47 *Лебедев Я.О., Дрыгваль А.В., Гусев Е.С., Мартыненко Н.А.,  
Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П.*
- КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МАСС-  
СПЕКТРОМЕТРИИ И БАРКОДИРОВАНИЯ ДНК ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ МАЛОИЗУЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО ВЬЕТНАМА)**

- 48 *Веляев Ю.О., Майоров Д.В.*
- О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ,  
ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТКИ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ, В КАЧЕСТВЕ ЭНТЕРОСОРБЕНТА**
- 49 *Фам К.Н., Лебедев Я.О., Дрыгваль А.В., Горбунов Р.В.*
- ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ МЕТОДОМ МАСС-  
СПЕКТРОМЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ  
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА БИДУП-НУЙБА (ВЬЕТНАМ)**
- 50 *Терещенко Н.Н., Параскив А.А. Проскурнин В.Ю.*
- ТЕХНОГЕННЫЕ АЛЬФА-ИЗЛУЧАЮЩИЕ РАДИОИЗОТОПЫ  
– ТРАССЕРЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В  
ЧЕРНОМ МОРЕ**
- 51 *Куринная Ю.С., Гуров К.И., Орехова Н.А.*
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛЯННОГО Au-Hg  
МИКРОЭЛЕКТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАМЫШОВОЙ БУХТЫ**
- 52 *Шульгин В.Ф., Забегаев И.А.*
- ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗАТОРА  
АН-7529М ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ**
- 53 *Стецюк А.П., Рылькова О.А., Поповичев В.Н.*
- КОМБИНИРОВАННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ РТУТИ  
НА МОРСКИЕ МИКРОВОДОРОСЛИ**
- 54 *Платонов И.А., Новикова Е.А., Карсункина А.С.*
- СОЗДАНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-СЛОЙНЫХ СОРБЦИОННЫХ  
СИСТЕМ С ВАРЬИРУЕМОЙ ПОРОЗНОСТЬЮ**

- 55 *Коренькова О.Б., Радкевич А.В., Вороник Н.И.*
- ИЗУЧЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ  
РУТЕНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ В ПРИСУТСТВИИ  
БОРНОЙ КИСЛОТЫ**
- 56 *Роговая И.В., Зувев Б.К.*
- ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ДЛЯ  
ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ВОЛЖСКОЙ ВОДЫ И ЕГО  
ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ СБРОСЕ ЧЕРЕЗ ПЛОТИНУ  
ИВАНЬКОВСКОЙ ГЭС**
- 57 *Виноградов К.Ю., Сухова Е.А., Шафигулин Р.В., Буланова А.В.*
- КВАНТОВО ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ РЕАКЦИИ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
КИСЛОРОДА**
- 58 *Орличеня В.В., Перевозникова А.Ю., Соловов Р.Д.*
- ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОРИЛИРОВАННОЙ ХЛОПКОВОЙ  
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ДИОКСИДА ХЛОРА И  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО КОЛИЧЕСТВА В ВОЗДУХЕ**
- 59 *Панина М.С., Носкова Т.В., Подчуфарова Д.П., Папина Т.С.*
- ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕКЕ ОБЬ И ЕЁ  
ПРИТОКАХ**
- 60 *Шоль Л.В., Эйрих С.С.*
- АТОМНО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ И МАСС-СПЕКТРАЛЬНЫЕ  
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ  
РТУТИ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**
- 61 *Зарубо А.М., Радкевич А.В., Вороник Н.И.*
- ЗАВИСИМОСТЬ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ  $^{137}\text{Cs}$ ,  
 $^{60}\text{Co}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  В МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ БАССЕЙНА  
ВЫДЕРЖКИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ОТ ВРЕМЕНИ  
СТАРЕНИЯ**

- 62 *Еремина Т.С., Мухаметова Л.И., Еремин С.А.*
- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРАМФЕНИКОЛА В СТОЧНЫХ ВОДАХ И ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМАХ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ИММУНОАНАЛИЗА**
- 63 *Жердев Д. О., Мухаметова Л. И., Еремин С. А.*
- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНГИЦИДОВ КЛАССА АНИЛИНОПИРИМИДИНОВ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ИММУНОАНАЛИЗА**
- 64 *Красиков В.Д., Малахова И.И., Кириллов А.С., Горшков Н.И., Боголицын К.Г.*
- ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ БИОПОЛИМЕРОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**
- 65 *Шимолин А.Ю., Собина А.В.*
- СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ХРОМАТОГРАФИИ, ПРОСЛЕЖИВАЕМЫЕ К ГОСУДАРСТВЕННОМУ ПЕРВИЧНОМУ ЭТАЛОНУ ГЭТ 176-2019**
- 66 *Яшин Я.И.*
- ЭВОЛЮЦИЯ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ (ЖХ) 2003-2021 ГГ.**
- 67 *Шолохова А. Ю., Матюшин Д.Д., Буряк А.К.*
- НЕЦЕЛЕВОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ СМЕСЕЙ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ХЕМОИНФОРМАТИКИ**
- 68 *Прокунин С.В., Добровольский В.И., Веньгина Д.А.*
- МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЖИДКИХ СРЕД**

- 69 *Прокунин С.В., Добровольский В.И., Веньгина Д.А.*
- СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ  
ВНИИФТРИ В ОБЛАСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ  
ИЗМЕРЕНИЙ**
- 70 *Нестеренко П.Н.*
- ПРЯМОЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В МОРСКОЙ  
ВОДЕ. СТРОНЦИЙ ИЗ ФУКУСИМЫ, ВЛИЯНИЕ  
ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА КОРАЛЛОВЫЕ  
РИФЫ И ПРОЧЕЕ**
- 71 *Дробь А.А., Васияров Г.Г., Титова Е.В., Староверов С.М.*
- АНАЛИТИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ  
ХРОМАТОГРАФИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ АНТИОКСИДАНТОВ**
- 72 *Федорова Н.Е., Ивченкова А.А., Бондарева Л.Г.*
- ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
КОНТАМИНАНТОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ**
- 73 *Слепченко Г.Б., Колпакова Н.А.*
- РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
АНАЛИЗА В ТОМСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ**
- 74 *Егоров В.Н.*
- БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИВОГО И КОСНОГО ВЕЩЕСТВА  
С РАДИОАКТИВНЫМИ И ХИМИЧЕСКИМИ  
КОМПОНЕНТАМИ МОРСКОЙ СРЕДЫ**



## СПИСОК СТЕНДОВЫХ ДОКЛАДОВ

75 *Хальзова С.А., Зяблов А.Н.*

**СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
КОНСТАНТ ПРОТОЛИЗА АЗОКРАСИТЕЛЕЙ**

76 *Шановалова А.А., Зяблов А.Н.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕФАЗОЛИНА В МОЛОКЕ  
МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ  
СЕНСОРАМИ**

77 *Рудаков Я.О., Хорохордин А.М., Рудаков О.Б., Садыков С.О.*

**ВНЕЛАБОРАТОРНЫЙ ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ  
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТОВ**

78 *Селеменев В.Ф., Рудакова Л.В., Рудаков Я.О., Рудаков О.Б.*

**ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА  
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ**

79 *Бучельников А.С., Евстигнеев М.П., Бондарь В.С.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО ЧИСЛА АГРЕГАЦИИ  
ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ В ВОДНОМ  
РАСТВОРЕ ПО ДАННЫМ ДИНАМИЧЕСКОГО  
СВЕТОРАССЕЯНИЯ**

80 *Липских О.И., Короткова Е.И., Петришина И.В., Павленко  
М., Воронова О.А., Дорожко Е.В., Липских М.В.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ КРАСИТЕЛЯ  
АЛИЗАРИНА КРАСНОГО S НА МОДИФИЦИРОВАННОМ  
ЭЛЕКТРОДЕ**

81 *Ананьева Г.С., Вагапова Р.С., Назипов М.Р.*

**ИОННАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ С ОНЛАЙН  
КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ В АНАЛИЗЕ БИСФЕНОЛА-А**

82 *Бутырская Е.В., Ле Д.Т.*

**ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АДСОРБЦИИ ЭНАНТИОМЕРОВ  
ГИСТИДИНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НА  
УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ В РАМКАХ  
КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ АДСОРБЦИИ**

83 *Ананьева Г.С., Ваганова Р.С., Назипов М.Р.*

**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
АНАЛИЗА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ПАО  
«КАЗАНЬОРГСИНТЕЗ»**

84 *Ананьева Г.С., Ваганова Р.С., Назипов М.Р.*

**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
АНАЛИЗА ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕАГЕНТНОЙ  
ОБРАБОТКИ ХИМЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОДЫ  
ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛЕНА-ПРОПИЛЕНА**

85 *Терентьев А.В., Варфоломеева В.В.*

**ОСОБЕННОСТИ АДСОРБЦИИ ГИДРАЗИНА И ЕГО  
ПРОИЗВОДНЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ  
ГРАФИТИРОВАННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ САЖИ**

86 *Никитина Д.А., Кушакова А.С., Зенкевич И.Г.*

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ  
ГЕНОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ  
АДЕНОАССОЦИИРОВАННЫХ ВИРУСНЫХ ВЕКТОРОВ  
МЕТОДАМИ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

87 *Бизина Е.В., Фарафонова О.В., Ермолаева Т.Н.*

**ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИБИОТИКОВ В ОБЪЕКТАХ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

- 88 *Маркова Е.С., Пирогов А.В., Садовникова А.А., Лагутин А.А., Попик М.В., Шпигун О.А.*

**ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА НОВОМ УГЛЕРОДНОМ СОРБЕНТЕ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА МЕТОДОМ ТДС/ГХ/МС**

- 89 *Крестьянникова Е.В., Ларина Н.С., Канюкова А.М.*

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В МАТРИЦЕ ВОЛОС ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С ФЛУОРИМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ**

- 90 *Кайгородов Е.И., Карл Л.Э., Губанова Ю.К.*

**МОНИТОРИНГ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА В ДЕТСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО РАДОНООПАСНОЙ ТЕРРИТОРИИ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ**

- 91 *Синяева Л.А., Карпов С.И., Беланова Н.А., Селеменев В.Ф., Roessner F.*

**СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕЗО-МАКРОПОРИСТЫХ КРЕМНЕЗЕМОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМ ВЕЩЕСТВАМ**

- 92 *Рыжкин С.А., Финкельштейн Е.Е., Курбатова С.В.*

**ОСОБЕННОСТИ СОРБЦИИ АЛКОКСИПРОИЗВОДНЫХ ХИНОЛИНА В УСЛОВИЯХ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

- 93 *Шемякина А.О., Чикурова Н.Ю., Чернобровкина А.В.*

**УСТАНОВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ УДЕРЖИВАНИЯ НУКЛЕОЗИДОВ И АЗОТИСТЫХ ОСНОВАНИЙ В РЕЖИМЕ ГИДРОФИЛЬНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ НА СИЛИКАГЕЛЕ, МОДИФИЦИРОВАННОМ ПО РЕАКЦИИ УГИ**

- 94 *Бекетов В.И., Бельков М.В., Зоров Н.Б., Ланин С.Н.,  
Нестеренко П.Н., Першукевич П.П.*

**ОЦЕНКА ПОЛЯРНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ ЖИДКИХ  
ФАЗ ДЛЯ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ И  
СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ**

- 95 *Соломоненко А.Н., Дорожко Е.В., Короткова Е.И.*

**ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
КАРБОФУРАНА НА МОДИФИЦИРОВАННОМ  
ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМ СОРБЕНТОМ ЭЛЕКТРОДЕ**

- 96 *Асеева Н.В., Короткова Е.И.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 1,4-НАФТОХИНОНА  
МЕТОДОМ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ**

- 97 *Параскив А.А., Проскурнин В.Ю., Сидоров И.Г.,  
Мирзоева Н.Ю., Терещенко Н.Н.*

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И АНТРОПОГЕННЫЕ  
РАДИОИЗОТОПЫ В АТЛАНТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ  
АНТАРКТИКИ**

- 98 *Попов А.С., Васильев Ф.А., Шпигун О.А., Чернобровкина А.В.*

**ИЗУЧЕНИЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ  
АЛКИЛФОСФОНОВЫХ КИСЛОТ В РЕЖИМЕ  
ГИДРОФИЛЬНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ НА НОВОМ  
ДИОЛЬНОМ СОРБЕНТЕ, ПОЛУЧЕННОМ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИСТИРОЛ-ДИВИНИЛБЕНЗОЛА**

- 99 *Постников В.А., Крайский А.В., Умралиева А.Н., Иванов А.В.*

**ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ СЕНСОР, СОДЕРЖАЩИЙ  
ОДНОВРЕМЕННО ДВЕ ГОЛОГРАММЫ РАЗНЫХ  
ЦВЕТОВ ОДИНАКОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ОДНОМ  
ПОЛИМЕРНОМ НОСИТЕЛЕ**

100 *Дзарданов Д.В., Полунина И.А.*

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРИМЕНЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

101 *Чикурова Н.Ю., Беляева А.А., Чернобровкина А.В.,  
Смоленков А.Д., Шпигун О.А.*

**СИНТЕЗ, ИЗУЧЕНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ  
ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ГИДРОФИЛЬНОЙ  
ХРОМАТОГРАФИИ С НОВЫМИ ТИПАМИ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ**

102 *Горбовская А.В., Петрова Е.К., Ужель А.С., Шпигун О.А.,  
Затираха А.В.*

**НОВЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ С ПОЛИМЕРНЫМИ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СЛОЯМИ ДЛЯ ИОННОЙ  
ХРОМАТОГРАФИИ И ИХ АНАЛИТИЧЕСКОЕ  
ПРИМЕНЕНИЕ**

103 *Чучина В.А., Кононов А.С., Губаль А.Р., Лялькин Е.А.,  
Ганеев А.А.*

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО НОСА ДЛЯ  
АНАЛИЗА ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В  
ВОЗДУХЕ**

104 *Боровикова С.А., Шолохова А.Ю., Буряк А.К.*

**ИОНИЗАЦИЯ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ  
ЛАЗЕРНОЙ ДЕСОРБЦИИ/ИОНИЗАЦИИ**

105 *Ларина Н.С., Шуплецова П.А., Белоусова Ю.О., Ларин С.И.*

**ОЦЕНКА ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА РЕКИ ИШИМ**

- 106 *Лаптев А.Ю., Шеболкина О.А., Крашенинина С.В.,  
Рожманова Н.Б., Нестеренко П.Н.*

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ  
СОРБЕНТОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ САХАРОВ В  
УСЛОВИЯХ ГИДРОФИЛЬНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

- 107 *Никашина В.А.*

**ПРИРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ  
(КЛИНОПТИЛОЛИТСОДЕРЖАЩИЕ ТУФЫ) КАК  
СРЕДСТВО ДЛЯ РЕШЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

- 108 *Хабаров В.Б.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ШПОНА БЕРЁЗЫ И УДЕЛЬНЫХ  
ВЫБРОСОВ ФОРМАЛЬДЕГИДА И МЕТАНОЛА ПРИ  
ПРОИЗВОДСТВЕ ШПОНА МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ  
ХРОМАТОГРАФИИ**

- 109 *Хабаров В.Б., Лебедев С.Н.*

**О НОРМАТИВНОМ ПРАВОВОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ  
ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА «О БЕЗОПАСНОСТИ  
МЕБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ» ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  
САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
МЕБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

- 110 *Хоружий Д.С.*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ  
ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ**

- 111 *Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
В ОЦЕНКЕ НИЗКОДОЗОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА  
ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ**

112 *Фам К.Н., Слепченко Г.Б.*

**СОВМЕСТНОЕ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЛЕНА И МЫШЬЯКА НА ОРГАНО-  
МОДИФИЦИРОВАННОМ ГРАФИТОВОМ ЭЛЕКТРОДЕ**

113 *Меренкова А.А., Зяблов А.Н.*

**АНАЛИЗ ФОРМАЛЬДЕГИДА В СТОКАХ  
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ  
МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПЬЕЗОСЕНСОРАМИ**

113-1 *Лузанова В.Д., Рожманова Н.Б., Ланин С.Н., Нестеренко П.Н.*

**ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ШИРОКОПОРИСТОГО ЦЕОЛИТА 13X**

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ В МАТЕРИАЛАХ КОНФЕРЕНЦИИ

114 *Нестерович Д.С., Зуев Б.К.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ  
КОНЦЕНТРАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ,  
НАНОСИМЫХ НА КОЖУ ЧЕЛОВЕКА**

115 *Кудрявцева А.Д., Бродский Е.С.*

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПХДД/Ф В ЮЖНОЙ  
ЧАСТИ ВЬЕТНАМА**

116 *Жумаев М.Т., Солиев Л., Махмадов Х.Р., Олимджонова Н.В.*

**РАВНОВЕСНЫЕ ТВЁРДЫЕ ФАЗЫ ЧЕТВЕРНЫХ  
НОНВАРИАНТНЫХ ТОЧЕК СИСТЕМЫ  
Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O ПРИ 0<sup>0</sup>C**

117 *Хрущев А.Ю., Акмаев Э.Р., Ходькова Ю.С., Лихих Т.Н.,  
Колячкина С.В., Сироткина В.П.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ  
МАЛАХИТОВОГО ЗЕЛЕНОВОГО В ВОДОЕМАХ  
МЕТОДОМ ГКР**

118 *Ноибова Н.З., Солиев Л., Жумаев М.Т., Ибрагимов Б.М.,  
Музафарова Д.З.*

**КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗОВАНИЯ  
РАВНОВЕСНЫХ ТВЁРДЫХ ФАЗ СИСТЕМЫ  
Na,Ca||CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O ПРИ 25<sup>0</sup>C**

119 *Литвинова А.О., Янковская В.С.*

**МОНИТОРИНГ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ В  
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО  
РЕГИОНА**



120 *Федорова О.В., Чекусова П.И., Зубаирова К.Ф.,  
Машарова В.А., Кочкина Г.В.*

**СОРБЦИЯ Sr-90 ИЗ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ  
ВОД ФИТОСОРБЕНТАМИ**

121 *Крохин Г.Б.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

122 *Бердникова Т.В., Ермаков В.В.*

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИСТАНЦИОННОГО  
СПЕКТРАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННО  
НАГРУЖЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

123 *Холин А.Ю., Курбатова С.В.*

**ГАЗОВАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ  
АРОМАТИЧЕСКИХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ**

124 *Ларькина М.В., Егорченкова О.Е., Синецкая Т.А.*

**К ВОПРОСУ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ  
В ПОЧВЕ И ВОДЕ**

125 *Кузанын Л.А., Айрапетян А.А., Бадалян В.А., Авакян М.М.,  
Григорян А.А.*

**ОБНАРУЖЕНИЯ МЕЛАМИНА В БАД-АХ И  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОДУКТАХ**

126 *Торосян Н.Р., Еганян Л.Р., Абгарян А.А., Григорян А.А.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ  
В РЫБНОМ ЖИРЕ И БАД-ах МЕТОДОМ ГХ-МС**

- 127 *Токранова Е.О., Шафигулин Р.В., Токранов А.А.,  
Буланова А.В.*

**АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕЗОПОРИСТЫХ  
СИЛИКАГЕЛЕЙ, ДОПИРОВАННЫХ ЛАНТАНОМ И  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ Ni, Cu и Ag**

- 128 *Платонов И.А., Аникина М.А., Скребнева К.С.,  
Платонова Т.В.*

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ  
АКТОПЛАЗМИНА**

- 129 *Копылова А.А., Разницына В.М., Шафигулин Р.В.,  
Буланова А.В.*

**ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ НЕКОТОРЫХ  
БЕНЗИМИДАЗОЛОВ ИЗ ЖИДКИХ РАСТВОРОВ,  
СОДЕРЖАЩИХ ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ, НА  
ГЕКСАДЕЦИЛСИЛИКАГЕЛЕ**

- 130 *Мироненко Н.В., Селеменев В.Ф.*

**АНАЛИЗ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХСЯ ПОЛОС  
ПОГЛОЩЕНИЯ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ  
КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТРИТЕРПЕНОВЫХ ГЛИКОЗИДОВ В ВОДНЫХ  
РАСТВОРАХ И ЖИДКИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМАХ  
МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ  
СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ**

- 131 *Симакина Я.И., Кузьмина Т.Г., Сенин В.Г., Михайлова А.В.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
ПОЛИМЕРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ  
АКРИЛАМИДА СПЕКТРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ  
АНАЛИЗА**

- 132 *Платонов И.А., Павлова Л.В., Муханова И.М.,  
Колесниченко И.Н.*

**СУБКРИТИЧЕСКАЯ ВОДА В КАЧЕСТВЕ ПОДВИЖНОЙ  
ФАЗЫ ПРИ ВЭЖХ АНАЛИЗЕ**

- 133 *Ельникова А.С., Кулешова В.А., Колганова Т.С.,  
Паршина А.В., Сафронова Е.Ю., Бобрешова О.В.*

**ПЕРФТОРИРОВАННЫЕ  
СУЛЬФОКАТИОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ  
НАНОТРУБКАМИ С ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОЙ  
ПОВЕРХНОСТЬЮ, ДЛЯ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА СУЛЬФАНИЛАМИДНЫХ ПРЕПАРАТОВ**

- 134 *Шмелев А.А., Шафигулин Р.В., Буланова А.В.*

**ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
МЕЗОПОРИСТОГО ДИОКСИДА ТИТАНА,  
ДОПИРОВАННОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ  
МЕТАЛЛАМИ В РЕАКЦИИ ФОТООКИСЛЕНИЯ  
АЛИЗАРИНА КРАСНОГО S**

- 135 *Толочилин Н.А., Иванова Р.Э., Онучак Л.А.*

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОФАЗНОГО  
ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ  
ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ  
СЕМЕЙСТВА ЯСНОТКОВЫЕ**

- 136 *Мартина Ю.В., Парийчук М.Ю., Кулагина Е.И.,  
Копытин К.А., Онучак Л.А.*

**ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ  
СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛ-  
ОРГАНИЧЕСКОГО КАРКАСНОГО ПОЛИМЕРА ZIF-8**

- 137 *Берлина А.Н., Комова Н.С., Шанин И.А., Каримова М.Р., Мухаметова Л.И., Жердев А.В., Дзантиев Б.Б., Еремин С.А.*

**РАЗРАБОТКА ИММУНОАНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФТАЛАТОВ В ПРОБАХ ВОДЫ**

- 138 *Савельева Ю.О., Гапчина А.В., Тарабанько И.Е., Копытин К.А.*

**ИЗУЧЕНИЕ АДсорбции паров органических соединений бислоем «ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ – НЕЗАМЕЩЕННЫЙ β-ЦИКЛОДЕКСТРИН»**

- 139 *Серебренникова К.В., Жердев А.В., Дзантиев Б.Б.*

**ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ – МАРКЕРЫ ДЛЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИММУНОДЕТЕКЦИИ ТОКСИЧНЫХ КОНТАМИНАНТ**

- 140 *Хабтемариам Г.З., Паршина А.В., Колганова Т.С., Сафронова Е.Ю., Бобрешова О.В.*

**ПЕРФТОРИРОВАННЫЕ СУЛЬФОКАТИОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ МФ-4СК, СОДЕРЖАЩИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ ОКСИДЫ, ДЛЯ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКОТИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТАХ**

- 141 *Подолова Е.А., Ханина М.А., Лежнина М.Г., Кузнецова Ю.А.*

**СОРБЦИОННО-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В ВОДАХ**

142 *Волков А.И., Кологрива У.А., Краснянская И.А., Стулов П.Е.*

**МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ОБЖИГА  
ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ**

143 *Волков А.И., Кологрива У.А.*

**РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ  
ВАНАДИЕВОГО ШЛАМА И КЕКА**

144 *Фадейкина И.Н., Мухина И.В., Зуев Б.К., Ерилина Д.А.*

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОБООТБОРНИКА ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОБ  
ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА  
ФАЗ**

145 *Иванова Р.Э., Толочилин Н.А., Онучак Л.А.*

**ПАРОФАЗНЫЙ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ  
АНАЛИЗ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ  
ФЕНОФАЗ РАСТЕНИЯ «МОНАРДА ДУДЧАТАЯ»**

146 *Кураева Ю.Г., Горбачёва Е.С., Фадеева Н.В., Онучак Л.А.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ  
ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С  
ПЕРМЕТИЛИРОВАННЫМ  $\beta$ -ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ В  
ПОЛИФЕНИЛМЕТИЛСИЛОКСАНЕ МЕТОДОМ  
ОБРАЩЕННОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

147 *Каменская А.И., Кураева Ю.Г., Чернова А.А., Онучак Л.А.*

**КОМПЛЕКСЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТОРАСЕМИДА С  
ГИДРОКСИПРОПИЛ- $\beta$ -ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ: УФ-  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ И ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОЕ  
ИССЛЕДОВАНИЕ**

- 148      Михеева Е.Е., Ларина Н.С.
- ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ РЕКОНСТРУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРОШЛОМ**
- 149      *Крылов В.А., Мосягин П.В., Панфилова Е.А.*
- ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФИРОВ О-ФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ В ЭТИЛОВОМ СПИРТЕ И КРЕПКИХ СПИРТНЫХ НАПИТКАХ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ МИКРОЭКСТРАКЦИОННЫМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ С ФЛОТАЦИОННОЙ ДЕЭМУЛЬСИФИКАЦИЕЙ**
- 150      *Низомов И., Солиев Л., Шерзод С.*
- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ СИСТЕМЫ Na,K||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O ПРИ 0<sup>0</sup>C В ОБЛАСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГЛАЗЕРИТА (3K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> × Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**
- 151      *Грибова Е.Д., Зувев Б.К., Полотнянко Н.А.*
- ПРОБООТБОР ПЛЕНОК НЕФТЕПРОДУКТОВ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ АНАЛИЗ МЕТОДОМ ХРОМАТО–МАСС–СПЕКТРОМЕТРИИ**
- 152      *Бухарова Е.С., Цыганкова А.Р., Логашенко Е.Б., Гусельникова Т.Я.*
- ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНО- И МИКРОЧАСТИЦ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**
- 153      *Карпицкий Д.А., Бессонова Е.А., Карцова Л.А.*
- ПОЛУЧЕНИЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ ФЛАВОНОИДОВ И АМИНОКИСЛОТ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ *IRIS SIBIRICA L.* ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СЫР**

154 *Абакумова Д.Д., Темердашев З.А., Абакумов П.Г.*

**ИСП-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЛОВА  
В ВОДАХ АЗОВСКОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ**

155 *Сенченкова Е.М.*

**К 75-ЛЕТИЮ ПЕРОВОГО ИЗДАНИЯ ИЗБРАННЫХ  
РАБОТ М.С. ЦВЕТА ПО ХРОМАТОГРАФИИ**

156 *Орлов Ю.Л., Шадеркин И.А., Орлова Н.Г., Рябков И.В.,  
Лебедев Г.С.*

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И  
ТЕЛЕМЕДИЦИНА**

157 *Орлова Н.Г., Кононов В.А., Орлов Ю.Л.*

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ТРАНСКРИПЦИОННОЙ  
РЕГУЛЯЦИИ В ГЕНОМАХ РАСТЕНИЙ**





# **УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

УДК 543.539.544

## ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

**Буряк А.К., Карнаева А.Е., Матюшин Д.Д.,  
Миненкова И.А., Пыцкий И.С.**

*ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;  
e-mail: [akburyak@mail.ru](mailto:akburyak@mail.ru)*

В докладе рассмотрено применение хромато-масс-спектрометрического метода в вариантах газовой, жидкостной и тонкослойной хроматографии, состыкованной с масс-спектрометрией при проведении экологических анализов и разработке природоохранных технологий.

The report discusses the use of chromato-mass-spectrometric method in gas, liquid and thin-layer chromatography variants, coupled with mass spectrometry in environmental analyses and the development of environmental technologies.

Первоначально хромато-масс-спектрометрии возникла как гибридный метод, объединивший удобный хроматографический ввод и информативный масс-спектрометрический метод идентификации.

Развитие метода показало, что он представляет собой новый метод, в котором хроматография и масс-спектрометрии одинаково эффективно используется и для разделения, и для идентификации анализируемых веществ.

Традиционно хромато-масс-спектрометрии использовалось для анализа сложных смесей органических соединений и применялась в основном как аналитический метод в органической химии, нефтехимии, фармацевтике и биохимии.

Дальнейшее развитие метода позволило использовать его более широко, в междисциплинарных исследованиях, когда аналитическое применение расширено до физико-химического применения при решении сложных фундаментальных и прикладных задач в экологии.

К настоящему времени хромато-масс-спектрометрия в экологических исследованиях представляет собой не только анализ объектов окружающей среды на содержание токсичных соединений, но и аналитическое сопровождение технологий, включающее анализ поверхностей сорбционных и каталитических материалов, исследования кинетики и динамики сорбции, механизмов химических реакций.

В докладе будут рассмотрены различные примеры применения хромато-масс-спектрометрии для решения междисциплинарных задач в экологических исследованиях.

УДК 544

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ И СЛУЧАЙНОСТИ НА ПУТИ ЭВОЛЮЦИИ МАТЕРИИ ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО ЖИВОЙ СУБСТАНЦИИ (С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ)

Даванков В.А.

*ИНЭОС РАН, Россия, 119334 Москва, ул. Вавилова, д. 28;*

*e-mail: [davank@ineos.ac.ru](mailto:davank@ineos.ac.ru)*

В предлагаемом сообщении рассматриваются важнейшие моменты эволюции материи от Большого Взрыва до Живой субстанции (с точки зрения физической химии).

The present report considers the pivotal points in the evolution of matter: from the Big Bang to a Living substance (in terms of physical chemistry).

Важнейшими моментами эволюции мне представляются следующие:

- Большой Взрыв (около 14 млрд. лет назад) за 20 мин произвел только водород, гелий и немного лития. Элементы до железа включительно постепенно возникали в ядерных реакторах разгорающихся звезд. Более тяжелые элементы – результаты существенно более поздних взрывов Сверхновых. Поэтому жизнь во Вселенной, требуя наличия твердой материи и широкого набора элементов, не могла зародиться слишком рано.

- Солнечная система возникла через 10 млрд. лет из туманности, представляющей собой восстановительную среду с преобладанием водорода и его соединений с другими элементами: O, C, N, S, Cl и др.

- Планета Земля захватила много твердой материи первичной туманности (остатки прежних миров) и распространенность элементов здесь падает в последовательности: O, H, Si, Al, Mg, Ca, Fe, Na, K, Ni, Ti, S, P, N и т.д.

- Кислород – третий по распространенности (H, He, O...) во Вселенной элемент, но он слишком активен и существует только в виде оксидов большинства из вышеперечисленных элементов.

- Вода – самое распространенное вещество Вселенной.

- Жизнь могла возникнуть только в растворе, а именно, только в жидкой воде, которая хорошо растворяет большинство полярных соединений и солей, позволяет их концентрировать как при испарении, так и при замерзании.

- Живая материя могла возникнуть только из элементов, способных образовывать связи друг с другом: C, O, H, N, S, P. Живая материя базируется на углеродной химии (везде!).

- Многие высокоэнергетические процессы (электрические разряды, радиация, высокоскоростные соударения тел и др.) всегда приводят к образованию многочисленных аминокислот, спиртов, альдегидов, кислот, азотистых гетероциклов.

- Только полимеры могут обеспечить структурирование, выживание и самовоспроизводство органической системы. Белки – обязательный компонент протоклетки.

- Гомохиральность (аминокислот, углеводов и др) – непреложное требование к возникновению и поддержанию живой материи.

- Нарушение четности слабых взаимодействий – источник гомохиральности элементарных частиц и атомов материи Вселенной. Именно последние представляют собой гомохиральный набор для построения молекулярной материи с преобладанием однозначной хиральности L-аминокислот и D-углеводов. Пути мультипликации их гомохиральности в концентрированном первичном бульоне органики неизвестны.

- Самосборка аминокислот, углеводов, азотистых гетероциклов и др. в структурообразующие полимеры, ассоциаты, мицеллы и, наконец, протоклетку – ЧЕРНЫЙ ЯЩИК, полный случайных и неизвестных процессов.

- Эволюция – «самовоспроизведение с вариациями» и поддержанием гомохиральности.

- Вода – единственный возможный источник свободного кислорода. В атмосферах планет она подвергается фотолизу с быстрой диссипацией водорода и протеканием окислительных процессов первичной восстановительной атмосферы и поверхностных слоев планет.

- Фотосинтезирующие кислородпроизводящие растения на суше и в приповерхностных (освещенных) слоях океана возникли только после формирования защитного озонового слоя.

- Растения пополнили содержание кислорода в атмосфере до сегодняшнего уровня. Он остается примерно постоянным в результате псевдоравновесия, т.к. кислород расходуется на взаимодействие с протонами солнечного ветра, частично компенсируя количество разлагаемой воды.

- Все планеты постоянно теряют воду и другие газы, причем свободный кислород характерен лишь для ограниченного периода жизни планеты.

- Жизнь – редчайшее явление во Вселенной, но она везде базируется на углеродной химии, белковоподобных и иных полимерах той же конфигурации, что и на Земле.

УДК 541.183

## ЕЩЕ РАЗ О ХАРАКТЕРЕ ИОНООБМЕННЫХ СИЛ

Долгонос А.М.

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
119991 РФ, Москва, ул. Косыгина, 19;  
e-mail: [amdolgo@mail.ru](mailto:amdolgo@mail.ru)*

В предлагаемом сообщении рассматривается влияние сил различной природы на ионный обмен, выводится каноническая форма энергии взаимодействия; проводится теоретический анализ экспериментальных данных по электропроводности ионообменных мембран; описывается эффект локальной диэлектрической проницаемости и даются количественные соотношения для коэффициентов селективности ионного обмена.

In the proposed communication, the influence of forces of various natures on ion exchange is considered, the canonical form of the interaction energy is derived; a theoretical analysis of experimental data on the electrical conductivity of ion-exchange membranes is carried out; the effect of the local dielectric constant is described and quantitative relations for the selectivity of ion exchange are given.

Главное свое развитие теория ионного обмена получила в 50-60-е годы. Сложность описываемой системы сказалась на теоретических подходах, конкурировавших между собой и имевших каждый свои недостатки. С появлением мощных компьютерных программ молекулярного моделирования возникла возможность рассмотрения проблемы на новом уровне: рассчитать конкретную геометрическую картину взаимодействия фиксированных внутри полимера ионогенных групп и противоионов в процессе ионного обмена. Вновь интерес к этой старой теме возник благодаря статье В.А. Шапошника в журнале «Сорбционные и хроматографические процессы» [1], где он приводит свою интерпретацию интересных экспериментальных исследований в области ионного обмена, основанную на молекулярно-динамических компьютерных расчетах. Привлекают внимание ряд моментов, касающихся выводов автора о дробных зарядах взаимодействующих ионов и о доминировании водородных связей в таких взаимодействиях. Неожиданность такой интерпретации вызвала дискуссию, в которой участвовал и автор сообщения [2-5]. Дискуссия вызвала большой интерес, что заставляет вернуться к этой теме еще раз. Проблема имеет принципиальный характер для понимания межионного взаимодействия и ионного транспорта в растворах и полимерах.

В предлагаемом сообщении рассматриваются факторы влияния на ионный обмен и выводится каноническая форма энергии взаимодействия.

Модель перескоков противоионов для описания внутридиффузионного транспорта наряду с законами равновесного распределения и подвижности ионов были применены в теоретическом анализе экспериментальных данных по электропроводности ионообменных мембран. Выведено удобное выражение для локальной диэлектрической проницаемости и даются количественные соотношения для коэффициентов селективности ионного обмена на сильных ионитах.

### **Литература**

1. Шапошник В.А. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. Т.20. №1. С.48-53.
2. Хамизов Р.Х., Долгоносов А.М. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. Т.20. №5. С.641-646.
3. Шапошник В.А. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т.21. №2. С.285-290.
4. Хамизов Р.Х. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т.21. №4. С.
5. Долгоносов А.М. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т.21. №4. С.

УДК: 541.1+628.16

САМОПОДДЕРЖИВАЮЩИЕСЯ ПРОЦЕССЫ УМЯГЧЕНИЯ —  
ОПРЕСНЕНИЯ СОЛЕННЫХ ВОДХамизов Р.Х.*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН,  
Москва; e-mail: [khamiz@mail.ru](mailto:khamiz@mail.ru)*

Теоретически и экспериментально исследована возможность создания циклических самоподдерживающихся процессов умягчения-опреснения, в которых в качестве реагента для регенерации катионообменника-умягчителя используется только рассол после опреснения.

The possibility of creating cyclic self-sustaining softening-desalination processes has been theoretically and experimentally investigated. In such processes, only the brine after desalination is used for the regeneration of the cation-exchanger applied for softening.

Идея самоподдерживающихся (СМП) процессов умягчения-опреснения возникла [1] в связи с быстро растущей опреснения морской воды и исследованием возможности создания не потребляющих привозных химических реагентов замкнутых систем для решения специальных технологических задач, включая достижение высоких степеней извлечения пресной воды и концентрирования рассолов для их комплексной переработки, а также создание автономных и мобильных опреснительных установок. Идея ясна из рис.1, она состоит в следующем:

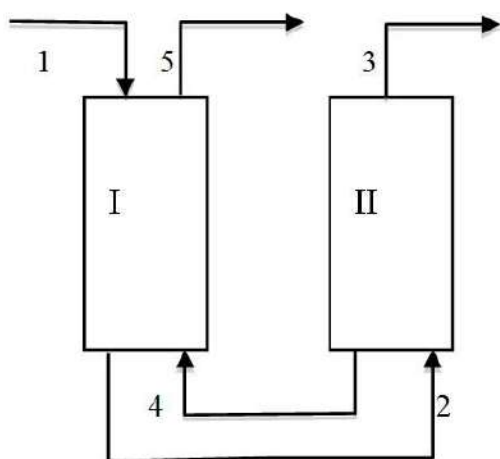


Рис.1. СМП-процесс: I – Na-катионирование; II – опреснение; 1 – исходная вода; 2 – умягченная соленая вода; 3 – опресненная вода; 4 – рассол без ионов жесткости; 5 – рассол после регенерации.

в повторяющемся циклическом процессе через колонну с катионообменником в Na-форме пропускается соленая вода, ионы жесткости сорбируются, умягченная вода подвергается глубокому опреснению без опасности образования отложений слаборастворимых веществ, рассол, содержащий только соли натрия, накапливается и возвращается на регенерацию катионита для десорбции катионов жесткости и регенерации Na-формы.

До демонстрации первых положительных результатов эту идею в шутку называли «ионообменным (ИО) вечным двигателем». На самом деле, существуют строгие физико-химические причины принципиальной реализуемости СМП-процессов: эффект электроселективности в ИО и закономерности формирования концентрационных фронтов при нелинейных изотермах. Теоретически были предсказаны свойства и практически получены катионообменники, на которых реализуются СМП-процессы [2].

Было показано, что для слабосоленых, например, подземных солоноватых вод, можно подобрать условия реализации таких процессов на сильнокислотных катионитах. Численные эксперименты с десятками последовательных циклов умягчения-опреснения позволили показать влияние варьируемых параметров на формирование стационарных режимов [3]. На рис.2 показан пример для модельного раствора смеси

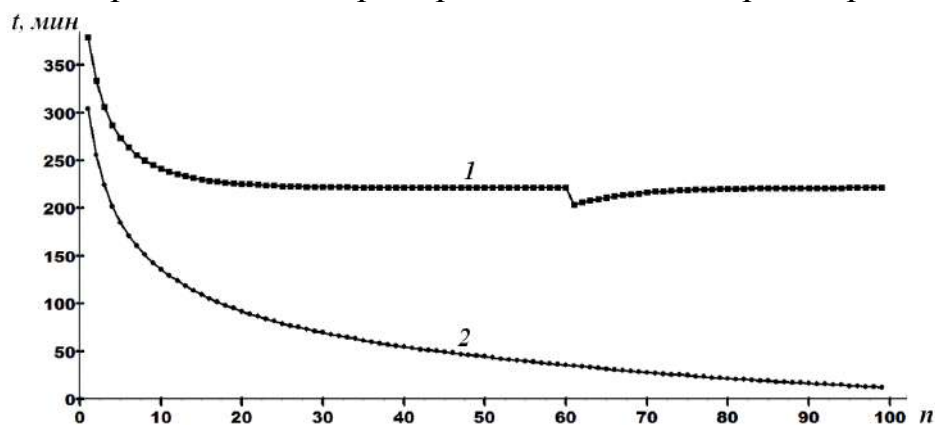


Рис.2. Зависимость времени сорбции иона кальция до заданного проскока (5%) от номера рабочего цикла при разных эквивалентных соотношениях компонентов в исходном растворе с суммарной концентрацией 0.05 г-экв/л.: 1 - Ca=0.035 N, Na=0.015 N; 2 - Ca=0.04 N, Na=0.01 N; концентрация натрия в опресненной воде =0.01 N.

хлоридов кальция и натрия с одной и той же суммарной концентрацией, и показано, каким образом соотношение концентраций катионов влияет на возможность установления стационарного самоподдерживающегося процесса. Полученные результаты показывают возможность практической реализации СМП-процессов

## Литература

1. Klein G., NATO ASI Ser. Ser.E., 1981, Vol. 33.P. 427-441.
2. Tokmachev MG, Tikhonov NA, Khamizov R.Kh., React. Funct. Polym., 2008, Vol. 68, P. 1245-1252
3. Хамизов Р.Х., Комарова И.В., Галкина Н.К., Прудковский А.Г., ТОХТ, 2020, Том 54, № 5, С. 649-660.



УДК 551.464.679

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА В РАДИОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА<sup>1</sup>****Довгий И.И.<sup>1,2</sup>, Тананаев И.Г.<sup>2,3</sup>**<sup>1</sup>МГИ РАН, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2<sup>2</sup>СевГУ, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33<sup>3</sup>ДВФУ, 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8<sup>4</sup>ОТИ НИЯУ МИФИ, г. Озёрск Челябинской обл., пр-кт Победы, 48e-mail: [dovhyi.illarion@yandex.ru](mailto:dovhyi.illarion@yandex.ru)

В докладе будет приведена общая методология использования физико-химических методов в радиохимии Мирового океана для решения задач морской радиохимии, включая, отбор проб, концентрирование, использование радиохимической подготовки, методы измерения активности радионуклидов, а также возможные методические ошибки при выполнении данных этапов. Эта методология приведена для наиболее широко используемых радиотрассеров, техногенного (<sup>90</sup>Sr, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu), природного (<sup>210</sup>Pb, <sup>210</sup>Po, радиевый квартет – <sup>223</sup>Ra, <sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, изотопы тория, в основном <sup>234</sup>Th) и космогенного (<sup>7</sup>Be, <sup>32</sup>P, <sup>33</sup>P) происхождения. Будут также обсуждены преимущества и недостатки имеющихся сорбционных материалов для проведения извлечения целевых радионуклидов, варианты сорбционного извлечения, возможные методические ошибки при отборе и концентрировании проб.

The report will provide a general methodology for the use of physicochemical methods in radiochemistry of the World Ocean for solving problems of marine radiochemistry, including sampling, concentration, the use of radiochemical preparation, methods for measuring the activity of radionuclides, as well as possible methodological errors when performing these stages. This methodology is presented for the most widely used radiotracers, technogenic (<sup>90</sup>Sr, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu), natural (<sup>210</sup>Pb, <sup>210</sup>Po, radium quartet – <sup>223</sup>Ra, <sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, thorium isotopes, mainly <sup>234</sup>Th) and cosmogenic (<sup>7</sup>Be, <sup>32</sup>P, <sup>33</sup>P) origin. The advantages and disadvantages of available sorption materials for the extraction of target radionuclides, options for sorption extraction, possible methodological errors in the selection and concentration of samples will also be discussed.

Физико-химические методы анализа широко применяются для установления характера взаимодействия компонентов системы на основе изучения соотношений между её физическими свойствами и составом. Физико-химические методы анализа основаны на использовании свойств и нахождении вещества в зависимости от его природы и содержания в анализируемой пробе. Одним из важнейших физико-химических методов анализа выступает радиохимический метод, который широко применяют

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета, идентификатор проекта 42-01-09/169/2021-7, государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2021-0004)

для характеристики экосистем и объектов окружающей среды. В океанологии упомянутый метод ориентирован на концентрирование, разделение и определение природных и техногенных радионуклидов в морской воде в решении важнейших научных и прикладных проблем в радиоэкологии, изучении океанографических процессов, вулканизма морской литосферы, исследовании процессов субмаринной разгрузки, миграции радионуклидов в различных акваториях и др. Например,  $^7\text{Be}$  может использоваться как трассер для изучения вертикального транспорта в поверхностном слое, а исходя из изменчивости концентрации  $^{234}\text{Th}$  и нарушения его равновесия с  $^{238}\text{U}$  было сделано предположение об его адсорбции на взвешенном веществе. Для изучения возможности использования природных и техногенных радионуклидов для решения ряда научных проблем был выполнен ряд международных проектов под эгидой МАГАТЭ, а именно WOMAR (Worldwide Marine Radioactivity Studies – Мировые исследования морской радиоактивности), посвященных вопросам использования ядерных и изотопных методов для изучения субмаринной разгрузки в прибрежных районах, моделирования эволюции радиоактивного загрязнения. Над этими вопросами работал ряд рабочих групп SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research – Международного комитета исследования океанов). Основным подходом к решению упомянутых задач выступают сорбционные методы, которые особо эффективны в экспедиционных условиях с привлечением методов математического моделирования.

Морская вода является сложной химической системой, что обусловлено высоким солесодержанием, наличием взвешенного вещества и непостоянством характеристик, зависящих от места, времени, глубины отбора проб. Сочетание с низкой концентрацией большинства радионуклидов делает морскую воду одним из наиболее сложных объектов радиохимического анализа. Если технические сложности пробоподготовки удастся решить использованием разработанной аппаратуры, то научная составляющая – поиск и применение новых методов концентрирования и определения радионуклидов из высокосолевых систем посредством синтеза уникальных сорбционных материалов – до настоящего времени является актуальной и сложной задачей.

В решении этой задачи авторы в докладе представят новые сведения о современном состоянии исследований физико-химических методов в радиохимии Мирового океана. Будут представлены новые данные по мониторингу радионуклидов в различных акваториях: Черного, Баренцева, Японского морей, а также западной части Тихого и Атлантического океана. В докладе будут обсуждены современные методы пробоподготовки, концентрирования техногенных ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ), природных ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ , радиевый квартет –  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , изотопы тория, в основном  $^{234}\text{Th}$ ) и космогенных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ) радионуклидов с применением передовых сорбционных материалов.

УДК 504.75.05

**ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ  
2,2'-ДИХЛОРДИЭТИЛСУЛЬФИДА****Корягина Н.Л., Савельева Е.И., Шачнева М.Д.**

*ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России,  
Россия 188663, Ленинградская область,  
Всеволожский район, з/п Кузьмолловский, ст. Капитолово, корп. № 93;  
e-mail: [nkoryagina@mail.ru](mailto:nkoryagina@mail.ru)*

Предложены подходы для проведения эколого-токсикологического мониторинга объектов, контактировавших с 2,2-дихлордиэтилсульфидом.

Procedures for ecological and toxicological monitoring of samples contaminated with 2,2-dichlorodiethyl sulfide are proposed.

Эколого-токсикологический мониторинг отравляющих веществ сохраняет актуальность ввиду больших объемов затопленного и захороненного, часто в неустановленных местах, химического оружия (ХО), угрозы химического терроризма, накопления большого количества промышленных отходов в результате деятельности бывших предприятий по уничтожению ХО. Экологический мониторинг позволяет проводить оценку безопасности объектов окружающей среды (ООС), эколого-токсикологический – оценить уровень последствий антропогенной нагрузки на живые организмы. Эффективность исследования ООС и биосред человека на содержание компонентов ХО определяется знанием механизмов трансформации токсикантов в объектах контроля, степенью разработанности методического обеспечения химико-аналитического сопровождения, опирающегося на высокочувствительные специфичные методики анализа.

2,2'-дихлордиэтилсульфид (сернистый иприт) относится к персистентным соединениям, способным к самокапсулированию, обеспечивающему его долгое время существования в нативном виде в различных средах. Для определения иприта и основного продукта гидролиза иприта – тиодигликоля в образцах морской воды, отобранных при мониторинге трассы прокладки газопровода «Северный поток», были разработаны и реализованы методики идентификации иприта и ТДГ в морской воде методом ГХ-МС (предел обнаружения – 0,01 мг/л). Метод ГХ-МС в сочетании с твердофазной микроэкстракцией (ТФМЭ) был успешно применен для анализа строительных отходов, образующихся в результате конверсии бывших предприятий по уничтожению ХО (предел обнаружения иприта 0,05 мг/кг (0,5 ПДК). Для контроля содержания

иприта в образцах с развитой сорбционной активностью была разработана ГХ-МС/МС методика (предел обнаружения в разных матрицах составил 0.7-0.9 мг/кг (0.007-0.009 ПДК) [1].

Иприт в нативном виде практически невозможно определить в биопробах, в то время как продукт гидролиза – ТДГ, может быть обнаружен в моче в свободном виде или в плазме крови после проведения щелочного гидролиза белка. Особенности токсикокинетики ТДГ и его оксида в биопробах (моче, плазме крови, волосах) были изучены нами в токсикологических экспериментах на лабораторных животных при реализации метода ГХ-МС/ТФМЭ (предел обнаружения 1 нг/мл) [2]. Аддукты иприта с биомолекулами относятся к ретроспективным маркерам поражения и могут быть идентифицированы в биопробах пострадавших спустя 3 месяца и более после экспозиции [3-5].

Интеграция оценки уровня экспозиции живых организмов в определение степени экологической безопасности позволяет не только получить информацию о загрязнении ОС конкретным химическим соединением, но и позволяет исключить из рассмотрения необходимость аргументированного отклонения ложных заявлений о загрязнении ОС определенными соединениями и неблагоприятном воздействии последней на организм человека.

## **Литература**

1. Шачнева М.Д., Корягина Н.Л., Савельева Е.И. // Аналитика и контроль. 2021. Т. 25, № 2. С. 110-116.
2. Корягина Н.Л., Савельева Е.И., Хлебникова Н.С. // Масс-спектрометрия. 2017. Т. 14. № 2. С. 124-132.
3. Корягина Н.Л., Шачнева М.Д., Уколов А.И. // Масс-спектрометрия. 2017. Т. 14, №4. С. 266-272.
4. Савельева Е.И., Корягина Н.Л., Орлова О.И. // Медицина экстремальных ситуаций. 2018. Т. 20, № 3. С. 451-463.
5. Шачнева М.Д., Корягина Н.Л., Савельева Е.И. // Масс-спектрометрия. 2021. №2. Т. 18. С. 87-92.

УДК 676.088

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД ЦБП

**Боголицын К.Г.<sup>1</sup>, Москалюк Е.А.<sup>2</sup>, Шульгина Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Россия  
163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17*

<sup>2</sup>*Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат, Россия  
164900, г. Новодвинск, ул. Мельникова, 1  
e-mail: [moslakyuk.evgenia@apppm.ru](mailto:moslakyuk.evgenia@apppm.ru)*

Современными аналитическими и физико-химическими методами исследован фракционный и индивидуальный компонентный состав органической части локальных сточных вод целлюлозно-бумажного производства, определены их качественные характеристики (интегральные показатели) и внутренние взаимосвязи состав-свойства.

The fractional and individual component composition of the organic part of local wastewater from the pulp and paper industry has been studied using modern analytical and physicochemical methods; their qualitative characteristics (integral indicators) and internal composition-property relationships have been determined.

Являясь продуктом биологического, растительного происхождения, древесина представляет собой сложное в аналитическом и химическом отношении вещество. В состав древесины входят: целлюлоза, полисахариды, лигнин, смоляные и жирные кислоты, терпены и ряд сложных органических соединений. В общем порядке характеристики процесса, при химической переработке древесины из неё выделяют целлюлозное волокно, а остальные компоненты древесины переходят в водную фазу (отработанный варочный щелок). Использование при переработке древесины различных химикатов делает неизбежным образование загрязненных сточных вод и необходимость создания системы производственного экологического контроля их качества.

Многокомпонентность и различие функциональной химической природы компонентов сточных вод определяет их как сложную аналитическую матрицу, характеризующую многовариантными показателями оценки экологического состояния и качества. Несопоставимость оценок по отдельным показателям, сведение этих оценок лишь к констатации факта о соответствии воды требуемым нормативам наряду с невысокими точностными характеристиками многих стандартизированных методик приводят к трудностям в получении надежной и достаточной для принятия каких-либо решений информации. Эти недостатки исключаются при разработке системы оценки качества вод

на основе применения современных физико-химических методов анализа и обобщенных (интегральных) показателей. Величина обобщенного показателя характеризует суммарное количество всех веществ, содержащих тот или иной элемент. Особое внимание уделяется содержанию продуктов деструкции древесной матрицы, которые представляют собой как низкомолекулярные компоненты фенольной и углеводной фракции, так и высокомолекулярные полифункциональные лигнинные соединения.

Объектом исследования являлись сточные воды варочных цехов сульфатной небеленой целлюлозы и полуцеллюлозы, работающих на различном сырье (хвойная и лиственная древесина соответственно).

Массовую концентрацию лигнинных веществ определяли фотометрическим методом с образованием нитропроизводных; ХПК-бихроматным окислением пробы и фотометрическим измерением сигнала; общий и органический углерод-каталитическим высокотемпературным окислением пробы сточной воды в атмосфере очищенного воздуха при температуре 720 °С на анализаторе TOC-LCSN (Shimadzu); компонентный состав фракции летучих фенолов-методом хромато-масс спектроскопии.

На основании большого числа экспериментальных данных определены состав органической фракции локальных сточных вод, их качественные характеристики и корреляционные зависимости значения показателя ХПК со значениями содержания лигнинных веществ и органического углерода. Установлено, что состав фракции летучих фенолов определяется, в основном, присутствием в стоках производства целлюлозы производных гваяцильных, а стоках производства полуцеллюлозы - сингильных структур. Характер корреляций показывает, что для стока сульфатцеллюлозного производства определяющее влияние на показатель ХПК оказывает лигнин, а для стока полуцеллюлозного производства – содержание низкомолекулярных компонентов деструкции лигноуглеводной матрицы.

Значения соотношения  $\text{ХПК}/\text{C}_{\text{орг}}$ , позволяют определить потенциальную возможность деградации органических веществ в процессе их очистки. Для сульфатцеллюлозного стока значение  $\text{ХПК}/\text{C}_{\text{орг}}$ , составило 4,7, для сточных вод от варки полуцеллюлозы 3,1, что говорит о потенциально лучшей эффективности очищения последних на сооружениях биологической очистки.

## **Литература**

1. Боголицын К.Г., Москалюк Е.А. и др. Применение интегральных показателей качества сточных вод для внутрипроизводственного эколого-аналитического контроля производства целлюлозы // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 343-352.

УДК 661.123

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЛКОВО-ПОЛИСАХАРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ АРКТИЧЕСКИХ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ<sup>1</sup>****Паршина А.Э., Боголицын К.Г.**

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
Россия 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17;  
e-mail: [k.bogolitsin@narfu.ru](mailto:k.bogolitsin@narfu.ru)*

Белково-полисахаридный комплекс водорослей на основе целлюлозы Iβ со степенью полимеризации 940-1140 ед и кристалличностью 52-55 % определяет сорбционные свойства и капиллярно-пористую структуру водорослей. Сорбция тяжелых металлов протекает как эндотермический процесс по смешанному механизму с преобладанием химических взаимодействий.

The protein-polysaccharide complex of algae based on cellulose Iβ with a degree of polymerization of 940-1140 un. and crystallinity of 52-55% determines the sorption properties and the capillary-porous structure of algae. Sorption of heavy metals proceeds as an endothermic process by a mixed mechanism with a predominance of chemical interactions.

Бурые водоросли (БВ) благодаря специфике своего химического состава, капиллярно-пористой структуре и свойствам активных компонентов являются эффективными биоиндикаторами состояния морских аквасистем. Данное свойство реализуется посредством протекания сорбции загрязнителей из водной среды и накопления их в биомассе. За сорбционные свойства бурых водорослей отвечает компонента, представленная целлюлозой, полисахаридами и белками. Подобная матрица может быть выделена в качестве конечного продукта при комплексной переработке БВ в виде белково-полисахаридного комплекса (БПК).

Одними из наиболее опасных токсикантов для природных морских систем являются тяжелые металлы (ТМ), в частности свинец и кадмий. Физикохимия механизма взаимодействия в системе экотоксикант-БПК предусматривает изучение фундаментального цикла структура-функциональная природа-свойства применительно к компонентам биомассы макрофитов.

Белково-полисахаридные комплексы были выделены из водорослей видов *Laminaria digitata* и *Laminaria saccharina* (Белое море) согласно схеме, разработанной авторами [1].

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-33-90004\20, Министерства науки и высшего образования, проект № 0793-2020-0005

Основным компонентом комплекса является целлюлоза, которая согласно данным рентгеновской дифракции, преимущественно содержит кристаллическую фазу I $\beta$ . Степень кристалличности 52-55 % указывает на аморфность целлюлозного материала. Аморфные участки целлюлозы, как наиболее реакционноспособные, будут определять сорбционные взаимодействия БВ с ионами ТМ.

Таблица 1. Характеристики белково-полисахаридных комплексов бурых водорослей

	БПК <i>L. digitata</i>	БПК <i>L. saccharina</i>
Целлюлоза, % с.в.	56,0	51,3
Белок, % с.в.	26,0	32,7
Степень полимеризации, ед.	940	1140
Медное число, мг Cu/100 г	1,12	0,92
Целлюлоза I $\alpha$ , %	5,9/2,7*	13,3/15,8*
Целлюлоза I $\beta$ , %	94,1/97,3*	86,7/84,2*
Степень кристалличности, %	52/54*	55/63*

\*отражение/просвет

Методом низкотемпературной сорбции азота выявлена мезопористая структура БПК со средним диаметром пор 7,56-9,69 нм. Удельная поверхность составляет 1,47 и 3,92 м<sup>2</sup>/г для БПК *L. digitata* и *L. saccharina*, соответственно. Развитая поверхность с мезопорами открывает перспективы сорбции не только ионов металлов, но и более крупных поллютантов.

Основываясь на химическом составе полученных комплексов, можно заключить, что основными функциональными группами, которые будут являться центрами сорбции – это -ОН, -СООН, -NH<sub>2</sub>. Согласно данным, полученным по методу Гаммета, сорбционные центры наиболее активны в области слабой кислотности (рКа 6,4), что является оптимальными условиями для сорбции кадмия и свинца (рН 5 и 6 для Pb<sup>2+</sup> и Cd<sup>2+</sup>).

Сорбция ТМ протекает как эндотермический процесс ( $\Delta H=73-87$  кДж/моль) по смешанному механизму с преобладанием химических взаимодействий (ионный обмен, комплексообразование), описывается моделью кинетики псевдо-второго порядка, а также моделями изотерм Лэнгмюра и Сипс.

### Литература

1. Bogolitsyn K., Aleshina L., Parshina A. Structural features of brown algae cellulose // Cellulose. 2020. Vol. 27. № 17. P. 9787-9800.
2. He Q., Wang Q., et al. Highly crystalline cellulose from brown seaweed *Saccharina japonica*: isolation, characterization and microcrystallization // Cellulose. 2018. Vol. 25. № 10. P. 5523-5533.



УДК 543

## 25 ЛЕТ РАЗВИТИЯ ЖИДКОСТНО-ЖИДКОСТНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

**Крылов В.А.**

*Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород; e-mail: [k658995@mail.ru](mailto:k658995@mail.ru)*

Наукометрические исследования показывают, что микроэкстракционное концентрирование является одной из наиболее развиваемых областей аналитической химии. Жидкостно-жидкостное микроэкстракционное концентрирование (ЖЖМЭК) по темпам роста превосходит твердофазное. За десятилетие его доля увеличилась с 18% до 60%. Направлениями развития жидкостно-жидкостного микроэкстракционного концентрирования явились повышение эффективности и экспрессности извлечения аналитов, сокращение временных затрат, уменьшение объемов растворителей и использование нетоксичных экстрагентов в соответствии с концепцией зеленой аналитической химии. В сообщении рассмотрена хронология развития ЖЖМЭК. Проанализированы вопросы терминологии ЖЖМЭК.

Scientometric studies show that microextraction concentration is one of the most developed fields of analytical chemistry. Liquid-liquid microextraction preconcentration (LLMEC) exceeds solid-phase concentration in terms of growth rates. Over the past decade, its share has increased from 18% to 60%. The directions of development of liquid-liquid microextraction concentration were to increase the efficiency and expressiveness of the extraction of analytes, reduce time costs, reduce the volume of solvents and the use of non-toxic extractants in accordance with the concept of green analytical chemistry. The report discusses the chronology of the development of LLMEC. The issues of LLMEC terminology are analyzed.

Разработаны методы капельной, мембранной, трехфазной и дисперсионной микроэкстракции. Обсуждаются варианты осуществления последней наиболее распространенной разновидности ЖЖМЭК: дисперсионный с участием третьего компонента; с ультразвуковым воздействием; с вихревым и пневматическим диспергированием; с температурным пересыщением. Расширено число применяемых экстрагентов.

Кроме традиционных растворителей (предельные и ароматические углеводороды, их галогенпроизводные и др.) перспективно использование бинарных смесей органических и неорганических веществ (низкоплавкие эвтектики, ионные жидкости и другие системы на основе воды). В сообщении рассмотрены вопросы оптимизации объемов экстрактов и их связь с методом анализа.

Предложено множество устройств, позволяющих извлекать легкие и тяжелые по плотности экстракты. Выделение экстрактов, в большинстве случаев, проводят центрифугированием.

К сожалению, центрифугирование осложняет автоматизацию ЖЖМЭК. Поэтому по уровню автоматизации ЖЖМЭК пока отстает от твердофазной микроэкстракции. Некоторые успехи в автоматизации достигнуты для капельной и пленочной микроэкстракции, перспективно использование мембранного и флотационного извлечения экстрактов.

Расширился круг объектов, анализируемых с применением микроэкстракции. Кроме воды и других объектов окружающей среды (63%), это пищевые продукты (21%), биологические жидкости (8%), высокочистые вещества и технические образцы (4%), фармацевтические препараты (3%).

Анализ образцов твердых веществ проводится через их растворение в матрицах на водной основе. Аналитическими методами органично сочетающимися с микроэкстракционным концентрированием являются газовая и жидкостная хроматография. Достигнутые пределы обнаружения находятся на уровне 0.0002–0.005 мкг/л.

УДК 543.544

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ КНИГИ «НАСЛЕДИЕ М. С. ЦВЕТА  
В ТРУДАХ ВОРОНЕЖСКИХ ХИМИКОВ»****Селеменев В.Ф.<sup>1</sup>, Рудаков О.Б.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Воронежский государственный университет, Россия 394036, г. Воронеж,  
Университетская пл., 1*

<sup>2</sup>*Воронежский государственный технический университет, Россия 394006,  
г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д.84; e-mail: [robi57@mail.ru](mailto:robi57@mail.ru)*

В книге «Наследие М. С. Цвета в трудах воронежских химиков: монография» представлена хроника становления научной школы хроматографии и ионного обмена в Воронежском госуниверситете и других вузах Воронежа, в монографии изложены результаты исследований воронежских химиков, работающих в области хроматографии, ионного обмена, мембранных процессов и сопутствующих областях химии.

The book "The Legacy of M. S. Tsvet in the Works of Voronezh Chemists: a monograph" chronicles the formation of the scientific school of chromatography and ion exchange at Voronezh State University and other universities in Voronezh, the monograph presents the results of research by Voronezh chemists working in the field of chromatography, ion exchange, membrane processes and related fields of chemistry.

В статьях [1-3] были представлены достижения воронежской научной школы и вклад воронежских ученых в развитие хроматографии и ионного обмена. В двухтомнике «Наследие М. С. Цвета в трудах воронежских химиков: монография» [4] также дана хроника становления научной школы хроматографии и ионного обмена и сопутствующих направлений науки и технической практики, но в более развернутом плане и не только в Воронежском госуниверситете, но и в других вузах Воронежа, раскрыты взаимосвязи ученых из г. Воронежа с химиками МГУ, РАН и другими научных организаций и производств. В монографии приведены результаты многолетних научных исследований и современных достижений воронежских химиков, работающих в области хроматографии, ионного обмена, мембранных процессов и таких областях химии, как химическая сенсорика, тест-методы в химическом анализе, методы компьютерного моделирования, синтез наноструктурных и супрамолекулярных сорбентов, используемых в медицине, фармации, экологии.

Авторы коллективной монографии работают в ВГУ, ВГТУ, ВГУИТ, ВГАУ, ВГМУ, ВГЛТУ. Таким образом, в книге представлены материалы, которые можно отнести к истории науки и науковедению, в частности, в них отражено становление хроматографии как науки и метода разделения

веществ, показана роль отдельных людей и коллективов, участвующих в развитии теории и практики хроматографии. Некоторые статьи носят обзорный характер, другие статьи включают современные оригинальные экспериментальные результаты, в отдельных статьях изложены гипотезы, которые могут найти подтверждение в будущем. В книге был протянут некий информационный мост между прошлым и будущим научных направлений, которые в англоязычной научной периодике называли общим термином Separation Science. В химической технологии под термином сепарация (лат. Separatio – отделение) подразумевают различные процессы разделения смешанных объёмов разнородных частиц, жидкостей разной плотности, эмульсий, суспензий и т.п. В отечественной химии не спешат этот термин распространить, как это сделано в англоязычной научной периодике, на физико-химические процессы, рассмотренные в этом издании. Пора согласиться с термином *сепарация*, поскольку не удалось подобрать иного. Чтобы его не путать с сепарацией, основанной на исключительно физических свойствах разделяемых систем, можно ввести уточнение – *физико-химическая сепарация*. Представленные в двухтомнике статьи, по нашему мнению, имеют не только познавательное, гносеологическое, научное, но и методико-педагогическое значение для студентов, аспирантов и молодых ученых. Для того, чтобы овладеть методологией физико-химической сепарации во всем ее разнообразии, молодые исследователи должны приобрести фундаментальные знания и практические навыки в области общей, физической, органической химии, химической технологии, физики и прикладной математики. Важно, чтобы вузы, имеющие глубокие исторические корни, имели возможность сохранять свои лучшие традиции, развивать перспективные новые научные направления, готовить квалифицированных специалистов, достойно продолжающих дело великих российских ученых, таких как Михаил Семенович Цвет.

## Литература

1. Селеменев В.Ф., Рудаков О.Б. Наука в лицах: очерки о воронежских хроматографистах. Часть 1 // Лаборатория и производство. – 2019. – № 1(5). – С. 122-127.
2. Селеменев В.Ф., Рудаков О.Б. Наука в лицах: очерки о воронежских хроматографистах. Часть 2 // Лаборатория и производство. – 2019. – № 2(6). – С. 168-175. – DOI 10.32757/2619-0923.2019.2.6.168.175.
3. Селеменев В.Ф., Шапошник В.А., Рудаков О.Б. История развития ионного обмена и хроматографии в Воронеже (Воронежском университете) // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2015. – Т. 15. – № 2. – С. 138-150.
4. Наследие М.С. Цвета в трудах воронежских химиков: монография: в 2 томах / под ред. В. Ф. Селеменева, О.Б. Рудакова. – Воронеж: «Научная книга», 2021. Том 1. – 360 с.; Том 2. – 330 с.

УДК 544.431.2

## КАТАЛИТИЧЕСКАЯ РОЛЬ ВОДОРОДНЫХ СВЯЗЕЙ В ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ

**Варфоломеева В.В., Терентьев А.В.**

*Самарский университет, Россия 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34  
e-mail: [varf2@ssau.ru](mailto:varf2@ssau.ru)*

Определена каталитическая роль водородных связей в системе «хлорангидрид – спирт» на границе раздела фаз. Найдены пути управления реакцией с помощью образующихся тримолекулярных водородно-связанных комплексов. Методом B3LYP/aug-cc-pVDZ получены свободные энергии активации реакции  $\Delta G^\ddagger$ .

The catalytic role of hydrogen bonds in the "acid chloride - alcohol" system at the interface has been determined. The ways of controlling the reaction with the help of the formed trimolecular hydrogen-bonded complexes have been found. The free activation energies of the reaction  $\Delta G^\ddagger$  were obtained by the B3LYP/aug-cc-pVDZ method.

Задача настоящего исследования заключается в развитии подходов применения каталитической способности водородных связей для поиска энергетически более выгодных путей реакции, а также проверке гипотезы о возможности управления объектом образующимися водородно-связанными комплексами с кооперативным характером водородных связей в нейтральных средах на границе раздела фаз. Объектом исследования является система «хлорангидрид – спирт» с внутри- и межмолекулярными водородными связями в предреакционных комплексах и промежуточных соединениях. Для достижения поставленной задачи использовали системный подход к проблеме, основанный на рассмотрении объекта исследования как целостной системы и её поэтапное представление в рамках модели «структура – свойства». Сущность изучаемых физико-химических процессов раскрывается обобщённостью подхода к решению проблемы поиска менее энергозатратного пути при каталитическом и адсорбционном воздействии на молекулярную систему.

Создание условий для реализации выгодного пути осуществляется при помощи включения в процесс третьего участника реакции (ОН-группа

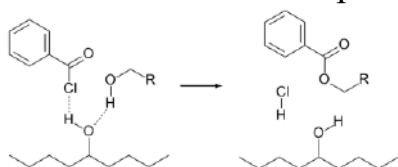


Рис. 1. Предреакционный водородно-связанный комплекс с ОН-группой адсорбента СХ-1 (слева) и продукты реакции (справа).

адсорбента СХ-1). Таким образом, отдельная молекула приобретает скоординированную водородной связью направленность к образованию устойчивого тримолекулярного водородно-связанного комплекса (рис.1).

Принципиальным при этом является то обстоятельство, что если третий участник способствует образованию водородной связи, и участвует в процессах переноса протона, то реализуются две формы воздействия на объект: адсорбционное и каталитическое. Тогда водородные связи могут рассматриваться как частично активированные прекурсоры таких реакций [1].

Для проверки гипотезы проведены реакции между хлорангидридом бензойной кислоты и спиртами (этанол, пропанол, *n*-бутанол) в среде *n*-гептана на графитированной термической саже (ГТС) и силохроме СХ-1 ( $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $C = 0,1\text{ M}$ ). Заметим, что ароматические хлорангидриды значительно менее реакционноспособны, чем алифатические. Было установлено, что на ГТС и в её отсутствии в смеси оставались только реактанты. На СХ-1 реакция прошла с образованием этил-, пропил- и *n*-бутилбензоатов. За ходом реакции контроль осуществляли газохроматографическим методом на хроматографе «Модель 3700» с пламенно-ионизационным детектором. Следовые количества продуктов появлялись в течение получаса. Через 10 часов концентрация продуктов достигала примерно 70 %. Таким образом, было экспериментально подтверждено, что в реакции хлорангидридов карбоновых кислот со спиртами третий участник СХ-1, неплоская поверхность которого покрыта по-разному ориентированными гидроксильными группами, является катализатором.

Прямое включение в процесс СХ-1 активирует тримолекулярный механизм даже в разбавленных растворах. Это доказывает селективность процесса при заданном подборе условий адсорбционного и каталитического воздействия на объект. Для тримолекулярных процессов большое значение имеет контакт молекул на границе раздела фаз, затрагивающий лишь небольшую часть всей молекулярной системы. Поэтому управлять процессом можно манипулируя не самим веществом, а фрагментами при помощи образующихся водородных связей.

Переход от ГТС к СХ-1 показал увеличение энергии водородной связи адсорбат-адсорбент, что сильнее отражается на увеличении доли плоских конформеров без внутримолекулярных водородных связей  $\text{C}\cdots\text{O}$  и, как следствие, увеличение реакционной способности между хлорангидридами карбоновых кислот и спиртами. Таким образом, роль СХ-1 заключается в том, чтобы обеспечить альтернативный путь реакции с меньшей величиной свободной энергии активации реакции  $\Delta G^{\ddagger}$ , чем она была бы в отсутствие адсорбента. На величину разницы свободных энергий  $\Delta G$  присутствие СХ-1 не влияет. Реакционные барьеры рассчитаны методом B3LYP/aug-cc-pVDZ.

#### Литература

Arunan E., Desiraju G.R., Klein R.A., et al. Definition of the Hydrogen Bond: An Account (IUPAC Technical Report) // Pure and Applied Chemistry. 2011. Vol. 83. Iss. 8. P. 1619–1636.

**Каламбет Ю.А.<sup>1</sup>, Козьмин Ю.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ООО Амперсенд, Россия 117437, А/Я 14

<sup>2</sup> ИБХ РАН, Россия 117437, г. Москва, улица Миклухо-Маклая, дом 16/10;

e-mail: [kalambet@ampersand.ru](mailto:kalambet@ampersand.ru)

Обсуждаются детали реализации сбора и обработки данных программами для хроматографии. Особое внимание уделяется методам сглаживания шума, вычисления отношения сигнал/шум, надежным способам оценки параметров пиков в случае узких пиков.

Details of data acquisition and processing in chromatography are discussed. Special attention is paid to methods of data smoothing, signal-to-noise calculation, robust methods of peak parameters evaluation in the case of very narrow peaks.

Доклад основан на работах, выполненных с участием сотрудников ООО «Амперсенд» в последние годы [1–7], в нём обсуждаются способы решения типовых проблем обработки данных:

- ✓ **С какой скоростью собирать данные от хроматографических детекторов?**

Обсуждаются типы аналого-цифровых преобразователей и влияние помех, происходящих от электрической силовой сети.

- ✓ **Что такое сырые данные и можно ли их потреблять сырыми?**

Связь концепция сырых данных с их обработкой при фильтрации шумов.

- ✓ **Как оценивать отношение сигнал/шум? Фармакопейное определение шума: смещённая и несостоятельная оценка**

Статистическая оценка концепции измерения шума «пик-к-пику» на примере белого шума

- ✓ **Фильтровать или не фильтровать? Явные и неявные фильтры. Существует ли оптимальный фильтр и, если существует, как он выглядит? Какова плата за оптимальность?**

Оказывается, что если в качестве критерия оптимальности взять минимизацию относительной погрешности площади или высоты, то у

каждого линейного фильтра найдется оптимальная ширина. Минимальное значение погрешности бывает у фильтра, называемого согласованным. Проведено сравнение результатов фильтрации согласованного фильтра и (нелинейного) локально-оптимального фильтра, разработанного нами ранее [3,8] и основанного на минимизации доверительного интервала аппроксимации.

✓ **Как обрабатывать данные в случае очень узких пиков?**

Некоторые методы (двумерная хроматография, хромато-масс-спектрометрия) приводят к сигналам с очень малым числом точек, описывающих пик. Показано, что площадь пика Гауссовой формы считается с удовлетворительной погрешностью уже при трёх точках на его ширину по основанию. Локально-оптимальный фильтр способен существенно улучшать отношение сигнал/шум для узких пиков.

✓ **Что делать, если пики перекрываются в случае одномерных и многомерных измерений? Как оценить гомогенность пика?**

Описываются способы оценки площадей перекрывающихся пиков при одноканальном и многоканальном детектировании.

**Литература**

1. Kalambet Y.A. Data acquisition and integration // *Gas Chromatography*. Second Edition / ed. Poole K.F. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2021. P. 505–524.
2. Каламбет Ю.А. Оптимизация параметров линейного сглаживания хроматографических пиков // *Научное приборостроение*. 2019. Vol. 29, № 3. P. 51–62.
3. Каламбет Ю.А., Козьмин Ю.П., Самохин А.С. Фильтрация шумов. Сравнительный анализ методов // *Аналитика*. 2017. № 5. P. 88–101.
4. Самохин А.С., Гусев А.Е., Каламбет Ю.А. Математический подход к устранению искажений масс-спектров, зарегистрированных на склонах хроматографических пиков // *Аналитика и контроль*. 2017. Vol. 21, № 2. P. 144–152.
5. Самохин А.С., Каламбет Ю.А. Определение параметров функции развертки квадрупольного масс-спектрометра // *Аналитика и контроль*. 2018. Vol. 22, № 2. P. 168–176.
6. Kalambet Y.A., Kozmin Y.P., Samokhin A. Comparison of integration rules in the case of very narrow chromatographic peaks // *Chemom. Intell. Lab. Syst.* Elsevier Ltd, 2018. Vol. 179, № May. P. 22–30.
7. Kalambet Y.A., Kozmin Y.P. Internal standard arithmetic implemented as relative concentration/relative calibration // *J. Chemom.* 2019. Vol. 33, № 6. P. 1–10.
8. Каламбет Ю.А., Мальцев С.А., Козьмин Ю.П. Фильтрация шумов: окончательное решение проблемы // *Аналитика*. 2011. Vol. 1, № 1. P. 50–55.



УДК 543

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНАЛЬГЕТИКА КВ-R7943  
В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ МЕТОДОМ  
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ  
С МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ<sup>1</sup>**

**Беляков М.В.<sup>1</sup>, Каракашев Г.В.<sup>1</sup>, Сухов И.Б.<sup>2</sup>, Дашиева В.Ж.<sup>3</sup>,  
Сибаров Д.А.<sup>2</sup>, Шестакова Н.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, г.п.Кузьмолово, ст. Капитолово, корп. №93, Всеволожский р-н, Ленинградская обл., 188663, Российская Федерация; <sup>2</sup>Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, пр. Тореза, д. 44, г. Санкт-Петербург, 194223, Российская Федерация; <sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, ул. Политехническая, д. 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация.  
e-mail: [beliakov@gpech.ru](mailto:beliakov@gpech.ru)

Представлены результаты разработки методики определения перспективного анальгетика КВ-R7943 в биологических тканях, и исследования процессов его метаболизма в тканях крыс.

Development of method for determination of the analgesic KB-R7943 in biotissues and study of metabolic processes of KB-R7943 are presented.

Метилсульфонат 2-[2-[4-(4-нитробензилокси)фенил]этилизотиомочевини (КВ-R7943) является эффективным ингибитором натрий-кальциевого обмена, играющего ключевую роль в функционировании нейронов, и хорошо изучен как селективный и клинически безопасный регулятор трансмембранного ионного обмена при сердечно-сосудистых, почечных и нервных заболеваниях. Одна из исследуемых в настоящее время возможностей применения КВ-R7943 основана на его анальгетических свойствах. Его безопасное использование в качестве анальгетика предполагает знание процессов его метаболизма в организме, а также возможность количественного определения в различных биологических тканях.

В докладе представлены результаты исследования распределения анальгетика в различных биологических тканях крыс, установленного согласно разработанной процедуре определения КВ-R7943 методом ВЭЖХ-МС/МС. Представлены данные о скорости накопления и выведения анальгетика и исследование его метаболизма. Метод ВЭЖХ-МС/МС ранее не применялся для изучения фармакокинетических процессов КВ-R7943 вследствие сложности процедуры извлечения, а также сильных матричных эффектов. Представлены результаты разработки методики, и влияние условий анализа на правильность измерений.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-515-18008).

УДК 504.75

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКОТОКСИКАНТОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ РИСКА

**Баторова Г.Н.<sup>1</sup>, Норбоева Б.С.<sup>1</sup>, Батуева И.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «БГУ», Республика Бурятия 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а;  
e-mail: [batorova@inbox.ru](mailto:batorova@inbox.ru)

На сегодняшний день один из более перспективных подходов по ранжированию факторов окружающей среды является «концепция риска». Благодаря чему устанавливается не порог «безопасности», а допустимый порог, то есть предельный, за который нельзя переходить, но который все же предусматривает нанесение ущерба населению в «статистических» пределах, обоснованных экологическими, техническими или другими нормативами.

Today, one of the more promising approaches to ranking environmental factors is the «concept of risk». Due to this, not a threshold of «safety» is established, but an admissible threshold, that is, a limit that cannot be crossed, but which nevertheless provides for damage to the population within «statistical» limits justified by environmental, technical or other standards.

Результаты, получаемые на основе расчета канцерогенного риска воздействия химических веществ, обычно представляются в виде верхних пределов дополнительного риска (предполагаемая частота заболеваний в результате воздействия загрязняющих веществ в определенной концентрации), или в виде верхних уровней концентрации загрязняющих веществ при заданном уровне риска (как правило,  $10^{-5}$  или  $10^{-6}$ ). [1]

Цель данного исследования заключалась в апробации концепции пожизненного канцерогенного риска для населения Республики Бурятия при употреблении воды, загрязненной химическими веществами неорганической природы.

В данной работе использована методология, применяемая Агентством по охране окружающей среды США [3, 4], для количественной оценки канцерогенного риска воздействия химических веществ и элементов, присутствующих в питьевых и поверхностных природных водах на примере Заиграевского района Республики Бурятия.

Формула на основе, которой производились наши расчеты уровня канцерогенного пожизненного риска:

$$R = \frac{(RSD \times W \times q1^*)}{P}$$

где: R – уровень дополнительного риска, RSD (мг/л) – доза риска (концентрация токсиканта в воде), W – количество воды, выпиваемой человеком в день (2 л),  $q1^*$  [(мг/кг/день)]<sup>-1</sup> – фактор токсичности

соединений для человека, рассчитываемый по линеализованной модели «доза-эффект»,  $P$  – средняя масса человека (70 кг).

По результатам исследований природной воды реки Брянка Заиграевского района, были получены данные по содержанию химических элементов. Определение по количественному содержанию элементов, производилось при помощи масс-спектрометра с индуктивной связанной плазмой *ICP-MS Element XR, Thermo Scientific Fisher*.

Для апробации методологии нами были отобраны, следующие токсиканты: мышьяк (As), свинец (Pb), хром (Cr) и кадмий (Cd).

Результаты расчетов уровня дополнительного канцерогенного риска приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения дополнительного риска ( $R_{\text{макс.}}$ ,  $R_{\text{ср.}}$ ) при потреблении воды, содержащей канцерогенные неорганические соединения в природной воде реки Брянка Заиграевского района

ТОКСИКАНТ	$R_{\text{макс.}}$	$R_{\text{ср.}}$
	МГ/Л	МГ/Л
AS	$8,4 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$
PB	$5,4 \times 10^{-7}$	$4,9 \times 10^{-7}$
CR	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,01 \times 10^{-5}$
CD	$1,5 \times 10^{-6}$	$1,28 \times 10^{-6}$

Исходя из полученных результатов исследования, можно отметить, что неорганические соединения, приводящих к наибольшим уровням канцерогенного риска для здоровья населения, не превышают верхних пределов допустимого риска.

Рассматриваемый подход при более масштабном исследовании позволит выявить критически экологические факторы для дальнейшего ранжирования районов Республики Бурятия по уровню риска.

Для корректной оценки дополнительного канцерогенного риска, связанного с потреблением воды, необходимо получить более полный объем аналитических данных, особенно по приоритетным токсикантам.

### Литература

1. Руководство по оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920-04. – М., 2004.
2. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. М., 2008.
3. Crouch E.A.C, Wilson R., Zeise L. The risks of drinking water //Water Resources Res. – 1983.
4. Nowell L.H (1), Resek E.A. National standards and guidelines for pesticides in water, sediment, and aquatic organisms: application to water-quality assessments //Rev. Environ. Contam. Toxicol. – 1994.
5. The Integrated Risk Information System (IRIS), prepared and maintained by the U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). – Cincinnati, OH: Health and Environmental Assessment, ECAD, 1987-1996.

УДК 541.181

## ВОЗМОЖНОСТЬ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ АНИОННЫХ ПАВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА

Славинская Г.В.<sup>1</sup>, Куренкова О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Воронежский государственный технический университет*

*Россия, г. Воронеж, Московский просп., 14. тел.: 79529503387, e-mail: slavgv@mail.ru*

<sup>2</sup>*Кадетский корпус (инженерная школа) Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Г. Жуковского и Ю.А. Гагарина»*

*Россия, г. Воронеж, 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 «А».  
тел. (473)223-46-55, e-mail: [robi57@mail.ru](mailto:robi57@mail.ru)*

Показана возможность извлечения анионных ПАВ на примере некаля ( $C_{18}H_{23}SO_3Na$  - додецилнафталинмоносульфоната натрия) сорбцией на анионитах с третичными аминогруппами с десорбцией щелочными растворами. Электродиализом с катионообменными мембранами щелочь возвращена в процесс регенерации. Некаль выделен в качестве целевого продукта.

The possibility of extracting anionic surfactants by the example of nekal ( $C_{18}H_{23}SO_3Na$  - sodium dodecyl naphthalene monosulfonate) by sorption on anion exchangers with tertiary amino groups with desorption with alkaline solutions has been shown. Electrodialysis with cation exchange membranes returns the alkali to the regeneration process. Nekal was isolated as a target product.

Широкое применение поверхностно-активных веществ при производстве каучуков (некаль) и моющих средств в быту стало причиной тотального загрязнения этими веществами воды не только поверхностных водоемов, но и артезианских источников.

Среди испытанных нами смол можно выделить в качестве эффективных для сорбции некаля аниониты с третичными аминогруппами: ЭДЭ-10П и Wofatit AD-41. Предпочтительнее использовать последний, так как десорбцию некаля из него можно осуществлять 0,25 М NaOH, а из анионита ЭДЭ-10П - щелочными растворами на основе органических растворителей. В процессе ресурсных испытаний в динамическом режиме в условиях, оптимальных с позиций равновесных, кинетических и динамических нами проведено 15 циклов сорбции-десорбции некаля на анионите Wofatit AD-41 с эффективностью очистки 90-60 %.

Кроме того, показана возможность извлечение некаля в качестве целевого продукта электродиализом в аппарате с двумя катионообменными мембранами. При этом практически вся щелочь возвращается на следующую регенерацию после доукрепления раствора до концентрации 0,25 М.

УДК 551.464.679

**СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ИЗОТОПОВ РАДИЯ  
ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ<sup>1</sup>****Козловская О.Н., Шибецкая Ю.Г., Бежин Н.А., Довгий И.И.**

МГИ РАН, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
e-mail: [o.n.kozlovska@gmail.com](mailto:o.n.kozlovska@gmail.com)

Изотопы радия ( $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) являются трассерами процессов взаимодействия подземных и морских вод в прибрежных районах. Для их концентрирования широко используются сорбционные методы. В работе приводятся результаты использования сорбента на основе полиакрилонитрильного волокна импрегнированного диоксидом марганца ( $\text{MnO}_2$ -ПАН).

Radium isotopes ( $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) are tracers of the processes of groundwater and seawater interaction in coastal regions. Sorption methods are widely used for their concentration. The results of using a sorbent based on polyacrylonitrile fiber impregnated with manganese dioxide ( $\text{MnO}_2$ -PAN) are presented in the paper.

Сорбент  $\text{MnO}_2$ -ПАН получали нагреванием ПАН в 0,5 М растворе  $\text{KMnO}_4$ , затем отмывали дистиллированной водой, сушили и распушали для увеличения площади поверхности. Содержание  $\text{MnO}_2$  в образцах сорбента около 20%. Для определения эффективности сорбции изотопов радия использовали два адсорбера. Степень извлечения рассчитывали по формуле  $E = 1 - A / B$ , где  $A$  – активность радионуклида на первом адсорбере,  $B$  – активность радионуклида на втором адсорбере. Активность долгоживущих изотопов радия ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) определяли гамма-спектрометрически без радиохимической пробоподготовки или с использованием альфа, бета-радиометрии и соосаждением радия с сульфатом бария. Для гамма-спектрометрических измерений сорбент озоляли, золу заливали в чашках Петри эпоксидной смолой. Активность  $^{226}\text{Ra}$  определяли по дочернему радионуклиду  $^{214}\text{Pb}$  с энергией 351,9 кэВ ( $q_\gamma = 37,2\%$ ),  $^{228}\text{Ra}$  по дочернему  $^{228}\text{Ac}$  ( $T_{1/2} = 6,1$  ч,  $q_\gamma = 27,7\%$ ) с энергией 911,6 кэВ.

При использовании данного сорбента наблюдаются высокие степени извлечения радия (более 90%) из проб морской воды до 200 л со скоростью пропускания до 0,25 л/мин через навеску сорбента массой 5 г. В настоящее время данный сорбент успешно использовался для изучения распределения радия в Черном море в 3 экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» (106, 113, 116 рейс) и 5 прибрежных экспедициях.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2021-0004).

УДК 551.464.679

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ СОРБЕНТАМИ  
ИМПРЕГНИРОВАННОГО ТИПА НА ОСНОВЕ КРАУН-ЭФИРОВ<sup>1</sup>****Довгий И.И.<sup>1,2</sup>, Бежин Н.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>МГИ РАН, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
<sup>2</sup>СевГУ, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
e-mail: [dovhyi.illarion@yandex.ru](mailto:dovhyi.illarion@yandex.ru)

Исследование материалов для селективного концентрирования радионуклидов является актуальной задачей. Экстракционно-хроматографические сорбенты широко используются для радиоаналитического определения значительного числа изотопов в объектах окружающей среды.

The study of materials for the selective concentration of radionuclides is an urgent task. Extraction chromatographic sorbents are widely used for the radioanalysis of a significant number of isotopes in environmental objects.

Нами изучены физико-химические параметры (коэффициенты распределения, ДОЕ, ПДОЕ) и закономерности (кинетика, изотерма, селективность) извлечения ряда химических элементов (Co, Sr, Cs, Pb, Au), а также их радиоактивных изотопов (<sup>60</sup>Co, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb) сорбентами импрегнированного типа на основе краун-эфиров.

Возможность селективного отделения от сопутствующих элементов на стадии сорбции-десорбции показана при извлечении Sr и Pb из азотнокислых растворов, Co из роданидных растворов, Cs из пикратных растворов, Au из солянокислых растворов.

Изучены влияния компонентов (содержание краун-эфира, тип носителя и разбавителя) и условий получения сорбента на равновесные значения параметров сорбции. Показано, что кинетика процесса сорбции подчиняется закономерностям псевдвторого порядка, т.е. контролируется хемосорбцией. Изотермы сорбции описаны уравнением Ленгмюра, определены максимальные емкости и константы сорбции для полученных сорбентов. На ряд полученных материалов были получены патенты [1, 2]. Сорбенты успешно использовались для определения радионуклидов (<sup>60</sup>Co, <sup>90</sup>Sr, <sup>210</sup>Pb) в технологических и природных средах.

**Литература**

1. Пат. 2636482 РФ.
2. Пат. 2699631 РФ.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета, идентификатор проекта 42-01-09/169/2021-7, государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2021-0004)

УДК 551.464.679

**СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ТОРИЯ-234  
ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ<sup>1</sup>****Шибецкая Ю.Г.<sup>1,2</sup>, Бежин Н.А.<sup>1,2</sup>, Довгий И.И.<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>МГИ РАН, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2<sup>2</sup>СевГУ, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33e-mail: [iuliia.shibetskaia@gmail.com](mailto:iuliia.shibetskaia@gmail.com)

Сорбционные методы в настоящее время являются основными для концентрирования радионуклидов из морской воды. Их достоинством является наличие селективных сорбентов для многих радионуклидов, простое аппаратное исполнение и высокая производительность. Одним из широко изучаемых в океанологии радионуклидов является <sup>234</sup>Th. Разработка эффективных методов концентрирования <sup>234</sup>Th является актуальной задачей.

Sorption methods are currently the main ones for the concentration of radionuclides from seawater. Their advantage is the presence of selective sorbents for many radionuclides, simple hardware design and high performance. One of the radionuclides widely studied in oceanology is <sup>234</sup>Th. The development of effective methods for concentrating <sup>234</sup>Th is an urgent task.

<sup>234</sup>Th является короткоживущим изотопом с периодом полураспада 24,1 сут. Его поведение в морской среде отличается от родительского <sup>238</sup>U. <sup>238</sup>U находится в морской воде в растворенной форме, его концентрация увеличивается с соленостью морской воды. Корреляционные зависимости известны и широко используются для расчета концентрации <sup>238</sup>U в морской воде. В тоже время <sup>234</sup>Th сорбируется на взвешенном веществе. Данные о нарушении равновесия между <sup>238</sup>U и дочерним <sup>234</sup>Th, адсорбирующемся на взвешенном веществе, позволяет оценить значение потоков взвешенного органического углерода в океане.

Для концентрирования <sup>234</sup>Th из морской воды наиболее часто используются осадительные и сорбционные методы. Пробы морской воды объёмом 0,25-2 м<sup>3</sup> отбирались нами в ходе 106-го и 116-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий». <sup>234</sup>Th концентрировали с использованием различных сорбентов. Показаны высокие эффективности извлечения <sup>234</sup>Th для сорбентов MnO<sub>2</sub>-ПАН собственного производства (84%), Модикс (100%), ФД (89%). Данные материалы могут быть рекомендованы для концентрирования <sup>234</sup>Th из морской воды.

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета, идентификатор проекта 42-01-09/169/2021-7 и государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации («Океанологические процессы» № 0555-2021-0004).

УДК 543.68

**ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА  
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ****Селеменев В.Ф.<sup>1</sup>, Рудакова Л.В.<sup>2</sup>, Рудаков Я.О.<sup>3</sup>, Рудаков О.Б.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Воронежский государственный университет, Россия 394036, г. Воронеж,  
Университетская пл., 1*

<sup>2</sup>*Воронежский государственный медицинский университет, Россия 394036 г.  
Воронеж, ул. Студенческая д. 10*

<sup>3</sup>*Воронежский государственный технический университет, Россия 394006, г.  
Воронеж, ул. 20-летия Октября, д.84; e-mail: [robi57@mail.ru](mailto:robi57@mail.ru)*

В статье рассмотрены возможности применения цифровой цветометрии с применением мобильных цветорегистрирующих устройств – смартфонов в контроле качества пищевой продукции, лекарственных средств, состояния биологических сред. Цифровые цветометрические методики отличаются оперативностью, низкой стоимостью единичного анализа. Показана возможность применения смартфонов во внелабораторных условиях.

The article discusses the possibilities of using digital colorimetry with the use of mobile color-registering devices - smartphones in quality control of food products, medicines, and the state of biological media. Digital colorimetric techniques are distinguished by their efficiency and low cost of a single analysis. The possibility of using smartphones in out-of-laboratory conditions is shown.

В фармацевтической и пищевой промышленности в последние 15 лет цифровая цветометрия (ЦЦМ) получила признание и дальнейшее развитие. Наряду с цифровыми фотокамерами и планшетными сканерами стали использовать мобильные цветорегистрирующие устройства, а именно смартфоны [1,2]. Применение ЦЦМ для определения параметров цветности продукции, например, цветного числа растительных масел, или содержания натуральных красителей в экстрактах из растительного сырья, или их концентрации в окрашенных ими продуктах с применением смартфонов позволяет быстро оценить характерный цвет образца, обнаружить, идентифицировать и даже определить содержание анализируемых поглощающих в видимой части спектра веществ в пробе с использованием простых приспособлений и методик пробоподготовки, а также алгоритмов расчета результатов анализа на доступном программном обеспечении. Причем выполнение анализа можно реализовать во внелабораторных условиях. По своей сути смартфон – это миникомпьютер с большими возможностями, снабженный цифровой фотокамерой. В лабораторных условиях можно провести хромофорную реакцию на искомый компонент в лекарственном средстве или продукте, биологической жидкости – урине, крови, слезе. По изменению



интенсивности цветовых компонент качественно или количественно установить наличие аналита [3]. Важно обеспечить воспроизводимость условий регистрации видеосигнала. В целях стандартизации цифровой съемки, фотографирование необходимо проводить при фиксации смартфона на одинаковом расстоянии от лунок типового микропланшета *UniCell* (для твердых и непрозрачных проб), или кювет (для растворов) при одинаковом освещении. Так, цифровое изображение можно получать в боксе с искусственным освещением с креплением для смартфона [2]. Для идентификации образцов можно использовать не искусственные образцы сравнения, а заведомо подлинные продукты с характерными параметрами цветности. Градуировочные функции «параметр цветности – концентрация аналита» для его количественного определения с коэффициентами детерминации  $R^2 > 0.90$  нередко имеют линейный вид в диапазоне, более широком, чем в других оптических методах. Параметры цветности регистрировали с помощью смартфонов разных марок, для обработки цифровых изображений испытали несколько программ, совместимых с мобильными гаджетами: *RGB. Android 1.0.47*, *Pixel Picker 1.3.0.23*, *Color Grab 3.6.1* и др. Однофакторный анализ показал, что межприборные погрешности, воспроизводимость и сходимость результатов измерений не превышают нормированных значений для оптических методов анализа. Градуировочные функции «параметр цветности – концентрация цветного аналита» для его количественного определения зачастую с коэффициентами детерминации  $R^2 > 0.90$  имели линейный вид  $F'_i = a + bW$ , где  $W$  – массовая доля контролируемого компонента, %,  $a, b$  – эмпирические коэффициенты. Нелинейные зависимости в ряде измерений линеаризовались градуировочными функциями, которые имели вид полулогарифмических анаморфоз  $F'_i = a - b \ln W$ .

Таким образом, ЦЦМ с применением смартфонов является перспективным способом оперативного способа контроля качества фармацевтической и пищевой продукции в местах хранения, реализации на разных участках технологической линии производства продукции и в других внелабораторных условиях.

### Литература

1. Шульц Э.В., Моногарова О.В., Осколок К.В. Цифровая цветометрия: аналитические возможности и перспективы использования // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2019. Т. 60, № 2. С. 79-87.
2. Черноусова О.В., Рудаков О.Б. Цифровые изображения в аналитической химии для количественного и качественного анализа // Химия, физика и механика материалов. 2019. №2. С.55-125.
3. Рудакова Л.В., Россихина Е.Ю., Рудаков О.Б. и др. Усовершенствование экстракционно-инструментальных методик определения парацетамола с применением ВЭЖХ, ТСХ, фотоколориметрии и цифровой цветометрии // Сорбционные и хроматографические процессы, 2013, Т.13. №4. С. 482-491.

УДК 543.544.5.068.7

## ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ОФ ВЭЖХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНЫХ СООТНОШЕНИЙ

**Зенкевич И.Г., Никитина Д.А., Деруиш А.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, Россия,  
Санкт-Петербург 198504, Университетский просп., 26;  
E-mail: [izenkevich@yandex.ru](mailto:izenkevich@yandex.ru)*

Обсуждается возможность подтверждения образования гидратов органических соединений в условиях обращенно-фазовой ВЭЖХ. Критерием являются особенности рекуррентной аппроксимации параметров удерживания  $t_R(C + \Delta C) = at_R(C) + b$ , а именно ее отклонения от линейности.

The formation of hydrates of organic compounds in the conditions of RP HPLC is discussed. The criterion is the features of recurrent approximation of retention parameters,  $t_R(C + \Delta C) = at_R(C) + b$ , namely its deviations from linearity.

В обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ ВЭЖХ) разделяемые компоненты (X) выходят из колонки в потоке содержащих воду элюентов. Это определяет возможность обратимого образования их гидратов (чаще всего  $n = 1$ ):



Образование гидратов характеризуют константы гидратации,  $K_{\text{равн}}$ :

$$K_{\text{равн}} = [X \cdot nH_2O] / ([X] \times [H_2O]) \quad (2)$$

Если  $K_{\text{равн}} \ll 1$ , то присутствием гидратов можно пренебречь, но если  $K_{\text{равн}} \gg 1$ , то пренебречь можно безводными формами аналитов. Существует некоторая область значений  $K_{\text{равн}} \approx 1$ , когда соотношение гидратированных и негидратированных форм аналитов сильно зависит от содержания органического компонента ( $C$ , %) и воды ( $100 - C$ , %) в элюенте, что приводит к аномалиям их хроматографического удерживания. Выявление образования гидратов осложняется нелинейностью зависимости  $t_R = f(C)$ , но возможно с использованием рекуррентных соотношений:

$$t_R(C + \Delta C) = at_R(C) + b \quad (3)$$

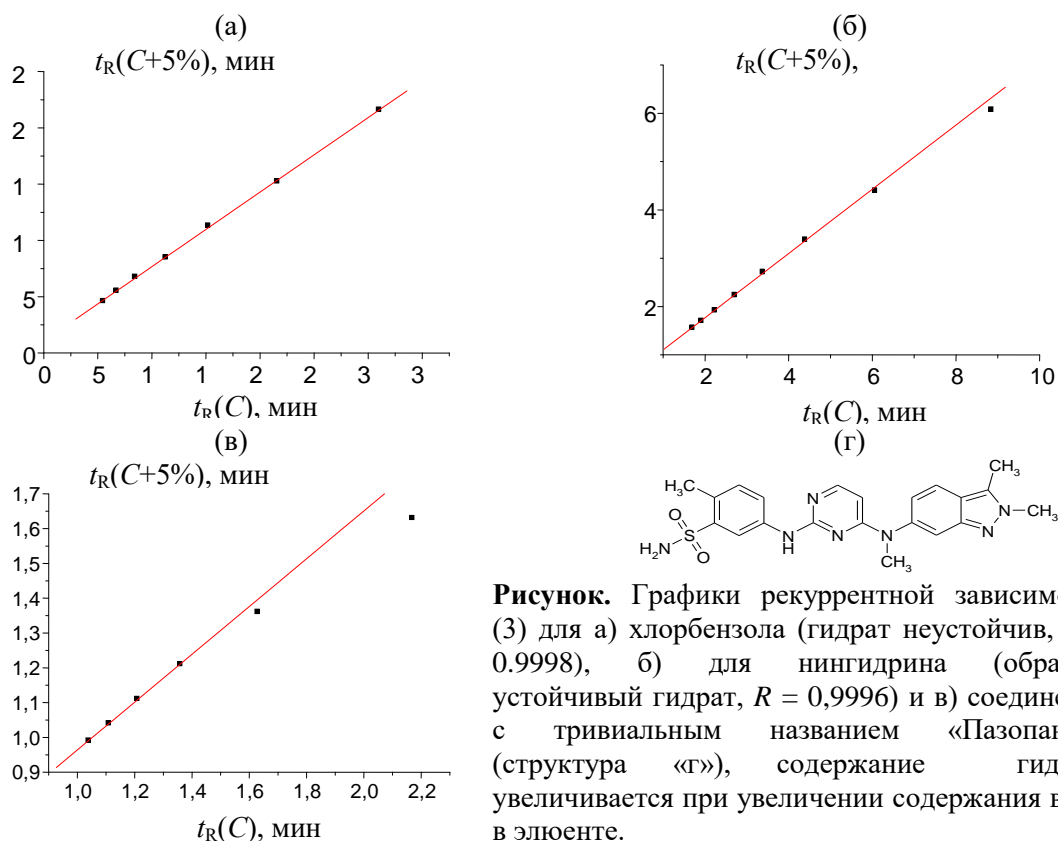
где  $\Delta C = \text{const}$  – постоянный «шаг» варьирования концентрации органического компонента элюента,  $a$  и  $b$  – коэффициенты, вычисляемые методом наименьших квадратов.

Если аналитические формы аналитов неизменны во всем интервале  $C_{\text{мин}} < C < C_{\text{макс}}$ , то рекуррентные зависимости (3) линейны (коэффициенты корреляции  $R > 0.999$ ). Если же наблюдаются обратимые вариации соотношения их негидратированных и гидратированных форм (1), то линейность зависимостей (3) нарушается [1]. Такой же характер рекуррентных зависимостей наблюдается для температурной зависимости

растворимости неорганических солей  $S(T)$  в воде [2], когда образование их гидратных форм приводит к нелинейности соответствующих рекуррентных соотношений:

$$S(T + \Delta T) = aS(T) + b \quad (4)$$

Примеры графиков рекуррентных зависимостей приведены на Рисунке (а–в) для хлорбензола (неустойчивым гидратом можно пренебречь), нингидрина (существует только гидрат) и лекарственного препарата «Пазопаниб», содержание гидрата зависит от содержания воды в элюенте.



**Рисунок.** Графики рекуррентной зависимости (3) для а) хлорбензола (гидрат неустойчив,  $R = 0,9998$ ), б) для нингидрина (образует устойчивый гидрат,  $R = 0,9996$ ) и в) соединения с тривиальным названием «Пазопаниб» (структура «г»), содержание гидрата увеличивается при увеличении содержания воды в элюенте.

Аномалии рекуррентной аппроксимации параметров удерживания выявлены для серии *n*-толуолсульфонамидов  $\text{CH}_3\text{-C}_6\text{H}_4\text{-SO}_2\text{NR}_2$ , образующих гидраты за счет присутствия полярных групп  $-\text{SO}_2\text{NR}_2$  или  $-\text{SO}_2\text{NHR}$ . Аномалии зависимости (3) наиболее выражены для содержащих ацетонитрил элюентов и не зависят от типа сорбентов в колонках (EC-C18, EC-CN), так как определяются не особенностями удерживания аналитов, а равновесиями (1) в растворах.

## Литература

1. Зенкевич И.Г., Никитина Д.А. Особенности рекуррентной аппроксимации параметров удерживания полифункциональных соединений в обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии // Журн. физич. химии. 2021. Т. 95. № 2. С. 285-293.
2. Зенкевич И.Г. Рекуррентная аппроксимация температурной зависимости растворимости неорганических солей в воде // Журн. физич. химии. 2021. Т. 95. № 7. С. 1036-1050.

УДК 551.464.679

**КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ЦЕЗИЯ И СТРОНЦИЯ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ СОРБЕНТАМИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ<sup>1</sup>****Бежин Н.А.<sup>1,2</sup>, Довгий И.И.<sup>1,2</sup>, Милютин В.В.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> МГИ, Россия 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2<sup>2</sup> СевГУ, Россия 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33<sup>3</sup> ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;  
e-mail: [nickbezhin@yandex.ru](mailto:nickbezhin@yandex.ru)

Проведено исследование извлечения цезия и стронция из морской воды в лабораторных и экспедиционных условиях с использованием одноколоночного метода. Определены значения коэффициентов распределения, ДОЕ и ПДОЕ сорбентов.

A study of cesium and strontium sorption from seawater under laboratory and expeditionary conditions using a one-column method was carried out. The values of the distribution coefficients, DEC and TDEC of sorbents were determined.

Проведено исследование извлечения цезия и стронция из морской воды в лабораторных и экспедиционных условиях. Извлечение цезия проводили сорбентами на основе ферроцианидов переходных металлов (Анфеж, Никет, Уникет, ФСС, ФД-М, Термоксид 35, НКФ-Ц), резорциноформальдегидного полимера (Ахiонит RCs), фосфата циркония (Термоксид 3А), стронция – сорбентами на основе оксида марганца (Модикс, МДМ, ДММ, волокно, импрегнированное MnO<sub>2</sub>), оксида фосфора (ФД), гидроксида циркония (Термоксид 3К), силиката бария (СРМ-Sr).

Определены значения коэффициентов распределения цезия и стронция. Построены выходные кривые сорбции при различной скорости пропускания морской воды. Определены ДОЕ и ПДОЕ сорбентов.

Проведено исследование физико-химических закономерностей (изотерма и кинетика) сорбции цезия и стронция из морской воды. Полученные зависимости параметров сорбции от времени описаны с помощью моделей внутричастичной диффузии, псевдо-первого и псевдо-второго порядка, зависимости параметров сорбции от равновесной концентрации металла в растворе – с помощью изотерм сорбции Ленгмюра и Фрейндлиха.

Проведены испытания сорбентов по извлечению <sup>137</sup>Cs в ходе 113 и 116 рейсов НИС «Профессор Водяницкий» при различной скорости пропускания морской воды с использованием одноколоночного метода.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-60007 (конкурс «Перспектива»), государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2021-0004), Севастопольского государственного университета в рамках проекта 42-01-09/169/2021-7.

УДК 665.642:547.9

## АНАЛИЗ УГЛЕВОДОРОДОВ, МЕТАНОЛА И СЕРНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПОРИСТОСЛОЙНЫХ КАПИЛЛЯРНЫХ КОЛОНКАХ С НЕПОЛЯРНОЙ ФАЗОЙ

**Яковлева Е.Ю., Патрушев Ю.В.**

ФИЦ «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения РАН»  
630090, Россия, Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 5;  
e-mail: [yakovl@catalysis.ru](mailto:yakovl@catalysis.ru)

Определение углеводородов, метанола, сернистых соединений в газах природных, нефтяных попутных, сырой нефти и продуктов их переработки имеет важное экономическое значения для газо- и нефтеперерабатывающей промышленности. Продемонстрирована перспективность использования капиллярных пористослойных колонок размером 30м × 32 (53) мм (ПТМСР032 и ПТМСР053), приготовленных на основе ПТМСР (поли(1-триметилсилил-1-пропина)) с разной толщиной пленки, для определения примесей углеводородов C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub> и метанола в *n*-бутане с содержанием более 99%, а также остаточных углерод- и серосодержащих компонентов модельной смеси, близкую по составу к природному газу.

The determination of hydrocarbons, methanol, sulfur compounds in natural gases, oil associated, crude oil and products of their processing is of important economic importance for the gas and oil refining industry. The prospects of using capillary porous-layer columns 30m × 32 (53) mm in size (PTMSP032 and PTMSP053) prepared on the basis of PTMSP (poly (1-trimethylsilyl-1-propyne)) with different film thicknesses for the determination of impurities of C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub> hydrocarbons and methanol in *n*-butane with a content of more than 99%, as well as residual carbon- and sulfur-containing components of the model mixture, which is close in composition to natural gas have been demonstrated.

На колонке ПТМСР032 макрозона *n*-бутана селективно отделяется от сопутствующих примесей и разрешающая способность для пиков углеводородов C<sub>1</sub> – C<sub>2</sub>, а также структурных изомеров *o*-, *m*-, *p*- ксилолов существенно выше, чем для коммерческой колонки Rt-Q-BOND с полидивинилбензолом (рис. 1).

Высокая селективность и загрузочная емкость колонки ПТМСР032 позволяет без дополнительного этапа пробоподготовки анализировать примеси углеводородов и метанола.

Колонка ПТМСР053 селективно разделяет модельную смесь, близкую по составу к природному газу (рис. 2).

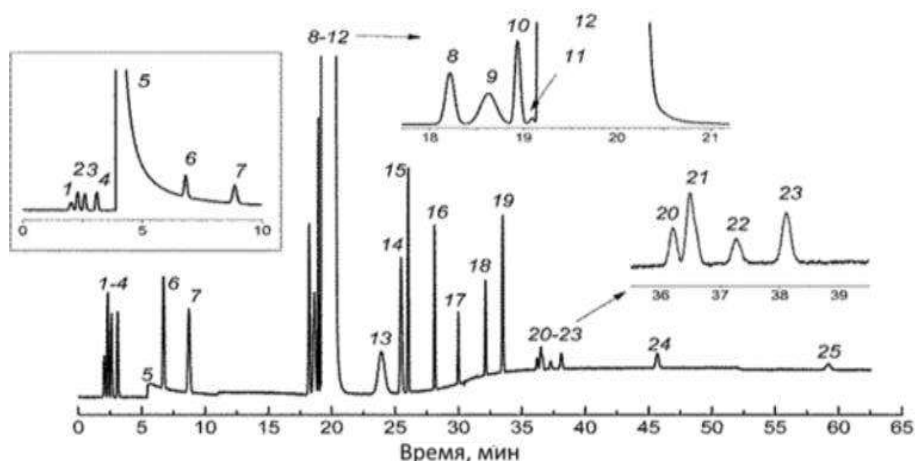


Рис. 1. Хроматограмма смеси компонентов на колонке ПТМСР032. 1 – метан, 2 – ацетилен, 3 – этилен, 4 – этан, 5 – метанол, 6 - пропилен, 7 – пропан, 8 – *l*-бутан, 9 – *i*- бутан, 10 - *транс*-2-бутене, 11 – *цис*-2-бутене, 12 – *n*-бутан, 13 – *нео*-пентан, 14 - *i* - пентан, 15 - *n* – пентан, 16 - *n* – гексан, 17- бензол, 18 – *n*- гептан, 19 - толуол, 20– *p*-ксилол, 21 – *m* – ксилол, 22 - *o* – ксилол, 23 - *n* – октан, 24 - *n* – нонан, 25 - *n* – декан

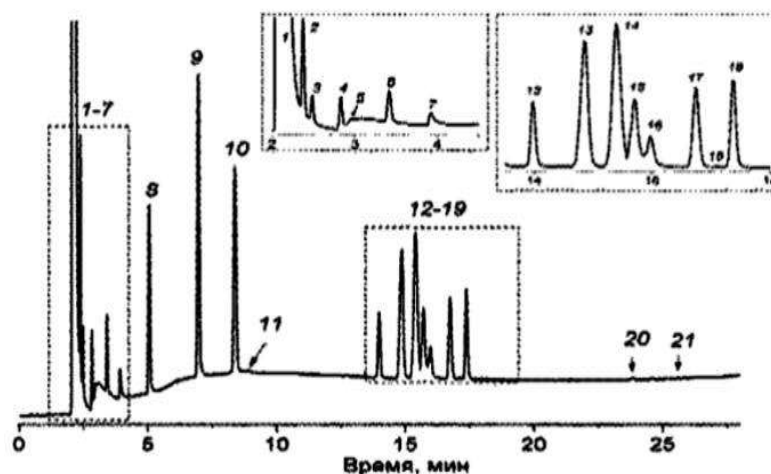


Рис. 2. Хроматограмма смеси диоксида углерода, легких углеводородов, серосодержащих газов, бутен-бутановой фракции и меркаптанов на колонке с ПТМСР053. 1 – воздух, 2 - диоксид углерода, 3 – ацетилен, 4 – этилен, 5 – сероводород, 6 – этан, 7 - диоксид серы, 8 – COS, 9 – пропилен, 10 – пропан, 11 - метил меркаптан, 12 - *1,3*-бутадиен, 13 – *i*-бутен+*l*-бутен, 14 – *i*-бутан, 15 - *транс*-2-бутен, 16 - *цис*-2-бутен, 17 - *n*-бутан, 18 - этил меркаптан, 19 - CS<sub>2</sub>, 20 – *i*-пропил меркаптан, 21 – пропил меркаптан

Работа была поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного заказа для Института катализа имени Борескова (проекты АААА-А21-121011390007-7, АААА-А21-121011390053-4).

УДК 541.183

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НОВОГО МЕТОДА  
КЛАССИФИКАЦИИ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ  
НЕПОДВИЖНЫХ ФАЗ****Зайцева Е.А., Долгоносов А.М.**

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского,  
119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19;  
e-mail: [lil-dante@mail.ru](mailto:lil-dante@mail.ru)*

Предложен теоретический метод классификации газохроматографических жидких неподвижных фаз. Введены количественные понятия полярности и гидрофильности для характеристики неподвижных фаз. Карта селективности предложена как графический метод классификации неподвижных фаз.

A theoretical method for the classification of gas chromatographic liquid stationary phases is proposed. The quantitative concepts of polarity and hydrophilicity are introduced to characterize the stationary phases. The selectivity map is proposed as a graphical method for the classification of stationary phases.

Предложена модель межмолекулярных взаимодействий (ММВ), которая описывает сорбцию в газохроматографических системах. Согласно модели энергия ММВ включает в себя три независимых вклада неполярной, полярной и водородной связей, для которых с помощью теории обобщенных зарядов (ТОЗ) выведены неэмпирические выражения. На базе модели разработан метод классификации газохроматографических жидких неподвижных фаз (НФ) – метод трехпараметрической характеристики (ТПХ). Все вещества, включая НФ, характеризуются тремя ключевыми параметрами, связанными с поляризуемостью, полярностью и способностью к образованию водородных связей. Введены математические определения *полярности* и *гидрофильности* для характеристики объектов ММВ [1].

Путем решения прямой и обратной задач при характеристике ряда НФ доказана непротиворечивость модели. Метод ТПХ является преемственным по отношению к традиционным методам классификации НФ [2]. Принципиальным отличием метода ТПХ от существующих методов классификации является возможность априорного расчета характеристик фаз по структурной формуле; эта способность позволила обнаружить зависимость характеристик селективности от молекулярной массы макромолекул полимера для широко применяемых НФ на основе полиэтиленгликоля [3].

Предложен графический способ классификации НФ в виде диаграммы в координатах полярность - гидрофильность, названной картой

селективности. Метод ТПХ позволяет делать обоснованный выбор НФ для разделения заданной группы веществ по принципу подобия свойств.

### **Литература**

1. Долгоносов А.М. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т.15. № 3. С.312-320
2. Зайцева Е.А., Долгоносов А.М. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2019. Т. 19. № 5. С. 525-541.
3. Долгоносов А.М., Зайцева Е.А. // Журнал структурной химии. 2020. Т. 61. № 8. С.1300-1311.



УДК 544.543

**МЕХАНИЗМ ХИРАЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ АДСОРБЕНТОВ С СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОЙ ХИРАЛЬНОСТЬЮ <sup>1</sup>****Гуськов В.Ю., Аллаярова Д.А.,  
Шаяхметова Р.Х., Шарафутдинова Ю.Ф.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Башкирский государственный университет,  
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32; e-mail: [guscov@mail.ru](mailto:guscov@mail.ru)*

В работе описан механизм хирального распознавания поверхностью с супрамолекулярной хиральностью при адсорбции энантиомеров. Определены условия протекания данного процесса, а также нижняя и верхняя граница возможного хирального распознавания. Показаны возможности применения таких адсорбентов в хроматографии.

In this work the mechanism of chiral recognition by the surface with supramolecular chirality during the enantiomers adsorption was described. The conditions of such process were determined, as well as chiral recognition lower and upper limits. The possibilities of application of these adsorbents in chromatography were shown.

Проблема распознавания энантиомеров в условиях адсорбции и хроматографии остаётся актуальной по причине недостаточно высокой энантиоселективности, особенно при высоких концентрациях разделяемых веществ. При этом потенциал классических хиральных селекторов с молекулярной хиральностью практически исчерпан. Поэтому важен поиск энантиоселективных адсорбентов, основанных на новых принципах хирального распознавания. В качестве таковых представляют интерес энантиоморфные кристаллы, а также их двумерные аналоги. Такие надмолекулярные структуры могут не обладать хиральностью на уровне отдельных молекул, но характеризуются наличием супрамолекулярной хиральности. Однако распознавание и разделение энантиомеров на таких поверхностях практически не изучено.

Анализ изотерм адсорбции энантиомеров на адсорбентах на основе 2D- и 3D-энантиоморфных кристаллов, а также результатов MD-моделирования позволил установить, что распознавание оптических изомеров происходит в нелинейной области изотермы. Установлено, что для проявления энантиоселективности адсорбированные молекулы должны терять 3 поступательные степени свободы, то есть, адсорбция должна быть локализованной. Также, концентрация молекул адсорбата на поверхности кристаллов должна быть достаточной для латеральных

---

<sup>1</sup> Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 19-73-10079)

взаимодействий адсорбат-адсорбат и формирования упорядоченного слоя молекул энантиомера. При формировании второго слоя адсорбата энантиоселективность исчезает, так как второй и последующие слои взаимодействуют уже не с поверхностью энантиоморфного кристалла, а со слоем адсорбата. В случае начала формирования второго слоя до завершения формирования первого (изотермы III типа по БЭТ) наблюдается меньшая энантиоселективность, вплоть до полного её исчезновения.

Трансфер хиральности от поверхности в процессах разделения происходит не к отдельной молекуле адсорбата, а к объекту того же уровня иерархии – слою локализовано адсорбированных молекул. По этой причине разделение энантиомеров на таких адсорбентах возможно только при высокой степени заполнения поверхности. Нижняя граница способности к хиральному распознаванию находится в точке начала отклонения изотермы адсорбции от линейной; верхняя граница лежит при  $\theta \approx 2$ . Нижняя граница может лежать выше при наличии конкурентной адсорбции.

Разработанные адсорбенты были применены для разделения оптических изомеров в условиях как газовой, так и жидкостной хроматографии. Показано, что в жидкостной хроматографии разделения сопровождаются меньшим размыванием и большей энантиоселективностью по причине большей стабильности адсорбционного слоя. В условиях нф-ВЭЖХ успешно проведён анализ энантиомерного состава ряда продуктов тонкого органического синтеза, а также проведены полупрепаративные выделения оптически чистых веществ с последующим их анализом методами поляриметрии и ВЭЖХ-МС.

УДК 543.544

**КОМПЛЕКСНАЯ ДВУМЕРНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ  
В АНАЛИЗЕ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ****Патрушев Ю.В., Сидельников В.Н.**

*ИК СО РАН, Россия, 630090, Новосибирск, пр. Акад.Лаврентьева, 5;  
e-mail: [vlad@catalysis.ru](mailto:vlad@catalysis.ru)*

До недавнего времени в двумерной хроматографии использовали комбинации колонок с неподвижными жидкими фазами. Можно найти единичные примеры использования PLOT колонки (то есть колонки со слоем сорбента) только во втором измерении. Однако неизвестны работы, в которых описываются ГХхГХ системы с двумя PLOT колонками. В данной работе описано применение двух PLOT колонок в режиме ГХхГХ.

Until recently comprehensive two-dimensional gas chromatography was commonly performed using combinations of columns with stationary liquid phases. There are singular examples with a porous layer open tubular (PLOT) column used only in the second dimension. However, GCxGC systems with two PLOT columns are not reported in the literature. Our work describes the application of two PLOT columns in the GCxGC mode.

Наиболее распространенные способы разделения сложных смесей легких углеводородов и газов предполагают использование для этой цели капиллярных колонок с пористым слоем. Число сорбентов, которые могут быть использованы для разделения легких углеводородов невелико. Одним из таких сорбентов является оксид алюминия, позволяющий решать задачи, относящиеся к анализу сложных смесей, состоящих из предельных и непредельных углеводородов C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>. Вместе с тем, некоторые особенности оксида алюминия накладывают ограничения на применение колонок с данным сорбентом. Наряду с оксидом алюминия для разделения легких углеводородов могут быть использованы колонки с диоксидом кремния и колонки на основе дивинилбензол-стрирольных полимеров в качестве неподвижной фазы. Все эти колонки не проявляют каталитической активности по отношению к углеводородам и не столь чувствительны к наличию воды в пробе, как колонки с оксидом алюминия. Однако они не обладают такой же высокой селективностью по отношению к изомерам углеводородов, как колонки с Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Так же не приводят к успешному разделению сложных смесей легких углеводородов использование органо-неорганических сорбентов на основе диоксида кремния. Тем не менее, успешного разделения сложной смеси легких углеводородов можно добиться не только применением высокоэффективных и высокоселективных колонок, но и путем использования такой техники разделения, как комплексная двумерная хроматография (ГХ×ГХ). Этот вид хроматографии предполагает

использование двух колонок различной полярности для разделения смесей. В данной работе показаны возможности разделения легких углеводородов и соединений других химических классов методом, когда в качестве первой и второй использованы PLOT колонки с неподвижной фазой различной химической природы. Рассмотрены способы выбора пары колонок, наилучшим образом подходящей для разделения смесей легких углеводородов. Приведены примеры разделения смесей легких углеводородов на выбранной паре колонок и обсуждаются возможности метода ГХ×ГХ для решения различных задач ГХ анализа.

УДК 543.544

**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА  
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ ДВУМЕРНОЙ  
ХРОМАТОГРАФИИ<sup>1</sup>****Шашков М.В., Сотникова Ю.С., Долгушев П.А.**

*ФГБУН ФИЦ Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН,  
630090, Новосибирск, пр. Акад. Лаврентьева, 5;  
e-mail: [shashkov@catalysis.ru](mailto:shashkov@catalysis.ru)*

В работе разработана методология комплексного анализа сложных продуктов пиролиза органических отходов. Летучая часть проанализирована методом высокотемпературной двумерной газовой хроматографии (ГХ\*ГХ), нелетучая часть методом двумерной высокоэффективной жидкостной хроматографии (ЖХ\*ЖХ).

The methodology for complex analysis of complex pyrolysis products of organic waste has been developed. The volatile part was analyzed by high-temperature two-dimensional gas chromatography (GC\*GC), the non-volatile part by two-dimensional high-performance liquid chromatography (LC\*LC).

Несмотря на внушительные мировые запасы традиционного углеводородного сырья, известно, что они ограничены и стремительно истощаются. По этой причине в настоящее время активно проводится поиск технологий получения топлива и ценных химических продуктов из альтернативных и возобновляемых ресурсов. Особенно востребовано при этом вовлечение многочисленных, зачастую сложных и непостоянных по составу растительных или смешанных отходов, что, в свою очередь, позволяет решать задачу их утилизации с попутным получением полезных продуктов. Среди наиболее многочисленных и сложных по составу видов отходов можно выделить лигноцеллюлозное сырье (отходы лесопромышленного комплекса, сельского хозяйства, а также иловые осадки коммунальных очистных сооружений).

Для выбора оптимальных условий проведения пиролиза, а также дальнейшей переработки пиролизных жидкостей, необходимо как можно более точно знать их химический состав. При этом, наиболее приемлемыми для анализа многокомпонентных смесей являются хроматографические методы. В настоящее время активно развиваются методы двумерной хроматографии, ввиду того что они позволяют достигнуть в несколько раз более высокую разделительную способность по сравнению с одномерной хроматографией.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 20-43-543013

В настоящей работе для анализа сложных продуктов пиролиза применен комплексный подход, основанный на объединении результатов анализа летучей части метода двумерной газовой хроматографии (ГХ\*ГХ) и для анализа нелетучей части метода двумерной высокоэффективной жидкостной хроматографии (ЖХ\*ЖХ).

Для проведения высокотемпературной ГХ\*ГХ разработана методика с использованием колонки средней полярности до температуры 360°C. Благодаря этому в исследуемых объектах удалось обнаружить широкий спектр веществ нескольких классов. Также дополнительно использованы высокополярные колонки на основе пиридиниевых и имидазольных ионных жидкостей (ИЖ). Несмотря на более низкую предельную температуру (300°C) с данными колонками удалось дополнительно увеличить селективность разделения между классами полярных аналитов, включая кислоты и несколько видов фенольных соединений.

Результаты двумерной высокоэффективной жидкостной хроматографии (ЖХ\*ЖХ) показали, что продукты пиролиза иловых осадков сточных вод содержат, главным образом, непредельные углеводороды, ароматические неполярные, а также полярные фенольные соединения. Выявлено наличие гомологических рядов полифенолов. Установлено различие в составах продуктов пиролиза в зависимости от условий пиролитического разложения (катализатор/температура).

Таким образом, с использованием комплексного подхода, объединяющего методы двумерной газовой и жидкостной хроматографии, охарактеризованы сложные продукты пиролиза, включающие множество групп алифатических и кислородсодержащих соединений. Также охарактеризованы продукты каталитической переработки исходных пиролизатов, которые наглядно показывают возможности метода для комплексной оценки каталитических экспериментов.

УДК 504.064

**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА  
ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД****Хоменко Т.Ю., Сигора Г.А.**

*СевГУ, Республика Крым 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33;  
e-mail: [tamara\\_homenko93@mail.ru](mailto:tamara_homenko93@mail.ru)*

В статье рассмотрены химические и физико-химические методы анализа, применяемые для оценки качества подземных вод Севастопольского региона. Рассмотрены их основные достоинства и недостатки. Установлено, что техногенное загрязнение подземных вод проявляется в увеличении минерализации, общей жесткости, содержании хлоридов, нитратов.

The article discusses the chemical and physicochemical methods of analysis used to assess the quality of groundwater in the Sevastopol region. Their main advantages and disadvantages are considered. It was found that technogenic pollution of groundwater is manifested in an increase in mineralization, total hardness, the content of chlorides and nitrates.

Специфика объектов окружающей среды как объектов химического анализа заключается в их изменяющемся составе, многокомпонентности и многофазности. Множество протекающих в природной среде химических, биохимических и биогеохимических процессов предопределяет чрезвычайную сложность аналитических исследований.

Оценка степени негативных изменений в состоянии экологических систем осуществляется с помощью применения различных методов анализа: химических, физико-химических, физических и биологических [1].

Метод анализа выбирается исходя из поставленной цели, задач исследования, содержания определяемых веществ, наличия примесей, требуемой точности результатов, имеющегося оборудования. Также учитывают возможную продолжительность и стоимость анализа.

Для оценки качества и степени загрязненности подземных вод Севастопольского региона учеными кафедры «Техногенная безопасность и метрология» Севастопольского государственного университета применяются химические и физико-химические методы анализа для определения 28 показателей, включая органолептические свойства воды, обобщённые показатели (рН, минерализация (сухой остаток), щёлочность свободная и общая, жёсткость общая, окисляемость перманганатная), анионный и катионный состав.

Аналитические задачи, решаемые при исследовании воды, оценке состояния водных объектов в профессиональных и учебных лабораториях, часто требуют применения методов, которые, давая количественную информацию, являлись также портативными. Свойство портативности

применительно к методикам химического анализа предполагает использование минимальных количеств пробы, растворов, реактивов и обеспеченность соответствующими средствами измерений и принадлежностями, отсутствие потребности в типично лабораторном оборудовании и соответствующей лабораторной базе [2].

В наших исследованиях в полевых условиях проводились измерения ряда показателей (нитриты, сульфаты, хлориды, гидрокарбонаты, аммоний и др.) с помощью портативных лабораторий, тест-комплектов и тест-систем, позволяющих выполнять количественное и полуколичественное определение концентраций анализируемых компонентов разными методами (титриметрическим, визуально-колориметрическим и др.). Методы химического анализа, реализованные в тест-комплектах и портативных лабораториях унифицированы на основе стандартизованных методов контроля показателей качества воды. Основным недостатком портативных изделий является недостаточная точность, чувствительность и высокий предел обнаружения, что не дает возможности контролировать концентрации, меньшие предельно допустимых.

Более точное измерение концентрации определяемых веществ обеспечивается посредством применения визуально-колориметрического определения наряду с фотометрическим методом. Так, для определения содержания железа общего и марганца, концентрация которых в подземных водах Севастопольского региона мала, применялся комбинированный метод с применением колориметрического и спектрофотометрического методов анализа.

Результаты многолетних исследований показывают, что большая часть подземных источников города Севастополя и его окрестностей загрязнены нитрат-ионами. Для определения концентрации нитратов в пробах воды в наших исследованиях применяется более точный метод анализа – потенциометрический. Основными достоинствами данного метода являются экспрессность, избирательность, широкий диапазон обнаружения, простота эксперимента. К недостаткам метода можно отнести значительную затрату времени на приготовление стандартных растворов для калибровки прибора.

Расчётными методами оцениваются значения отдельных показателей на основе результатов определений, выполненных экспериментально. К таким показателям относятся: магний, натрий, солесодержание общее.

Результаты исследований являются общедоступными и представлены на интерактивной карте родников Севастопольского региона в открытом доступе (<https://sevrodnik.ru/>).

#### **Литература**

1. Сигора Г.А. Физико-химические методы анализа в экологии. Севастополь: СевНТУ, 2008.
2. Муравьёва А.Г. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки. Санкт-Петербург: СПб «Крисмас+», 2018.



УДК 557.170.49:594.11:577.118

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МОРСКИХ  
ГИДРОБИОНТОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО  
АНАЛИЗА <sup>1</sup>****Полякова Н.В., Стеблевская Н.И.**

*ИХ ДВО РАН, Россия 690022, г. Владивосток, пр-кт 100-летия Владивостока, д.159;  
e-mail: [polyakova@ich.dvo.ru](mailto:polyakova@ich.dvo.ru)*

Методом рентгенофлуоресцентного анализа определен элементный состав образцов ряда моллюсков и промысловых рыб, обитающих в Заливе Петра Великого (Японское море). Изучено распределение элементов в органах и тканях гидробионтов. Проведено сравнение между накоплением элементов у разных видов промысловых рыб и моллюсков.

The elemental composition of some species of molluscs and commercial fishes inhabiting Peter the Great Bay (Sea of Japan) was analyzed by X-ray fluorescence method. The distribution of elements in organs and tissues of aquatic organisms has been studied. A comparison is made for element accumulation in different species of commercial fishes and molluscs.

Рентгенофлуоресцентный (РФА) метод широко применяется для качественного и количественного определения элементного состава образцов различной природы, в том числе биологических. Этот метод позволяет оценить элементный состав исследуемых образцов в широком диапазоне определяемых элементов от Na до U (в некоторых случаях от C). На протяжении ряда лет проводилось определение элементного состава образцов гидробионтов Залива Петра Великого (Японское море) методами энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа (ЭДРФА) и рентгенофлуоресцентного анализа с полным отражением (РФА ПВО). В качестве объектов исследования были отобраны образцы: моллюсков – гребешок приморский, мидия тихоокеанская и промысловых рыб – камбала, красноперка, навага, минтай, терпуг.

Диапазон определяемых элементов методом ЭДРФА от Na до U, а чувствительность от 100 до 10<sup>-4</sup>%, метод РФА ПВО – от Si до U с чувствительностью до 10<sup>-10</sup>%, что дает возможность охарактеризовать одновременно и макро-, и микроэлементный состав образцов. Пробоподготовка для метода ЭДРФА заключалась в высушивании образцов при 55-60°C, измельчении в шаровой мельнице и прессовании излучателей на подложке из борной кислоты. Измерение спектров проводили на приборе Shimadzu EDX-800HS (Япония) в течение 100с в каждом энергетическом канале, источник возбуждения рентгеновская трубка с Rh- анодом, концентрации элементов рассчитывали по методу

фундаментальных параметров с помощью программного обеспечения прибора. Для определения элементов методом РФА ПВО образцы помещали в тефлоновые автоклавы, добавляли смесь азотной кислоты и пероксида водорода (2:1), раствор внутреннего стандарта иттрия из расчета 25мкг/г образца и разлагали в микроволновом реакторе Milestone UltraCLAVE (Италия) 20 мин при 200°C и давлении 60 атм. Полученный раствор (10-20 мкл) наносили на подложку из полированного кварцевого стекла и проводили измерение на приборе TXRF 8030С (FEI Company, Германия) в течение 500с, источник возбуждения трубка с Мо/W- анодом. Концентрацию элементов рассчитывали по методу внутреннего стандарта с помощью программы Oxford®.

Наибольший интерес с точки зрения пищевой ценности, а также состояния морской экосистемы, представляет накопление и распределение токсичных элементов в органах и тканях гидробионтов. В настоящее время нормируется содержание четырех токсичных элементов – свинца, мышьяка, кадмия и ртути [1]. Больше всего токсичных элементов у моллюсков содержится в пищеварительной железе, у рыб – в печени (Рис.1).

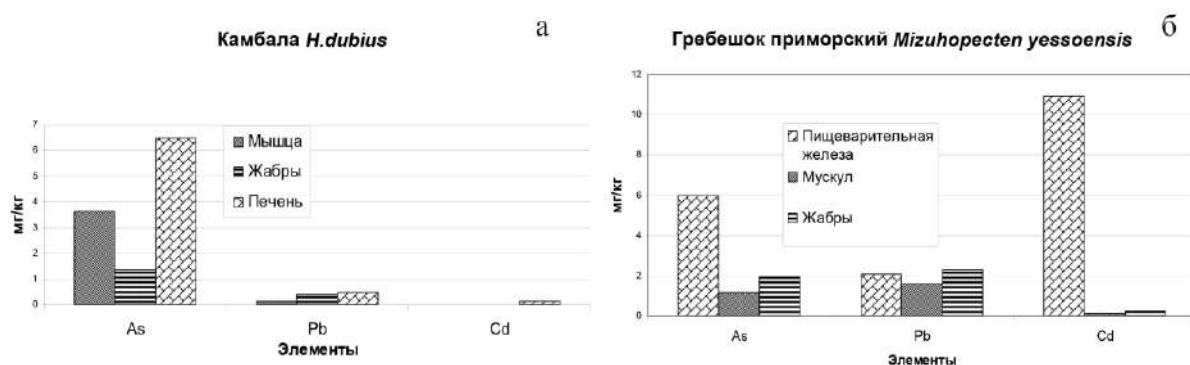


Рис. 1 Распределение токсичных элементов в органах и тканях камбалы палтусовидной (а) и гребешка приморского (б).

В качестве примера распределения на рис. 1 представлены результаты определения нормируемых элементов в образцах приморского гребешка и южной палтусовидной камбалы. Следует отметить, что ртуть в этих объектах не обнаружена, а концентрация токсичных элементов в употребляемых в пищу тканях, не превышает ОДК.

Данные о количественном составе, распределении и накоплении элементов в морских организмах позволяет судить как о пищевой ценности продукции, так и о химико-экологической ситуации в местах их обитания.

#### Литература

1. СанПиН 2.3.2.10-78.01 Гигиенические требования к качеству и безопасности сырья и пищевых продуктов. М.: Госкомэпиднадзор России. 2002. 156 с.

<sup>1</sup> Работа выполнена на оборудовании ЦКП ДВЦСИ ИХ ДВО РАН.

УДК 551.464.679

**СИНТЕЗ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ  
ОКСИДОВ ВОЛЬФРАМА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ Sr-90 ИЗ ЖИДКИХ СРЕД<sup>1</sup>****Драньков А.Н.<sup>1,2</sup>, Балыбина В.А.<sup>1</sup>, Тананаев И.Г.<sup>1</sup>, Папынов Е.К.<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>ДВФУ, 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8<sup>2</sup>ИХ ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, ул. проспект 100-летия Владивостока, 159e-mail: [Artur.drankov@gmail.com](mailto:Artur.drankov@gmail.com)

В работе представлен синтез жидкофазного восстановительного осаждения с термической дегидратацией сорбционно-ориентированных материалов на основе смешанных форм оксидов вольфрама по типу «вольфрамовых бронз». Изучены особенности извлечения микро- и макроконцентраций катионов  $\text{Sr}^{2+}$ , а также радионуклидов Sr-90 из водной среды в статических и динамических условиях в широком диапазоне pH (2-12), в том числе, в присутствии конкурирующих ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ .

Here, we suggest a facile and technologically available approach to synthesis of tungsten oxide-based materials implementing liquid a liquid phase reductive precipitation followed by thermal dehydration of the obtained materials. Structure of the investigated sorbents refers to the type of tungsten bronze. Effects of annealing temperature on such properties as chemical and hydromechanical stability along with selective characteristics with respect to Sr-90 have been studied. Removal features of micro- and macroconcentrations of strontium from liquid media have been revealed in static and dynamic sorption regimes within 2-12 pH range. Material's selectivity to strontium has been assessed in the presence of such competing ions as  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$ .

В работе представлен синтез жидкофазного восстановительного осаждения с термической дегидратацией сорбционно-ориентированных материалов на основе смешанных форм оксидов вольфрама по типу «вольфрамовых бронз». Изучены особенности извлечения микро- и макроконцентраций катионов  $\text{Sr}^{2+}$ , а также радионуклидов Sr-90 из водной среды в статических и динамических условиях в широком диапазоне pH (2-12), в том числе, в присутствии конкурирующих ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  (рис.1).

Проведена аппроксимация экспериментальных значений сорбции по уравнениям Фрейндлиха, Ленгмюра, Ленгмюра-Фрейндлиха и рассчитаны значения предельной сорбции  $G_{\text{max}}$  и константы адсорбционного равновесия  $K_1$ .

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-03-00119), включая разработку новых способов синтеза сорбентов и изучение их физико-химических параметров и свойств.

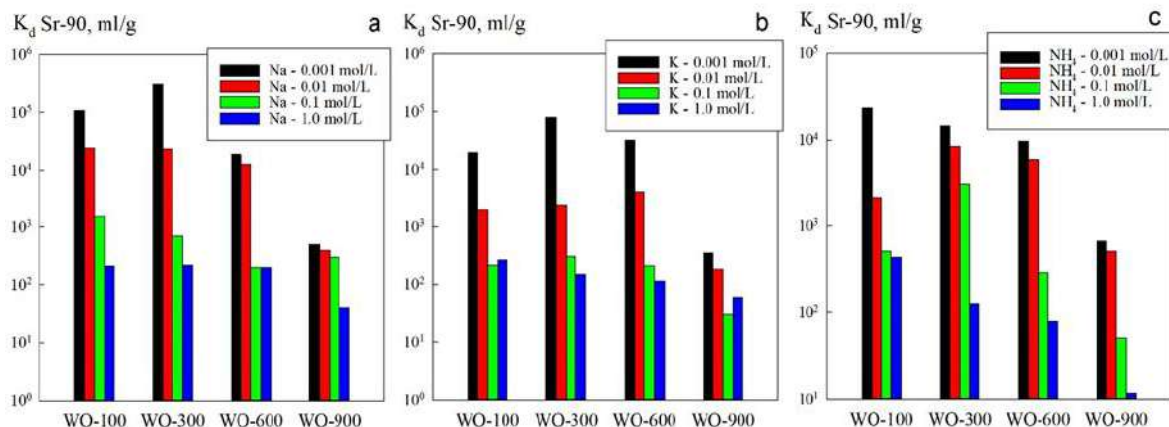


Рис. 1. Диаграммы зависимости  $K_d$  Sr-90 от концентрации конкурирующего иона, а –  $\text{Na}^+$ , б –  $\text{K}^+$ , в –  $\text{NH}_4^+$

Оптимизированы температурные режимы дегидратации для получения сорбционных вольфрамовых материалов с высокой химической устойчивостью, гидромеханической прочностью и селективностью извлечения Sr-90 из слабо- и среднеминерализованных жидких сред. На рисунке 2 приведена кривая сорбции стабильного стронция, а также интегральная кривая суммарного накопления (рис. 2, кривая 1), согласно которой, полная динамическая обменная ёмкость составляет 8.3 mg/ml (Sr/сорбента).

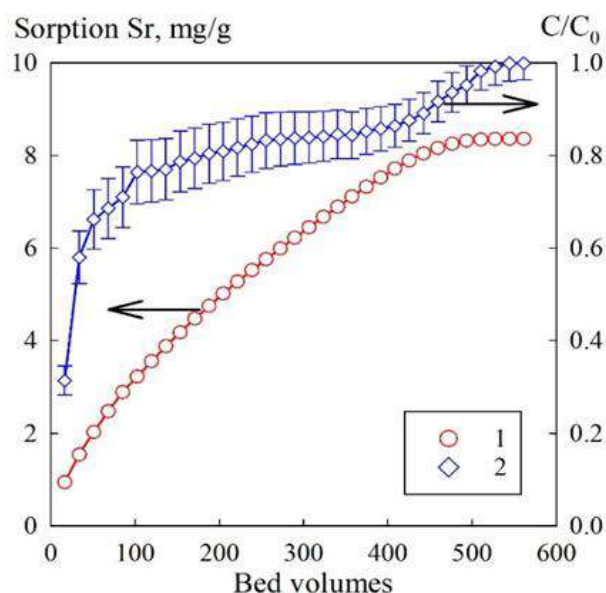


Рис. 2. Извлечение стабильного изотопа стронция из раствора  $\text{NaNO}_3$  (0.1 mol/L) в динамических условиях, 1 – интегральная кривая накопления Sr на сорбенте, 2 – кривая зависимости  $C/C_0$  от количества пропущенного раствора, где  $C$  – концентрация Sr в фильтрате,  $C_0$  – исходная концентрация Sr (100 mg/L).

Описанный подход является примером простого и доступного технологического синтеза эффективных и практически востребованных сорбентов высокого эксплуатационного качества.

УДК 551.464.679

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И  
СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОГО СОРБЕНТА НА  
ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ ФЕРРОЦИАНИДОВ Ni-K И Zn-K ДЛЯ  
ИЗВЛЕЧЕНИЯ Cs-137 ИЗ ВОДНЫХ СРЕД<sup>1</sup>**

**Балыбина В.А.<sup>1</sup>, Драньков А.Н.<sup>1,2</sup>, Тананаев И.Г.<sup>1</sup>, Папынов Е.К.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ДВФУ, 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

<sup>2</sup>ИХ ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, ул. проспект 100-летия Владивостока, 159;

e-mail: [tarataychenko.lera@mail.ru](mailto:tarataychenko.lera@mail.ru)

В докладе представлен оригинальный способ получения композитных сорбционных материалов на основе смешанного ферроцианида Ni-K и Zn-K в составе с силоксан-акрилатной эмульсией и полиэтиленом. Оригинальность способа заключается в гидрофобизации материала путём внедрения в структуру ферроцианидов волокон полиэтилена. Изучены особенности извлечения микро- и макроконцентраций катионов Cs<sup>+</sup>, а также радионуклидов Cs-137 из морской воды в статических условиях. Проведена аппроксимация экспериментальных значений сорбции по уравнениям Фрейндлиха, Ленгмюра, Ленгмюра-Фрейндлиха и рассчитаны значения предельной сорбции G<sub>max</sub> и константы адсорбционного равновесия K<sub>1</sub>. Показано, что лучшими сорбционными характеристиками обладают сорбенты, синтезированные с использованием полиэтилена, с достижением степени очистки морской воды от ионов цезия до 99 %. Значения K<sub>p</sub> по цезию при использовании исследуемых сорбентов может достигать 10<sup>5</sup> мл/г, что указывает на перспективность их применения для очистки морской воды от радиоактивного цезия. Описанный подход является примером простого и доступного технологического синтеза эффективных и практически востребованных сорбентов высокого эксплуатационного качества.

An original method is presented of obtaining composite sorption materials based on mixed ferrocyanide Ni-K and Zn-K in a composition with a siloxane-acrylate emulsion and polyethylene. The originality of the method is in the material hydrophobization by introducing polyethylene fibres into the structure of ferrocyanides. The peculiarities of extracting the micro- and macroconcentrations of Cs<sup>+</sup> cations, as well as Cs-137 radionuclides from seawater under static conditions have been studied. The experimental values of sorption are approximated according to the Freundlich, Langmuir, Langmuir-Freundlich equations, and the values of the maximum sorption G<sub>max</sub> and the adsorption equilibrium constants K<sub>1</sub> are calculated. It has been determined that the sorbents synthesized with the use of polyethylene, when the degree of seawater purification from cesium ions is reached up to 99%, have the best sorption characteristics. The K<sub>p</sub> values for cesium when using the studied sorbents can reach 10<sup>5</sup> ml/g, which indicates that they are promising for the seawater purification from radioactive cesium. The described approach is an example of a simple and available technological synthesis of effective and practically demanded sorbents of high operational quality.

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-03-00119), включая разработку новых способов синтеза сорбентов и изучение их физико-химических параметров и свойств.

Исследованы сорбционные свойства композитных сорбентов на основе смешанных ферроцианидов K-Ni и K-Zn в составе с силоксан-акрилатной эмульсией и полиэтиленом путем сорбции стабильного изотопа цезия из растворов дистиллированной и морской воды, содержание в которых цезия составляло приблизительно 150 мг/л (концентрация цезия в дистиллированной воде 160 мг/л, в морской воде – 177 мг/л). На основании остаточного содержания цезия в анализируемых пробах были рассчитаны сорбционные показатели исследуемых материалов (рис.1).

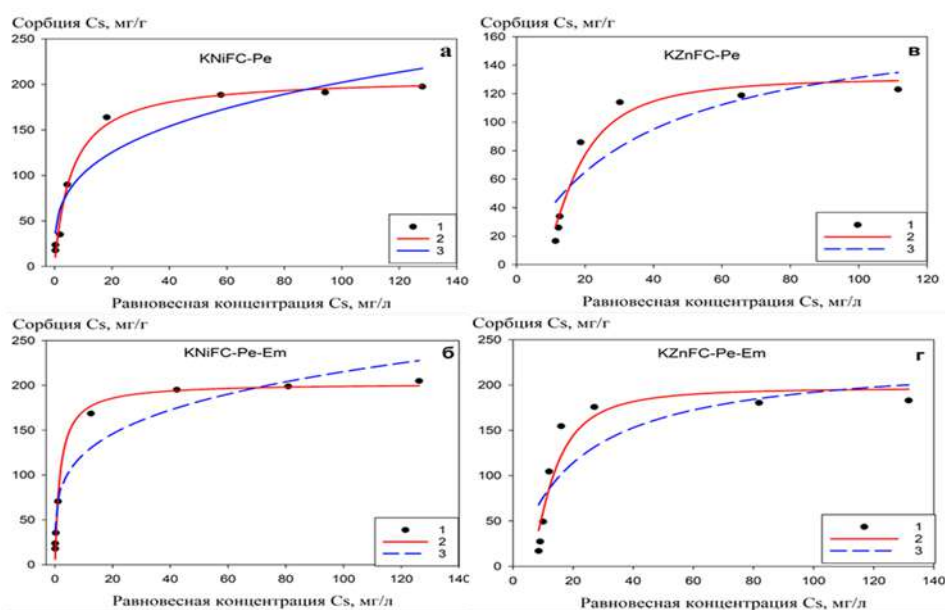


Рис. 1 а – KNiFC-Pe, б – KNiFC-Pe-Em, в – KZnFC-Pe, г – KZnFC-Pe-Em; аппроксимация экспериментальных значений (○) – 1, с использованием 2 – уравнения Ленгмюра, 3 - уравнения Фрейндлиха

Исследованы сорбционные свойства композитных сорбентов на основе смешанных ферроцианидов K-Ni и K-Zn в составе с силоксан-акрилатной эмульсией и полиэтиленом путем сорбции стабильного изотопа цезия из растворов дистиллированной и морской воды, содержание в которых цезия составляло приблизительно 150 мг/л (концентрация цезия в дистиллированной воде 160 мг/л, в морской воде – 177 мг/л). На основании остаточного содержания цезия в анализируемых пробах были рассчитаны сорбционные показатели исследуемых материалов.

В таблице 1 приведены соответствующие значения константы адсорбционного равновесия( $K_1$ ) и предельной сорбции( $G_{max}$ ). На основании высоких значений коэффициентов корреляции ( $R^2$ ) можно сделать вывод, что полученные значения описываются уравнением Ленгмюра. Показано, что наибольшей сорбционной ёмкостью обладает

образец KZnFC-Pe-Em, что, вероятно, связано с повышенным количеством активных центров сорбции допированных частиц ферроцианида цинка на поверхности полиэтилена и силаксан-акрилатной эмульсии в процессе получения композиционных материалов.

Таблица 1. Константы уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха, рассчитанные после аппроксимации экспериментальных данных

Уравнение	Параметры	KNiFC-Pe	KNiFC-Pe-Em	KZnFC-Pe	KZnFC-Pe-Em
Ленгмюра	$G_{\max}$	249,34±32,3	172±10,8	246±10,6	253±35,8
	$K_l$	0,010±0,004	0,73±0,31	0,009±0,003	0,181±0,002
	$R^2$	0,96	0,95	0,96	0,99
Фрейндлих	$K_f$	27,8±5,16	53,98±5,48	24,17±11,54	37,82±10,36
	$m$	0,236±0,047	0,266±0,024	0,448±0,11	0,299±0,064
	$a$	$R^2$	0,91	0,98	0,88

Степень очистки исследуемых растворов от цезия с применением в качестве сорбентов композитных материалов, на основе смешанных ферроцианидов K-Ni и K-Zn в составе с силоксан-акрилатной эмульсией и полиэтиленом может достигать 99 % практически для всех исследуемых образцов, исключение составляет образец KZnFC-Pe, который способен извлекать цезий из растворов с эффективностью до 96 %. Величина  $K_p$  цезия на образцах достигает 104-105 мг/г, что говорит о хороших сорбционных свойствах материалов по отношению к радионуклидам цезия.

УДК 582.263-117.41:547.56

**ОТКЛИК ЗЕЛЕННОЙ ВОДОРΟΣЛИ *ULVA RIGIDA* НА ПОЯВЛЕНИЕ  
В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ БИСФЕНОЛА А В УСЛОВИЯХ  
ЭКСПЕРИМЕНТА<sup>1</sup>****Малахова Л.В., Лобко В.В., Мурашова А.И., Железнова С.Н.***ФИЦ ИнБЮМ РАН, Россия, 299011, г. Севастополь, просп. Нахимова 2;  
e-mail: [malakh2003@list.ru](mailto:malakh2003@list.ru)*

Действие бисфенола а (БФА) в концентрации от 40 до 100 мг/л на *Ulva rigida* проявилось в снижении содержания хлорофиллов а и б в ульве с первых часов воздействия и полном обесцвечивании хлоропластов через 48 часов. При концентрации БФА от 0.01 до 5 мг/л отмечена дозозависимая стимуляция роста ульвы. Через 28 суток воздействия площадь образцов относительно контроля увеличилась на 91%.

The effect of bisphenol a (BPA) at concentrations from 40 to 100 mg/l on *Ulva rigida* was manifested by a decrease in chlorophyll a and b content in the ulva from the first hours of exposure and complete discoloration of chloroplasts after 48 hours. Under BPA concentrations varying from 0.01 to 5 mg/L the dose-dependent stimulation of *Ulva* growth was observed. After 28 days of exposure, the sample area increased by 91% relative to the control.

Бисфенол а (2,2-бис(4-гидроксифенил)пропан, БФА) используется для получения поликарбонатных пластиков и эпоксидных смол. В связи с крупными объемами производства и утилизацией изделий из БФА, он в больших количествах поступает в морские экосистемы с речным, промышленными и бытовыми стоками. Впервые в природных водах БФА был обнаружен в 1990-х годах. В регионе Черного моря имеются единичные данные по концентрации БФА в воде, которая в прибосфорском районе в 2016-2017 г. варьировала в диапазоне от 8.9 до 14.8 мкг/л [1], а в августе 2020 г. в румынских прибрежных водах в среднем составляла 165 нг/л [2]. Опубликованных данных о содержании БФА в российском секторе черноморской экосистемы в настоящее время нет.

Коэффициент распределения октанол-вода ( $K_{ow}$ ) для БФА составляет 3.40, это означает, что БФА обладает умеренными гидрофобными свойствами и он может накапливаться гидробионтами.

Высокопродуктивные макрофиты являются важнейшими компонентами прибрежных черноморских экосистем. Они способны к аккумуляции и выведению из воды различных гидрофобных соединений. В 2020 г. было определено, что средняя концентрация БФА в черноморских

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках темы НИР ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (1210315005-8).



зеленых водорослях (энтероморфа, ульва и кладофора) составляла 6.3 нг/г сухой массы [2].

Целью данной работы явилась оценка в лабораторных условиях импактного и хронического воздействия на морскую бентосную зеленую водоросль *Ulva rigida* Ag. БФА в диапазоне концентрации от 0.01 до 100 мг/л.

Объектом исследований служили образцы зеленой водоросли *Ulva rigida* C. Ag. (1823), собранные в севастопольской морской акватории в летний сезон 2021 г. В севастопольской акватории ульва обладает значительной морфологической пластичностью: длина её талломов в бухте Круглой оказались 0.3 м, в бухте Стрелецкой - около 1 м. После адаптации в течение 48 часов в лабораторных условиях в морской воде из срединной части талломов вырезали образцы ульвы круглой формы диаметром 19 мм. Эксперименты по влиянию БФА на ульву проводили в лабораторных условиях при естественной смене освещенности и комнатной температуре от 23 до 25°C. Каждый опыт с образцами водорослей ставили в химических стаканах, объемом 1.2 л, с 1 л морской воды с номинальной концентрацией БФА 0.01, 0.5, 5, 50, 100 мг/л. Используемый во всех исследованиях БФА (CAS RN 80-05-7) был из одной партии (чистота >99,3%). В каждой серии опытов проводили контрольный эксперимент, в котором в морскую воду помещали ульву без добавления БФА.

При изучении экотоксикологического влияния БФА на ульву определяли изменения морфометрических параметров образцов (площадь и массу образцов) и содержание хлорофиллов а и b, а также феофитина, которые определяли спектрометрическим методом.

Результаты показали, что ульва из бухты Круглой полностью обесцветилась в течение 24 часов при импактном воздействии высоких концентраций БФА от 40 мг/л и выше. У образцов из бухты Стрелецкой в тех же условиях обесцветилось 50% клеток. Оценка накопленного количества БФА в одной вырезке ульвы, рассчитанного для опытов с концентрацией 100 мг/л, составила для бухты Круглой 0.0266, Стрелецкой – 0.0216 мг. Таким образом, пролонгированная устойчивость ульвы из бухты Стрелецкой к воздействию БФА может определяться меньшим количеством БФА, накопленным в её образцах.

Отмечено дозозависимое стимулирующее действие невысоких концентраций БФА на рост ульвы. В течение 30 суток площадь дисков ульвы в среде с концентрацией БФА 0.1 мг/л по сравнению с контролем увеличилась почти в два раза, с 5 мг/л – всего на 21%.

В первые часы воздействия как импактной концентраций 100 мг/л, так и экологически значимой концентрации БФА 0.01 мг/л, в образцах ульвы из обоих районов наблюдали уменьшение содержания хлорофилла а и b по сравнению с контролем.

Хотя значения концентрации БФА, вызывающие гибель ульвы, были выше, чем экологически значимые концентрации, сублетальные побочные эффекты, вызванные БФА при хроническом воздействии, могут привести к негативным последствиям, приводящим к нарушениям экологического равновесия в морских системах.

#### **Литература**

1. Ozhan K., Kocaman E. Temporal and spatial distributions of bisphenol A in marine and freshwaters in Turkey // Archives of environmental contamination and toxicology. 2019. 76, N 2. P. 246-254.
2. Chiriac F. L., Pirvu F., Paun I. Investigation of endocrine disruptor pollutants and their metabolites along the Romanian Black Sea Coast: occurrence, distribution and risk assessment // Environmental Toxicology and Pharmacology. 2021. 86. 103673.

УДК 546.03+547.022+ 54.04+ 54.058

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ УРАНА С ПОМОЩЬЮ Se-ПРОИЗВОДНЫХ  
АМИДОКСИМОВ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ <sup>1</sup>****Токарь Э.А.<sup>1,2</sup>, Маслов К.В.<sup>2</sup>, Тананаев И.Г.<sup>1,2</sup>, Егорин А.М.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ДВФУ, Россия 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, д.8;<sup>2</sup> СВГ, Республика Крым, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д.33;<sup>3</sup> ИХ ДВО РАН, Россия 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, д.159, корп. Д; e-mail: [d.edd@mail.ru](mailto:d.edd@mail.ru)

В результате окислительной поликонденсации 4-аминофуразан-3-карбоксамидоксима с SeO<sub>2</sub>, был получен Se-производный амидоксим, а также композиты на его основе. В статических условиях исследованы сорбционные свойства по отношению к урану. Полученные материалы отличаются высокими коэффициентами распределения в сравнении с известными аналогами.

Se-derivative amidoxime and composites based on it were obtained as a result of oxidative polycondensation of 4-aminofurazan-3-carboxyamidoxime with SeO<sub>2</sub>. The sorption properties with respect to uranium have been investigated under static conditions. The obtained materials are distinguished by high distribution coefficients in comparison with known analogs.

Функционирование объектов ядерной индустрии, включающее добычу полезных ископаемых, сопровождается переносом изотопов урана в биосферу. Высокая миграционная способность и радиотоксичность урана, имеющего в зависимость от рН среды широкий спектр водорастворимых форм в биосфере, требует поиска эффективных способов его выделения и концентрирования из загрязненных природных и техногенных вод.

Среди известных методов извлечения урана из жидких сред, наиболее эффективным является сорбционный, с использованием высокоселективных материалов. Применение большинства известных сорбционных материалов, позволяет извлекать соединения урана лишь в строго определенном диапазоне рН (2-5). Помимо этого, коммерческие материалы имеют ряд недостатков таких как низкая химическая стабильность, механическая прочность, сорбционная емкость и т.д.

Широкую распространённость получили сорбенты, имеющие в своей структуре хелатирующие функциональные группы, такие как амино, сульфгидрил, карбоксил, амидоксим и имидацетат, наличие которых обеспечивает прочное связывание радионуклида в результате реакции ионного обмена и комплексообразования. Однако, несмотря на это,

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке СГУ, проект № 42-01-09/169/2021-7

проблема очистки природных и техногенных вод от радионуклидов урана, остаётся нерешённой.

Ввиду этого, в работе были получены Se-производный 4-аминофуразан-3-карбоксамидоксим в результате реакции поликонденсации 4-аминофуразан-3-карбоксамидоксима и диоксида селена. А также композиты на его основе, с добавлением силикагеля в качестве матрицы в количестве 35, 50, 65 %масс, целью повышения механической прочности.

В статических условиях были оценены сорбционные характеристики синтезированных материалов. Установлено, что адсорбенты обладают повышенным сродством к уранил-ионам в диапазоне pH 6–9, при этом максимальное значение коэффициентов распределения достигают значений  $1,5 \times 10^4$  см<sup>3</sup>/г. Высокое значение адсорбции объясняется наличием большого числа сорбционных центров, формирующихся в процессе образования полимера вследствие поликонденсации циклических молекул через связь -Se-Se- (рисунок 1). Проведено исследование сорбционно-селективных свойств в присутствии конкурирующих катионов и анион, входящих в состав природных и техногенных вод, которое показало, что наибольшее воздействие оказывают сульфат и карбонат ионы, в результате обзывания прочных анионных комплексов урана. Также, установлено значение предельной адсорбции урана из различных сред, которая составила порядка 470 мг/г и 760 мг/г для Se-производного и композитного материалов, соответственно. В результате исследования кинетических параметров адсорбции с использованием ионного обмена, наблюдается значительное увеличение скорости адсорбции на композитных материалах, что связано с большей доступностью адсорбционных центров. Однако при этом наиболее оптимальным содержанием силикагеля является 50 %масс, дальнейшее уменьшение приводит к снижению значений COE, ввиду снижения удельной поверхности материала и тем самым количества сорбционных центров, а увеличению содержания - к снижению эффективности извлечения  $UO_2^{2+}$ , ввиду неравномерного распределения амидоксима по поверхности матрицы.

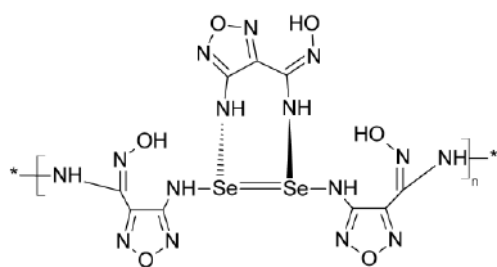


Рис. 1. Структура элементарного звена Se-производного 4-аминофуразан-3-карбоксамидоксима

Таким образом полученные материалы можно рекомендовать для использования в целях извлечения и концентрирования  $UO_2^{2+}$  из технологических и природных слабощелочных вод с высокой минерализацией.

УДК: 546.296:614.876(470.55)

**ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ  
ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ,  
ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ ОБЪЕКТА ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ <sup>1</sup>**

**Карл Л.Э.<sup>1,2</sup>, Лашенова Т.Н.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> *Российский университет дружбы народов (РУДН),  
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6;*

<sup>2</sup> *ФГУП «Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены»  
ФМБА России, 123182, г. Москва, ул. Щукинская, д. 40;*

<sup>3</sup> *ФГБУ ГНЦ РФ Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И.  
Бурназяна ФМБА России, г. Москва, 123098, г. Москва, ул. Живописная, д. 46;  
e-mail: [lidiakarl@yandex.ru](mailto:lidiakarl@yandex.ru)*

Проведена оценка доз внутреннего облучения за счет изотопов радона на территории города Лермонтов, Ставропольский край.

An assessment of internal exposure doses due to radon isotopes in the town of Lermontov, Stavropol Territory, was conducted.

**Введение.** По данным Научного комитета ООН, основной вклад в годовую суммарную эффективную дозу облучения населения вносят природные источники ионизирующего излучения. При этом от 50 до 90% приходится на природный радиоактивный газ радон (<sup>222</sup>Rn) и его дочерние продукты его распада (ДПР).

За последнее десятилетие научными институтами ФМБА России (ФГУП НТЦ РХБГ и ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна) проводились мониторинговые исследования по содержанию <sup>222</sup>Rn в жилых и общественных зданиях, которые позволили получить конкретные данные на потенциально радоноопасных территориях, где данная проблема стоит особенно остро. Проведенные исследования показали, что при проведении мониторинговых исследований на потенциально радоноопасных территориях, особенно тех, которые расположены в непосредственной близости к объектам ядерного наследия, существует ряд проблем. Эти проблемы связаны с аналитическим и методическим обеспечением контроля содержания <sup>222</sup>Rn, с комплексным анализом полученных данных, которые нуждаются в корректной интерпретации для принятия управленческих решений, проблемы при организации мониторинга на потенциально радоноопасных территориях, в связи с финансовой незаинтересованностью в таких работах владельцев территорий и объектов, расположенных на них. Нормативных документов, которые бы

---

<sup>1</sup> Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке ФМБА России, а также РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90291

обязывали ответственных за данную территорию чиновников, проводить на постоянной основе мониторинга нет, и в данном направлении необходимо проводить комплекс мер, направленных на совершенствование радиоэкологического мониторинга на потенциально радоноопасной территориях.

Территория г. Лермонтов относится к объекту ядерного наследия. Здесь проводилась разработка Бештаугорского месторождения урана по 1975 г. подземным способом, после этого остались хвостохранилища и штольни, которые в основном реабилитированы, но есть проблемы.

**Целью данной работы** является оценка доз внутреннего облучения за счет  $^{222}\text{Rn}$  для населения, проживающего вблизи объекта ядерного наследия.

**Материалы и методы.** Измерения объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  ( $\text{OAR}_{\text{Rn}}$ ) в зданиях проводили интегральным методом, который позволяет учитывать неравномерности поступления  $^{222}\text{Rn}$  в помещения. Для радиационно-гигиенической оценки рассчитали среднегодовую эквивалентную равновесную объёмную активность  $^{222}\text{Rn}$  ( $\text{ЭРОAR}_{\text{Rn}}$ ), значение которой нормируется п. 5.3.3. НРБ-99/2009 и не должно превышать  $200 \text{ Бк/м}^3$  в эксплуатируемых жилых помещениях [1]. Расчет индивидуальной среднегодовой эффективной дозы внутреннего облучения (СЭГД) для населения проводили по методике МУ 2.4.1.1088-02.

**Результаты.** Провели статистическую обработку данных измерений  $\text{OAR}_{\text{Rn}}$ , рассчитали значения  $\text{ЭРОAR}_{\text{Rn}}$  и СЭГД для 2053 измерений в помещениях зданий. Полученные результаты показали, что медиана  $\text{ЭРОAR}_{\text{Rn}}$  меняется от 100 до  $116 \text{ Бк/м}^3$  и не превышает норматив  $200 \text{ Бк/м}^3$  на обследованной территории. Превышения встречаются в 30% помещений. Максимальное значение находится на уровне  $1347 \text{ Бк/м}^3$  и в 17 зданиях. При этом расчет СЭГД на основе среднегодового значения медианы показал, что она равна  $11 \text{ мЗв/год}$  и находится в интервале от 8 до 13, то есть превышает ограничение  $5 \text{ мЗв/год}$  для природных радионуклидов. В настоящее время базовые принципы радиационной безопасности населения и персонала определены в документах МКРЗ (публикация 103, публикация 126) и публикациях МАГАТЭ (ОНБ, SSG-32). Они базируются на установлении референтных уровней и применении принципа оптимизации при принятии и реализации соответствующих защитных мер.

**Выводы.** В связи с этим, назрела необходимость совершенствования системы норм и требований по ограничению облучения населения радоном, с учетом последних рекомендаций международных организаций и накопленного опыта регулирования.

#### **Литература**

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09) утв. и введены в действие от 07.07.09 г. – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

УДК: 550.47:628.19(262.5)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЯДЕРНОЙ ГЕОХРОНОЛОГИИ ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ СЕДИМЕНТАЦИИ И  
ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМАХ СОЛЕННЫХ ОЗЕР КРЫМА<sup>1</sup>**

**Мирзоева Н.Ю., Архипова С.И., Мосейченко И.Н.,  
Мирошниченко О.Н., Проскурнин В.Ю., Терещенко Н.Н.,  
Стецюк А.П.**

*ФИЦ ИнБЮМ, Республика Крым 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2;  
e-mail: [natmirz@mail.ru](mailto:natmirz@mail.ru)*

Методом ядерной геохронологии определены скорости осадконакопления (СО) и седиментации осадочного вещества (СС) в соленых озерах Крыма. Диапазон СО был в пределах 1.7-25.0 мм/год, СС - 1969.0-18736.0 г/(м<sup>2</sup>×год). Полученные значения позволяют определить потоки загрязняющих веществ в донные отложения водоемов.

Rates of sedimentation (SR) and mass accumulation (MAR) in the salt lakes of Crimea were determined by the method of nuclear geochronology. The range of SR was within 1.7-25.0 mm/year, MAR - 1969.0-18736.0 g/(m<sup>2</sup>×year). The obtained values make it possible to determine the flows of pollutants into the bottom sediments of water bodies.

Результаты исследования показали [1–4], что радиоактивное загрязнение окружающей среды после аварии на ЧАЭС произошло на масштабе времени значительно меньшем, чем характерное время протекания биогеохимических процессов. Поэтому послеаварийные радионуклиды, попавшие во внутренние водоемы Крыма, в качестве радиотрассеров могут характеризовать интенсивность гидрологических и биогеохимических процессов, происходящих в экосистемах исследуемых водоемов. Метод ядерной геохронологии [4] был использован для определения скорости осадконакопления и седиментации в соленых озерах Крыма. Эти научные исследования для данных водоемов Крыма выполнены впервые.

Датировку кернов донных отложений (до 40 см) производили всеми разработанными в ОРХБ методами с использованием таких искусственных радионуклидов, как <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>239+240</sup>Pu, <sup>238</sup>Pu в качестве радиоактивной метки. За отправные временные точки отсчета применялись наибольшее значение концентраций <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>239+240</sup>Pu, <sup>238</sup>Pu в кернах донных отложений. Самый нижний пик соответствовал глобальным выпадениям радиоактивных веществ (1945-1975 гг.), более верхний пик приходился на 1986 год – год аварии на Чернобыльской АЭС [4]. Особенностью при

<sup>1</sup> Работа по исследованию соленых озер Крыма выполнена при поддержке Российского научного фонда – грант № 18-16-00001.

датировке кернов донных отложений из некоторых соленых озер Крыма было наличие пиков активности радионуклидов вдоль всей колонки, включая конечные слои. Это было характерно для водоемов, связанных отводными каналами с СКК. Для таких вариантов был использован новый подход к датировке донных осадков [5]. В этих случаях ориентиром отсчета были не «пики» активностей, а ее отсутствие в верхних слоях керна, соответствующие периоду закрытия подачи воды через СКК после 2014 года.

Получено, что диапазон скорости осадконакопления в изучаемых озерах изменялся в пределах 1.7-25.0 мм/год и зависел также от типа осадочных частиц, слагающих затем донные отложения водоемов, при этом скорости седиментации осадочного вещества изменялись в пределах 1969.0-18736.0 г/(м<sup>2</sup>×год).

Практическое применение значений скоростей седиментации, с учетом площади поверхности дна соленых озер, заключается в том, что эти данные позволяют определить потоки искусственных радионуклидов (<sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>238+239+240</sup>Pu), основного дозообразующего природного радионуклида <sup>210</sup>Po и ртути в донные отложения исследуемых водоемов.

#### Литература

1. Егоров В.Н., Гулин С.Б., Поповичев В.Н., Мирзоева Н.Ю., Терещенко Н.Н., Лазоренко Г.Е., Малахова Л.В., Плотницына О.В., Малахова Т.В., Проскурнин В.Ю., Сидоров И.Г., Гулина Л.В., Стецюк А.П., Марченко Ю.Г. Биогеохимические механизмы формирования критических зон в Чёрном море в отношении загрязняющих веществ // Морск. экол. журн., 2013. Т. XII, № 4. С.5–26.
2. Егоров В.Н., Гулин С.Б., Малахова Л.В., Мирзоева Н.Ю., Поповичев В.Н., Терещенко Н.Н., Лазоренко Г.Е., Плотницына О.В., Малахова Т.В., Проскурнин В.Ю., Сидоров И.Г., Стецюк А.П., Гулина Л.В., Марченко Ю.Г. Биогеохимические характеристики седиментационного самоочищения севастопольской бухты от радионуклидов, ртути и хлорорганических соединений // Морск. биол. журн., 2018. Т. 3, № 2. С. 40–52.
3. Мирзоева Н.Ю. <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в севастопольских бухтах после аварии на Чернобыльской АЭС, биогеохимические факторы самоочищения экосистем // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр.- Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. Вып. 27. С. 266–270.
4. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н., Гулин С.Б., Стокозов Н.А., Лазоренко Г.Е., Мирзоева Н.Ю., Терещенко Н.Н., Цыцугина В.Г., Кулебакина Л.Г., Поповичев В.Н., Коротков А.А., Евтушенко Д.Б., Жерко Н.В., Малахова Л.В. Радиоэкологический отклик Чёрного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова, Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. 667 с.
5. Мирзоева Н.Ю. Оценка скорости осадконакопления и седиментации в акватории «Мыс Мартыан» (Черное море, Крым) с использованием датировки донных отложений озера Красного (Крым, Перекопская группа) // Система контроля окружающей среды. 2018. Вып. 43(4). С. 75-83.



УДК 550.46

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  $^{137}\text{Cs}$   
В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ 2013-2020 гг.<sup>1</sup>**

**Мирошниченко О.Н.<sup>1</sup>, Сидоров И.Г.<sup>1</sup>, Проскурнин В.Ю.<sup>1</sup>**

*ФИЦ ИнБЮМ, Россия 299011, г. Севастополь, проспект Нахимова, д.2  
e-mail: [oksaniya\\_89@mail.ru](mailto:oksaniya_89@mail.ru)*

Распределение  $^{137}\text{Cs}$  в прибрежных и глубоководных районах Черного моря в период 2013-2020 гг. показывает достижение уровней  $^{137}\text{Cs}$  дочернобыльских величин. Впервые после аварии на Чернобыльской АЭС, получен глубоководный профиль  $^{137}\text{Cs}$ , на основе которого рассчитана радиоемкость глубоководной зоны Черного моря. Рассчитан запас  $^{137}\text{Cs}$  в 200-м слое Черного моря.

The distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the coastal and deep-water areas of the Black Sea in the period 2013-2020 shows the reach of the  $^{137}\text{Cs}$  levels to the pre-accidents values. For the first time after the Chernobyl accident, a  $^{137}\text{Cs}$  deep-water profile was obtained, on the basis of which the radiocapacity of the deep-water zone of the Black Sea was calculated. The total inventory of  $^{137}\text{Cs}$  in the 0-200 m layer of the Black Sea was calculated.

$^{137}\text{Cs}$  – техногенный радионуклид с периодом полураспада 30.17 лет, поступление которого с глобальными выпадениями после ядерных испытаний в Мировой океан оценивается в сотни ПБк [1]. В результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. на акваторию Черного моря с атмосферными выпадениями поступило 2,4 ПБк  $^{137}\text{Cs}$  [2]. В настоящее время за счет естественного радиоактивного распада, а также водообменных процессов и седиментации, объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в Черном море достигла доаварийных значений, однако все еще выше, по сравнению с другими акваториями Мирового океана, что связано с его изолированностью и наличием вторичных источников поступления. В связи с этим, контроль и мониторинг содержания  $^{137}\text{Cs}$  в экосистеме Черного моря является важной задачей обеспечения ее радиационной безопасности.

Для определения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в природных пробах используются, как правило, полупроводниковые детекторы, характеризующиеся низкой (~1%) эффективностью регистрации  $\gamma$ -излучения [3]. В связи с этим объемы проб воды, необходимые для определения концентрации  $^{137}\text{Cs}$ , достигают нескольких сотен, а иногда и тысяч литров, что существенно затрудняет проведение массовых измерений и снижает их производительность. Для решения этой проблемы

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» №121031500515-8

был использован метод, основанный на пропускании проб воды через сорбенты, импрегнированные ферроцианидом переходных металлов, и измерении с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра, имеющего геометрию счета, близкую к 4π, эффективность которого достигает 10%, что позволяет снизить объем проб морской воды до 100 и менее литров.

Пробы морской воды отбирались в научных экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» ФИЦ ИнБЮМ в период с 2013 по 2020 гг.

Получено пространственное распределение объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  в прибрежных и глубоководных акваториях Черного моря. Определено, что концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностной воде всех областей Черного моря достигла доаварийных значений и, в среднем составила 13 Бк/м<sup>3</sup>. Кроме того, в настоящее время наблюдается линейное снижение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностных водах прибрежных и глубоководных акваторий Черного моря. При этом снижение концентрации радиоцезия происходит в различных районах с разной скоростью.

Впервые после аварии на Чернобыльской АЭС получен полный глубоководный профиль  $^{137}\text{Cs}$  в Черном море [4, 5], и ряд профилей верхнего 200-м горизонта в глубоководных районах Черного моря. Полученные данные позволили рассчитать радиоемкость глубоководной зоны Черного моря и установить, что в этой зоне, в отличие от поверхностной, содержание  $^{137}\text{Cs}$  в настоящее время возрастает, и, поэтому, она может рассматриваться как своеобразное депо для данного техногенного радионуклида [6].

На основе профилей активности  $^{137}\text{Cs}$  рассчитан запас радионуклида в 200-метровом слое моря, который составил в среднем 764 ТБк, что в 4 раза ниже, по сравнению с 1986 годом, однако сопоставим с запасом, рассчитанным на 2000 год и откорректированным в соответствии с периодом полураспада на 2017 г., что вызвано вторичным поставарийным поступлением с речным и континентальным стоком.

## Литература

1. *Aarkrog A.* // Deep Sea Research Part II. 2003. Vol.50. iss. 17-21. pp.2597-2606.
2. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б., Стокозов Н. А., Лазоренко Г. Е., Мирзоева Н. Ю., Терещенко Н. Н., Цыцугина В. Г., Кулебакина Л. Г., Поповичев В. Н., Коротков А.А., Евтушенко Д. Б., Жерко Н. В., Малахова Л. В. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г. Г. Поликарпова и В. Н. Егорова. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008.
3. *Buesseler K.O., Casso S.A., Hartman M.C., Livingston H.D.* // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1990. Vol. 138. iss.1. pp.33–47.
4. *Gulin S.B., Egorov V.N., Duka M.S., Sidorov I.G., Proskurnin V.Yu., Mirzoyeva N.Yu., Bey O.N., Gulina L.V.* // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2015. Vol. 304, iss. 2. pp. 779-783.
5. *Лисицын А.П.* Система Черного моря. Москва: Научный мир, 2018.
6. *Гулин С.Б., Егоров В.Н., Мирзоева Н.Ю., Проскурнин В.Ю., Бей О.Н., Сидоров И.Г.* // Радиационная биология. Радиоэкология. 2017. Т.57. № 2. стр. 191-200.

УДК 551.464  
**ПРЯМОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ  
УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И КОНЦЕНТРАЦИИ НЕОРГАНИЧЕСКОГО  
УГЛЕРОДА МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

**Хоружий Д.С.**

*МГИ, Республика Крым 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2;  
e-mail: [khoruzhiy@mhi-ras.ru](mailto:khoruzhiy@mhi-ras.ru)*

Неорганический углерод является критерием комплексной оценки биогеохимического состояния акваторий. Описываемый метод прямого определения углерода отличается меньшей неопределенностью по сравнению с расчетным методом. Прямые измерения повышают точность расчета интенсивности потока  $\text{CO}_2$  между водой и атмосферой и корректность оценки состояния водных экосистем.

Inorganic carbon is a criterion for a comprehensive assessment of the biogeochemical state of water areas. The described method of direct determination of carbon differs in less uncertainty in comparison with the calculation method. Direct measurements increase the accuracy of calculating the intensity of the  $\text{CO}_2$  flux between water and the atmosphere and the correctness of the assessment of the state of aquatic ecosystems.

Равновесное парциальное давление углекислого газа в воде ( $p\text{CO}_2$ ) является одним из ключевых показателей, используемых для оценки биогеохимического состояния водного объекта. Величина  $p\text{CO}_2$  применяется для расчета концентрации компонентов карбонатной системы – форм неорганического углерода в водной среде ( $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ). Их соотношение позволяет судить о биогеохимических процессах, протекающих в водоеме, его экологическом состоянии [1].

Сопоставление величин  $p\text{CO}_2$  в воде и воздухе используется при изучении процессов, протекающих на границе раздела фаз, в частности, для количественной оценки потока  $\text{CO}_2$  между водным объектом и атмосферой. Анализ временной изменчивости направления и интенсивности потока  $\text{CO}_2$  позволяет оценивать роль акваторий в круговороте углерода на разных масштабах времени [2].

Зависимость  $p\text{CO}_2$  в воде от величин водородного показателя (pH) и общей щелочности (*Alk*) позволяет определять значение  $p\text{CO}_2$  расчетным путем. Погрешность найденного значения  $p\text{CO}_2$  превышает аналогичную характеристику прямого измерения, что обусловлено большим числом неопределенностей при определении pH и *Alk*. Ввиду этого прямое определение  $p\text{CO}_2$  является предпочтительным.

Для оценки потока  $\text{CO}_2$  между водной средой и атмосферой необходимо одновременно определять  $p\text{CO}_2$  как в воде, так и в воздухе. Прямое измерение  $p\text{CO}_2$  позволяет решить и эту задачу.

Для прямого определения малых значений  $p\text{CO}_2$  применяются методы инфракрасной спектроскопии и кулонометрический.

Специалисты отдела биогеохимии моря МГИ с 2009 г. проводят измерения  $p\text{CO}_2$  в воде и атмосфере, а также концентрации растворенного общего неорганического углерода ( $\text{TCO}_2$ ) в воде [3]. Для измерений используется приборный комплекс AS-C3 на базе нерассеивающего дифференциального инфракрасного анализатора LI-7000 DP. В основе метода лежит способность молекул углекислого газа поглощать излучение с длиной волны 4,255 мкм. Концентрация  $\text{CO}_2$  в пробе определяется по ослаблению излучения с соответствующей длиной волны при прохождении через анализируемую пробу. Одновременно через ячейку сравнения пропускается газ-носитель высокой чистоты (аргон или азот). Анализатор LI-7000 DP оснащен детекторами двух типов, позволяющими одновременно с  $p\text{CO}_2$  измерять  $p\text{H}_2\text{O}$ . Введение поправки для учета содержания паров воды уменьшает погрешность определения  $p\text{CO}_2$ .

При измерении  $p\text{CO}_2$  в атмосфере воздух непосредственно прокачивается через измерительную ячейку анализатора.

Для определения  $p\text{CO}_2$  в воде анализатор соединяется с эквивалентом – приспособлением, позволяющим получить газовую фазу (воздух), находящуюся в равновесии с анализируемой водой по значению  $p\text{CO}_2$ . Вода в эквивалент подается с помощью погружного насоса, ее расход контролируется и составляет примерно 4 дм<sup>3</sup>/мин. Циркуляция воздуха между эквивалентом и измерительной ячейкой анализатора обеспечивается с помощью встроенного насоса анализатора. О достижении равновесия свидетельствует стабилизация значения  $p\text{CO}_2$ , измерение которого осуществляется непрерывно в течение всего времени отбора пробы (около 30 мин.).

Для определения концентрации  $\text{TCO}_2$  проба воды заданного объема обрабатывается избытком раствора ортофосфорной кислоты. Выделившийся  $\text{CO}_2$  с током газа-носителя (аргона) поступает в измерительную кювету анализатора, где происходит его количественное определение.

Методика определения  $\text{TCO}_2$  в воде,  $p\text{CO}_2$  в атмосфере и в воде подробно описана в работе [3].

#### Литература

1. *Millero F. J.* The Marine Inorganic Carbon Cycle. // *Chemical Reviews*. 2007. Vol. 107. № 2. P. 308 – 341.
2. *Хоружий Д. С.* Изменчивость потока  $\text{CO}_2$  на границе раздела вода – атмосфера в прибрежных водах Черного моря на разных масштабах времени в 2010–2014 гг. // *Морской гидрофизический журнал*. 2018. Т. 34, № 5. С. 434–445. doi:10.22449/0233-7584-2018-5-434-445.
3. *Хоружий Д.С.* Опыт прямого определения парциального давления углекислого газа ( $p\text{CO}_2$ ) и концентрации растворенного неорганического углерода ( $\text{TCO}_2$ ) в прибрежных водах Черного моря летом 2009 г. // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2009. Вып. 20. С. 195 – 203.

УДК 541.183

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ<sup>1</sup>****Шапошник А.В., Москалев П.В., Звягин А.А.**

*ВГАУ, Россия 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д.1;  
e-mail: [a.v.shaposhnik@gmail.com](mailto:a.v.shaposhnik@gmail.com)*

Полупроводниковые сенсоры позволяют проводить экологический мониторинг воздуха в труднодоступных местах, приборы на их основе просты, дешевы и компактны. Повышение селективности полупроводниковых сенсоров и снижение их энергопотребления позволит значительно расширить область их применения.

Semiconductor sensors allow environmental monitoring of air in hard-to-reach places, and devices based on them are simple, cheap and compact. Increasing the selectivity of semiconductor sensors and reducing their energy consumption will significantly expand the scope of their application.

Для повышения селективности анализа с использованием химических сенсоров можно использовать два подхода. Первый из них состоит в создании высокоселективных сенсоров. Сочетание газочувствительного слоя ( $\text{SnO}_2\text{-Ag}$ ) с нестационарным температурным режимом позволило проводить селективное определение сероводорода в воздухе. Перекрестная чувствительность по отношению к другим восстановителям (водород, угарный газ, аммиак) составила 5-6 порядков. Кроме того, данный сенсор показывает рекордно высокую чувствительность по отношению к сероводороду [1]. На рисунке 1 показана зависимость электрического сопротивления от времени на протяжении одного цикла измерений, включающего нагрев сенсора до 450 °С в течение 2 секунд и его охлаждение до 100 °С в течение 13 секунд. Использование высокоселективных сенсоров позволяет создавать газоанализаторы, не требующие длительной и сложной калибровки.

Второй подход к повышению селективности анализа состоит в использовании малоселективного сенсора, работающего в нестационарном температурном режиме. В нашей работе впервые были решены задачи качественного и количественного анализа условно однокомпонентных систем, а также определения состава смеси в широких непрерывных диапазонах концентраций с помощью единичного малоселективного сенсора [2]. Данный подход имеет как преимущества, так и недостатки. К преимуществам следует отнести принципиальную возможность

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-24128.

определения нескольких компонентов с помощью единичного сенсора. Недостатком является трудность калибровки и недостаточно высокая стабильность измерений.

Другой проблемой химических сенсоров является относительно высокое энергопотребление, ограничивающее время автономной работы газоанализаторов в труднодоступных местах, откуда они могут передавать информацию о состоянии атмосферы или о наличии дыма. Ввиду того, что полупроводниковые сенсоры обычно работают при довольно высоких рабочих температурах (300-400 °С), основной расход энергии связан с нагревом. Для уменьшения расхода энергии можно использовать различные подходы. Первый из них состоит в создании диэлектрических подложек на основе тонких мембран. Второй подход состоит в использовании импульсного температурного режима [1,2]. В нашей работе был создан сенсор, работающий без нагревания (room temperature sensor) на основе высокодисперсного PdO. Данный материал не может быть использован для создания «классических» высокотемпературных сенсоров ввиду легкости восстановления палладия газами-восстановителями, однако при комнатной температуре он показал достаточно высокую чувствительность и стабильность.

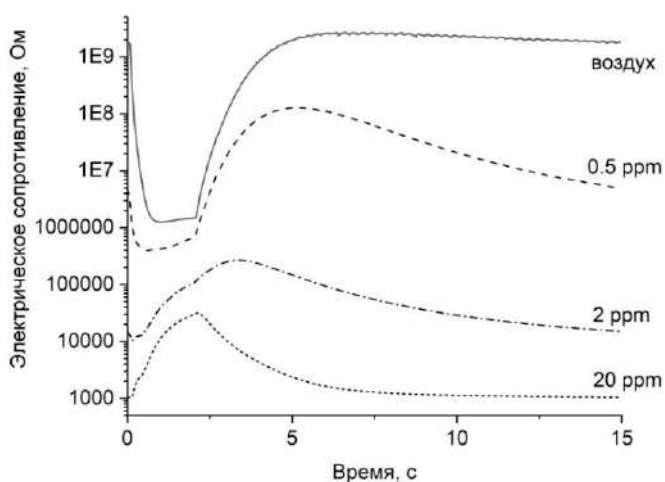


Рис. 1. Зависимость электрического сопротивления сенсора от времени при разных концентрациях сероводорода при одном цикле измерений.

Полученные результаты позволяют создать газоанализаторы нового поколения, сочетающие высокую чувствительность, селективность и длительное время автономной работы с низкой стоимостью прибора, компактностью и простотой эксплуатации.

## Литература

1. Shaposhnik A.V., Moskalev P.V. et al // Chemosensors. 2021, 9, 203. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9080203>.
2. Shaposhnik A.V., Moskalev P.V. et al // Sensors & Actuators: B. 2021. 334. 129376. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129376>.

УДК 551.46:621.039.86(262.5)

## ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОТОКОВ СЕДИМЕНТАЦИОННОГО ДЕПОНИРОВАНИЯ $^{241}\text{Am}$ В ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ<sup>1</sup>

**Проскурнин В.Ю., Параскив А.А.,  
Чужикова-Проскурнина О.Д., Терещенко Н.Н.**

*ФИЦ ИнБЮМ, Россия 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2  
e-mail: [v\\_proskurnin@ibss-ras.ru](mailto:v_proskurnin@ibss-ras.ru)*

По результатам геохронологической реконструкции потоков седиментационного депонирования  $^{241}\text{Am}$  в донные отложения Черного моря показано, что в отличие от плутония, для которого основным источником являлись глобальные выпадения, основным источником  $^{241}\text{Am}$  в отложениях было его образование *in situ* при распаде материнского  $^{241}\text{Pu}$ .

Resulting from geochronological reconstruction of  $^{241}\text{Am}$  sedimentation deposition fluxes into the Black Sea sediments the *in situ* decay of parent  $^{241}\text{Pu}$  after its deposition from water column was shown to be the main source of  $^{241}\text{Am}$  in sediments, in contrast to plutonium, introduced into the basin mainly from global radioactive fallouts.

Активность большинства антропогенных радионуклидов, попавших в окружающую среду в результате деятельности человека, уменьшается как минимум за счет радиоактивного распада. Однако общий пул  $^{241}\text{Am}$  в экосистемах в течение некоторого времени после поступления в них трансурановых элементов, как правило, увеличивается. Это происходит вследствие того, что он попадает в окружающую среду в основном вместе с его материнским радионуклидом  $^{241}\text{Pu}$ , обладающим сравнительно небольшим периодом полураспада (14,7 лет). Эта особенность существенно осложняет геохронологическую реконструкцию потоков  $^{241}\text{Am}$  по результатам изучения его распределения в донных отложениях.

Для проведения реконструкции было изучено вертикальное распределение  $^{241}\text{Am}$  и его материнского радионуклида  $^{241}\text{Pu}$  в глубоководных донных отложениях Черного моря и после проведения датировки этих отложений определены исходные уровни  $^{241}\text{Am}$  в каждом из слоев донных отложений на момент формирования слоя [1]. Потоки  $^{241}\text{Am}$  в  $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$  рассчитывали исходя из его скорректированной на момент формирования слоя удельной активности и скорости седиментации взвешенного вещества [2]. Для анализа полученных трендов привлекались данные об изменении потоков  $^{239+240}\text{Pu}$ , полученные ранее [2].

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ, тема № 1210315005-8

Данные о реконструированных потоках седиментационного депонирования  $^{241}\text{Am}$  (рис. 1) наглядно демонстрируют, что момент времени, когда потоки  $^{239+240}\text{Pu}$  в донные отложения, обусловленные массовыми ядерными испытаниями в 1960-х гг., были максимальными ( $1,77 \pm 0,22 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ ), потоки  $^{241}\text{Am}$  были ничтожно малы.

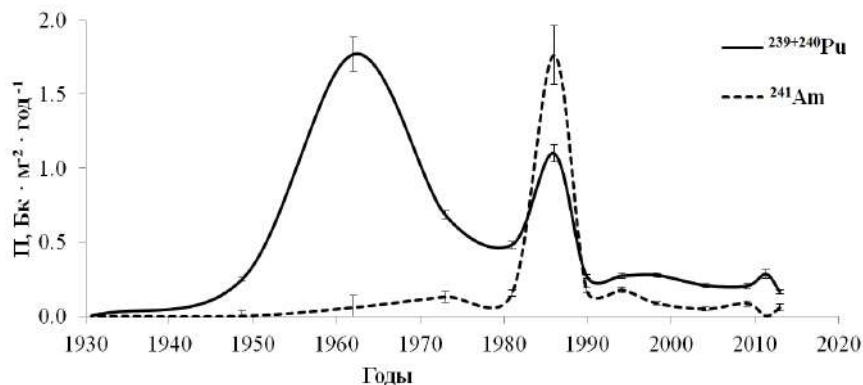


Рис. 1. Потоки седиментационного депонирования  $^{239+240}\text{Pu}$  [2] и  $^{241}\text{Am}$  в донные отложения Черного моря

Далее к 1980-м гг. наблюдалось плавное повышение седиментационного потока  $^{241}\text{Am}$ , что отражает интенсификацию его выведения из водной толщи, где концентрации  $^{241}\text{Am}$ , очевидно, нарастали за счет распада материнского  $^{241}\text{Pu}$ . Радиоактивные выпадения после аварии на ЧАЭС в 1986 г. вызвали резкое относительно краткосрочное увеличение потока депонирования  $^{241}\text{Am}$  до величин максимальных за весь наблюдаемый период —  $1,76 \pm 0,20 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ , т.е. поток  $^{241}\text{Am}$  достиг величин потока  $^{239+240}\text{Pu}$ , характерных для времени максимальных глобальных выпадений. [2]. К началу 1990-х гг. поток резко спал до величин, характерных для начала 1980-х, а в период с 1990 по 2000 гг. он уменьшился еще примерно в 2 раза и далее оставался практически неизменным, колеблясь вокруг среднего значения в  $0,05 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Таким образом, потоки седиментационного депонирования совокупности трансурановых элементов (плутония и америция) в донные отложения глубоководной части Черного моря показывают, что в отличие от плутония, для которого основным источником поступления были глобальные радиоактивные выпадения, поступление  $^{241}\text{Am}$  с этими выпадениями было незначительным, а более существенным был вклад черномыльских выпадений, привнеся за относительно короткий период до 22% от общего запаса америция в осадках. Основным же источником  $^{241}\text{Am}$  для донных отложений изучаемой акватории являлся распад материнского изотопа  $^{241}\text{Pu}$  *in situ* в отложениях.

## Литература

1. Proskurnin V.Yu. et al. Plutonium and americium in the deep Black Sea bottom sediments // Journal of Environmental Radioactivity. 2021. Vol. 229-230. Article no. 106540.
2. Прокурнин В.Ю. и др. Геохронологическая реконструкция депонирования плутония в глубоководных донных отложениях Чёрного моря // Радиационная биология. Радиэкология. 2018. Т. 58, № 6. С. 664-670.



УДК 54.027, 544.723

## ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЦИИ $^{137}\text{Cs}$ , $^{85}\text{Sr}$ , $^{60}\text{Co}$ ИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ЖРО МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ГОРЮЧИМИ СЛАНЦАМИ ОТ ОТНОШЕНИЯ ОБЪЕМА РАСТВОРА К МАССЕ СОРБЕНТА

**Венглинская Е.Э.**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Государственное научное учреждение "Объединенный институт энергетических и ядерных исследований - Сосны" Национальной академии наук Беларуси,*

*Минск, Беларусь*

*e-mail: [yenglinskaya.e@gmail.com](mailto:yenglinskaya.e@gmail.com)*

В данной работе установили, что очистка модельного раствора ЖРО низкой активности наиболее эффективна при отношении объема раствора к массе сорбента от 800 до 1000 мл/г при сорбции радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$  сорбентами на основе модифицированных горючих сланцев.

From this paper, it is derived that the most effective low-activity LRW purification from  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$  is possible at the ratio of solution volume to sorbent mass from 800 to 1000 ml/g when sorption takes place on the modified oil-shale sorbents.

При исследовании сорбции радионуклидов важно понимать, в каких условиях очистка сорбентами загрязненного раствора наиболее эффективна. В представленной работе проводили исследование зависимости величин сорбции  $S, \%$  и коэффициента распределения  $K_d, \text{мл/г}$  радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$  при их совместном присутствии из модельных растворов низкоактивных ЖРО на неорганических сорбентах на основе модифицированных горючих сланцев с различными способами обработки от отношения объема раствора ( $V, \text{мл}$ ) к массе сорбента ( $m, \text{г}$ ) для следующих значений  $V/m$ : 10, 50, 100, 250, 500, 800, 1000, 1600, 2000 мл/г. Модельные ЖРО готовили на основе дистиллированной воды, в которую вносили радионуклиды с удельной начальной активностью каждого  $10^5\text{-}10^6$  Бк/л. pH растворов доводили до  $\sim 7,0$  0,1 М раствором NaOH. Сорбцию проводили в условиях ограниченного объема. Сорбционное равновесие устанавливалось в течение 24 ч при постоянном перемешивании при комнатной температуре.

При увеличении отношения  $V/m$  с 10 до 2000 мл/г происходит постепенное увеличение значения сорбции  $^{85}\text{Sr}$  на всех горючих сланцах с 50 до 81 %. При этом также отмечается существенный рост  $K_d$  с  $0,4 \cdot 10^1$  до  $9,8 \cdot 10^3$  мл/г. Стоит заметить, что хотя рост  $K_d$  с ростом  $V/m$  предсказуем, необходимо однако ограничить  $V/m$  до некоторого значения. При изучении зависимости  $K_d$  и  $S$  от  $V/m$  для высоких  $V/m$  становится невозможным измерение малых масс сорбента, необходимых для

проведения исследований в рамках научной лаборатории. Это делает большим колебание  $V/m$  около установленного значения, что, в свою очередь, увеличивает погрешность расчета  $K_d$ . В связи с этим разумно ограничить  $V/m$  значением 1000 мл/г. Для  $^{85}\text{Sr}$  максимальные значения как  $K_d$ , так и  $S$  наблюдаются при  $V/m = 800$  мл/г и более. Стоит также отметить, что при  $V/m = 1000$  мл/г значения  $S$  и  $K_d$  радиостронция принимают близкие значения вне зависимости от способа обработки сорбента:  $\sim 63\%$  и  $\sim 1,7 \cdot 10^3$  мл/г.

Общей тенденцией для радиоцезия, независимо от способа обработки сланцев, является падение значения сорбции от 100 до 59 % и увеличение  $K_d$  от  $2,7 \cdot 10^3$  до  $8,3 \cdot 10^3$  мл/г при изменении  $V/m$  от 10 до 2000 мл/г. При этом максимальные значения  $S$  достигаются при малых  $V/m$  (10-250 мл/г), использование которых в промышленных масштабах нецелесообразно ввиду больших расходов сорбента. При  $V/m = 1000$  мл/г значения  $S$  и  $K_d$  достаточно велики для радиоцезия на всех исследуемых образцах сланцев (71-91% и  $(3,0-9,8) \cdot 10^3$  мл/г), чтобы судить о них как об эффективных сорбентах для извлечения  $^{137}\text{Cs}$  из модельных растворов ЖРО.

Сорбция радиокобальта на горючих сланцах с различными способами обработки приблизительно одинакова для всех сорбентов при  $V/m = 800$  мл/г и составляет 81-91 %. Тем не менее,  $S$  при  $V/m = 1000$  мл/г также сохраняется на достаточно высоком уровне и составляет 72-90%. При этом  $K_d$   $^{60}\text{Co}$  как при  $V/m = 1000$ , так и при  $V/m = 800$  мл/г имеет значения, позволяющие говорить о высокой эффективности сорбентов для извлечения радиокобальта из модельных растворов ЖРО, и составляет  $(1,0-3,1) \cdot 10^3$  и  $(4,0-7,9) \cdot 10^3$  мл/г соответственно.

Таким образом, при исследовании сорбции из модельных растворов ЖРО радионуклидов цезия, стронция, кобальта модифицированными горючими сланцами установлено, что указанные радионуклиды сорбируются наилучшим образом при отношении объема раствора к массе сорбента  $V/m = 800$  или 1000 мл/г. При этом параметры сорбции радиоцезия имеют более высокие значения при  $V/m = 1000$  мл/г, а стронция и кобальта – при  $V/m = 800$  мл/г. Тем не менее, сорбция указанных радионуклидов сравнима и эффективна при обоих значениях  $V/m$ , что позволяет рекомендовать сорбенты на основе модифицированных горючих сланцев для очистки растворов ЖРО низкой активности от радионуклидов цезия, стронция и кобальта.

УДК 543.544

**РАЗДЕЛЕНИЕ РАЦЕМАТА ПЕНТАНОЛА-2 НА ХИРАЛЬНОЙ НЕПОДВИЖНОЙ ФАЗЕ НА ОСНОВЕ ГОМОХИРАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ СОЗРЕВАНИЯ ВИЕДМЫ<sup>1</sup>****Шарафутдинова Ю.Ф., Ганиева А.Ш., Гуськов В.Ю.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Башкирский государственный университет,  
450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32;  
e-mail: [Ms.shaihitdinova94@gmail.com](mailto:Ms.shaihitdinova94@gmail.com)*

В работе для разделения рацемата пентанола-2 предложена новая хиральная неподвижная фаза на основе гомохиральных кристаллов  $\alpha\text{-NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , полученных в условиях созревания Виедмы. Разделение наблюдалось в диапазоне высоких концентраций 4-11.3 мг/мл с максимальным критерием селективности 1.32 (элюент – смесь н-гептана и хлороформа).

In this paper, a new chiral stationary phase based on homochiral  $\alpha\text{-NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  crystals obtained in the Viedma ripening conditions is proposed for the separation of pentanol-2 racemate. Separation was observed in the concentration range of 4-11.3 mg / ml with a maximum selectivity criterion of 1.32 (eluent is a mixture of n-heptane and chloroform).

Проблема разделения рацемических веществ является актуальной в связи с возрастающим применением энантиочистых веществ в фармацевтической промышленности. Основным методом разделения является хроматография. Однако разделения зачастую сопровождаются недостаточно высокой энантиоселективностью. Поэтому представляет интерес создание хиральных фаз, основанных на новых принципах хирального распознавания. В качестве таких фаз могут выступать энантиоморфные кристаллы, в том числе, ахиральных соединений. Они могут быть получены из растворов методом созревания Виедмы, а Соаи с соавторами обнаружили способность поверхности таких кристаллов выступать в роли энантиоселективных катализаторов. Поэтому представляется возможным использование энантиоморфных кристаллов для хирального разделения в хроматографии.

В работе для разделения рацемата пентанола-2 предложена новая хиральная неподвижная фаза на основе энантиоморфных кристаллов  $\alpha\text{-NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , полученных в условиях созревания Виедмы. Способность к хиральному разделению рацемата пентанола-2 исследовалась в условиях нф-ВЭЖХ. В качестве элюента была выбрана смесь н-гептана и хлороформа с объемной концентрацией последнего от 10 до 40 %.

<sup>1</sup> Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 19-73-10079)

Было обнаружено разделение рацемата на два пика (рис. 1). Из хроматограмм разделения рацемата пентанола-2 были определены времена удерживания и параметры разделения. Разделение наблюдалось в диапазоне концентраций 4-11.3 мг/мл. Достоверность полученных разделений подтверждалась поляриметрическим и ГХ/МС анализом фракций каждого пика. ГХ-МС анализ показал, что помимо элюента в обоих пробах содержится только одно вещество. Расшифровка масс-спектра по характеристическим ионам как для первой, так и для второй фракции, показывает, что данным веществом является пентанол-2. Показано, что параметры разделения не зависели от скорости элюирования. При увеличении объемной доли хлороформа элюирующая сила растворителя возрастала, а критерий разделения и коэффициент селективности снижались. Последний варьировался от 1.09 до 1.32. Максимальная эффективность разделения составляла 2000 тт/м.

Таким образом, на новой хиральной неподвижной фазе на основе энантиоморфных кристаллов  $\alpha$ -NiSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O были получены разделения рацемата пентанола-2 с высоким коэффициентом селективности. Механизм хирального разделения на энантиоморфных кристаллах принципиально отличается от такового на классических хиральных неподвижных фазах. Трансфер хиральности от поверхности энантиоморфного кристалла осуществляется не к отдельной молекуле, а к слою локализовано адсорбированного вещества, что приводит к различию в латеральных взаимодействиях молекул энантиомеров на поверхности. За счёт этого хиральное разделение может осуществляться только при высоких степенях заполнения поверхности. Получение разделений в области высоких концентраций позволит в дальнейшем применять данную хиральную неподвижную фазу для полупрепаративного разделения рацематов.

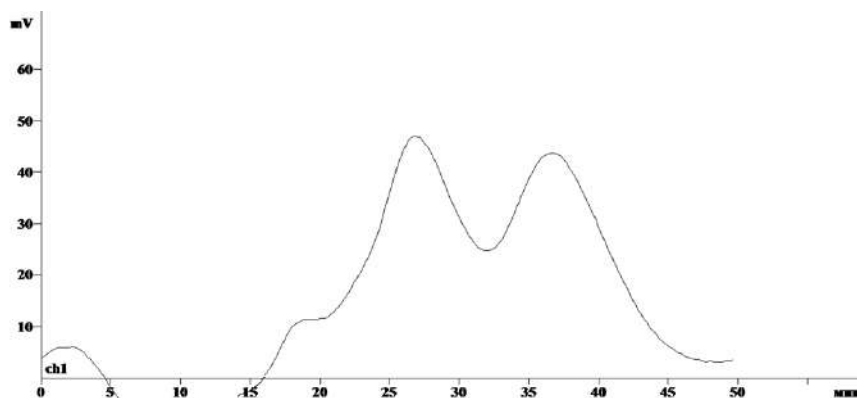


Рис.1. Разделение пентанола-2. Концентрация 10 мг/мл, элюент гептан – хлороформ в соотношении 80:20, скорость потока 0.2 мл/мин ( $\alpha$ =1.32, R=0.61)

УДК 544

## СПЕКТРОСКОПИЯ ИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ В БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Семенюк Д.Ф., Наливкин И.А., Семенова А.М.

*ЗАО «Инновационный центр «Бирюч»*

*Россия, Белгородская обл., Красногвардейский р-н, с. Малобыково, ул. Белая Вежа, д. 1;*

*e-mail: [i.nalivkin@brc.efko.ru](mailto:i.nalivkin@brc.efko.ru)*

В ЗАО «ИЦ «БИРЮЧ» разработан сенсор IMS, предназначенный для использования с газовым хроматографом и позволяющий в процессе анализа сложных газовых смесей дополнительно различать вещества по их ионной подвижности, что увеличивает достоверность и информативность анализа.

The research group of Innovation Center “BIRUCH” developed IMS sensor, which is used in complex with a gas chromatograph to analyze complex gas mixtures. The device allows to separate substances by their ion mobility, and therefore reliability and informativity of analysis are increased.

Спектрометры ионной подвижности (IMS) обладают высокой чувствительностью и в то же время относительно просты, надежны и недороги. Во многих применениях они служат как законченные аналитические приборы для анализа состава газовых смесей.

В ЗАО «ИЦ «Бирюч» разработан сенсор IMS, используемый в качестве детектора в составе газового хроматографа, при этом вещества распознаются как по времени выхода из хроматографической колонки, так и по ионной подвижности данных веществ. На выходе формируется трехмерная поверхность данных, где по оси X – ионная подвижность, по оси Y – интенсивность сигнала (пропорциональна количеству ионов), по оси Z – время выхода вещества из колонки. Таким образом многократно увеличивается информативность и достоверность анализа.

Разработанный сенсор обладает следующими характеристиками:

- времяпролетный принцип работы;
- ионизация тритиевым источником  $\beta$ -излучения;
- ионизационная камера оптимизирована для работы с малым потоком аналита, соответствующим потоку в колонке хроматографа;
- термостатированная сенсорная трубка;
- двухсеточный ионный затвор;
- чувствительный усилитель ионного тока, позволяющий различать ионные пики величиной менее 1 пА;
- автоматизированная система управления и контроля блока IMS, позволяющая подключаться к управляющему компьютеру по любому из интерфейсов: USB/Ethernet/RS-485.

Во многих исследованиях спектрометрия ионной подвижности рассматривается как диагностический инструмент медицины третьего тысячелетия [1-5], позволяющий обнаружить широкий спектр заболеваний, в том числе патологии легких (рак, пневмония), диабет, инфекционные заболевания и воспалительные процессы. Методы IMS являются экспресс-диагностикой и заключаются в анализе выдоха и/или физиологических жидкостей пациента на наличие в них вирусов и молекул, сопутствующих заболеванию. В частности, система IMS-ГХ может быть вспомогательным методом диагностики легочных заболеваний по анализу выдыхаемого воздуха. Идентифицируется состав выдоха пациента на наличие химических и биохимических соединений, характерных для исследуемого заболевания. Определяемые маркеры предварительно идентифицируются при «обучении» прибора и заносятся в базу данных.

### **Литература**

1. Ion mobility spectrometry: the diagnostic tool of third millennium medicine// REV ASSOC MED BRAS, 2018, Vol. 64, No.9, pp. 861-868
2. Metabolic Profiling of Human Blood by High Resolution Ion Mobility – Mass Spectrometry (IM-MS) // Int. J. Mass Spectrom., 2010 December, Vol. 298, No. 1-3, pp. 78–90.
3. Integrating ion mobility spectrometry into mass spectrometry-based exposome measurements: what can it add and how far can it go? // Bioanalysis, 2017, Vol. 9, No. 1, pp. 81–98.
4. Electrospray ion mobility spectrometry of intact viruses//Spectroscopy, 2004, Vol. 18, pp.31-36
5. Electrospray Ionization of a Whole Virus: Analyzing Mass, Structure, and Viability // ChemBioChem , 2004, Vol. 5 pp. 258-260.

УДК 556.388

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД МОСКОВСКОГО РЕГИОНА<sup>1</sup>

**Губанова Ю.К.<sup>1,2</sup>, Карл Л.Э.<sup>1,2</sup>, Кайгородов Е.И.<sup>1,2</sup>, Лащенко Т.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Российский университет дружбы народов (РУДН),  
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Россия;*

<sup>2</sup> *ФГУП «Научно-технический центр радиационно-химической  
безопасности и гигиены» ФМБА России, Москва, Россия;  
e-mail: [gubanova1605@ya.ru](mailto:gubanova1605@ya.ru)*

В данной работе проводили радиоэкологическую оценку качества подземных вод на территории Московского региона.

The work dedicated to the radioecological assessment of underground water quality in the Moscow Region

Пресные поверхностные и подземные воды являются основными источниками питьевого водоснабжения для населения. Повышенная радиоактивность природных вод в основном формируется за счет природных радионуклидов (<sup>234</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>224</sup>Ra, <sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb, <sup>40</sup>K, <sup>222</sup>Rn, реже <sup>232,230,228</sup>Th). Ведущие организации в области изучения радиоактивности природных вод говорят, что более 70% подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения, имеют повышенную  $\Sigma\alpha$ -активность [1]. Оценка качества питьевой воды проводится по требованиям НРБ-99/2009 по показателям радиационной безопасности, первоначально определяется суммарная  $\Sigma\alpha$ -  $\Sigma\beta$  - активность, в случае превышения радиохимическое определение радионуклидного состава.

В Московском регионе хозяйственно-питьевое водоснабжение в основном осуществляется за счет подземных вод. Радиационно-гигиеническая оценка подземных вод проводилась на северо-востоке, востоке и юго-западе в разные годы несколькими исследователями [1,2,3,4,5]. В [1] показаны основные водоносные горизонты, на которых расположен регион, и их характеристики.

Целью данной работы является радиоэкологическая оценка подземной воды Московского региона, используемая для питьевого водоснабжения населения по потенциальной радоноопасности.

Пробоотбор осуществляли из артезианских скважин до поступления воды разводящие сети. Подготовку и анализ проб для определения  $\Sigma\alpha$  и  $\Sigma\beta$  проводили по стандартной методике МР «Суммарная активность альфа- и бета- излучающих радионуклидов в природных водах». Измерение проводили на альфа-бета радиометре УМФ-2000 с МДА счетных образцов

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90291 на базе ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России.

0,01 Бк за период 1000 с и погрешностью измерений  $\pm 15\%$ . В случае превышения  $\sum \alpha$  проводили измерения по МР 2.6.1.0064-12 «Радиационный контроль питьевой воды методами радиохимического анализа».

В данной работе мониторинг проводили на северо-востоке Московского региона. Полученные данные сравнили с данными других исследователей, диапазон содержаний радионуклидов представили в таблице.

Таблица – Радиоэкологическая оценка качества подземных вод Московского региона, отобранных в разных районах в разное время с глубины от 20 до 100 метров

Измеряемые параметры	УВ <sub>i</sub> вода, Бк/кг	Диапазон измеряемых содержаний, Бк/кг			
		Год опробования скважин			
		2007*	2008-2012**	2004-2011***	2020
<sup>220</sup> Ra	0,49	0,10-1,73	0,02-0,39	0,3-0,5	0,26-0,55
<sup>226</sup> Ra	0,20	-	<0,0004	<0,020-0,03	0,11-0,23
<sup>238</sup> U	3,0	-	<0,001-0,06	0,002-0,6	<0,03-0,08
<sup>234</sup> U	2,8	-	<0,001-0,07	0,003-0,5	<0,04-0,05
<sup>210</sup> Po	0,11	-	<0,0006-	0,005-0,007	<0,04-0,06
<sup>210</sup> Pb	0,20	-	<0,0003-	< 0,010-0,013	<0,02-0,017
A <sub>α</sub>	0,2	0,12-2,1	0,01-0,37	0,1-0,3	0,21-0,51
A <sub>β</sub>	1,0	-	0,07-0,56	0,10-0,50	0,21-0,50
DK(+ΔDK)	≤1,0	-	0,01-0,07	-	1,60 - 2,52
A <sub>α</sub> -∑K <sub>i</sub> A <sub>i</sub>	≤0,20	-	0,29-1,65	-	-
E, мЗв/год	<0,10	-	0,01-0,10	-	0,16-0,29
Превышения, раз	A <sub>α</sub>	0,6 - 11	0,05 - 1,9	0,5 - 1,5	1,1 - 2,6
	УВ <sup>226</sup> Ra	0,2 - 3,5	0,04 - 0,8	0,6 - 1,0	0,5 - 1,1
	E	-	0,1 - 1,0	-	1,6 - 2,9

\* [4]; \*\* [6]; \*\*\* [2,3]

Наши исследования подтвердили данные, полученные ранее. В целом содержание радионуклидов меньше уровней вмешательства. Радиоэкологическая оценка показала, что среднегодовое значение  $\sum \alpha$  в 2,5 раза превышает норматив, колеблется от 0,21 до 0,51 Бк/л, формирует СГЭД от 0,16 до 0,29 мЗв/год, которое превышает дозовую квоту для питьевой воды. Однако выявлены скважины, где превышение по ряду показателей существенны. Максимальное СГЭД превышает в 3 раза квоту по воде и составляет 0,29 мЗв/год. Выявили, что дозовая нагрузка формируется в основном за счет <sup>226</sup>Ra, содержание которого менялось от 0,26 до 0,55 Бк/л. Содержание радионуклидов <sup>232</sup>Th ряда в опробованной воде не превышало 0,001 Бк/л, которое на порядок меньше региональных содержаний в подземных водах европейской части России. Количественно удалось определить изотопы <sup>238</sup>U ряда, которые относятся к дозообразующими, но их содержание существенно меньше УВ.

Радиоэкологическая оценка подземных вод Московского региона показала, что требуется проводить мониторинг и принимать управленческие решения для защиты населения.

## Литература

1. Зуев Д. М. Подземные артезианские воды ...//АНРИ. 2004. №. 4. С. 51-58.
2. Бахур А. Е. и др. Качество Московской артезианской воды...//АНРИ. 2004. Т. 2. С. 9-13.
3. Бахур А. Е., Зуев Д. М. ...//Разведка и охрана недр. 2011. №. 9. С. 10-10.
4. Галицкая И. В. и др. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2010. №. 5. С. 399-409.
5. Коренков И.П., Лащенкова Т.Н., Клочкова Н.В. // Гигиена и Санитария. 2013. № 2. С. 11-15.
6. Клочкова. Н.В. Дис. Комплексная...канд.биол.наук. М.: ГУП МосНПО "Радон", 2011год.



УДК 543.522

## АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КАК ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРИ ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ <sup>1</sup>

**Фролова М.А.<sup>1</sup>, Чуклин А.А.<sup>1</sup>, Довгий И.И.<sup>1,2</sup>, Тананаев И.Г.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Россия 299053,  
г. Севастополь, ул. Университетская, 33

<sup>2</sup> МГИ, Республика Крым 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

<sup>3</sup> ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет», Россия 690922,  
Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10

e-mail: [frolova-85@mail.ru](mailto:frolova-85@mail.ru)

При добыче полезных ископаемых в почву, атмосферу и гидросферу поступает свыше  $10^5$  различных химических соединений, которые в свою очередь оказывают влияние на биологические объекты по соматической и генетической линиям. Это ведет к исчезновению ряда биовидов, образованию новых и старых заболеваний среди объектов биосферы и в конечном итоге у человека. Для решения экологических задач в пользу повышения качества жизни населения необходимы перспективные методы аналитического контроля объектов окружающей среды с целью удаления наиболее опасных загрязнителей. Среди таковых широко используется метод активационного анализа, позволяющий чувствительно определить ряд опасных для человека химических элементов и веществ. В настоящем докладе будут представлены методы аналитического определения ряда химических элементов с высокой точности для обеспечения гарантированной экологической безопасности Республики Крым и Азово-Черноморского региона.

During the extraction of minerals, over 105 different chemical compounds enter the soil, atmosphere and hydrosphere, which in turn affect biological objects along somatic and genetic lines. This leads to the disappearance of a number of biospecies, the formation of new and old diseases among the objects of the biosphere and, ultimately, in humans. To solve environmental problems in favor of improving the quality of life of the population, promising methods of analytical control of environmental objects are needed in order to remove the most dangerous pollutants. Among these, the method of activation analysis is widely used, which makes it possible to sensitively determine a number of chemical elements and substances hazardous to humans. This report will present methods for the analytical determination of a number of chemical elements with high accuracy to ensure guaranteed environmental safety of the Republic of Crimea and the Azov-Black Sea region.

Проблема контроля загрязненности объектов окружающей среды решается с помощью развития и использования современных методов контроля степени загрязнения, причем методы контроля должны позволять определять ультрамалые концентрации загрязнений. К таким методам определения ультрамалых загрязнений токсичными элементами или их соединениями, а также радионуклидами объектов окружающей среды принадлежат радиоаналитические методы. Среди них особо важное место принадлежит нейтронно-активационному анализу. Непременной

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета, идентификатор проекта 42-01-09/169/2021-7

составляющей этого метода является наличие мощного источника нейтронов, у которого хорошо поставлена метрология и спектрометрия нейтронных полей. К таким источникам следует отнести исследовательский реактор (например, ИР-100) с его экспериментальными устройствами и опытом метрологии и спектрометрии нейтронных полей. Нейтронно-активационный анализ – это широко применяемый метод радиоаналитической химии, возникшей на стыке ядерной физики, радиохимии и аналитической химии. Используя современные методы анализа, это один из самых высокочувствительных современных аналитических методов, взявший у аналитической химии цель – определение следов элементов в различных объектах; у ядерной физики среднего образования дочерних радионуклидов в результате нейтронно-ядерных реакций при активации и измерении их активности; у радиохимии способ – разделение и выделение радионуклидов определяемых элементов. Нейтронно-активационный анализ основан на облучении анализируемого вещества плотностью потока нейтронов определенной энергии (чаще всего тепловыми) и образовании в результате ядерных реакций дочерних радионуклидов в специально приготовленных пробах, по активности которых ведется определение материнских элементов в пробе. Теоретический предел обнаружения материнских элементов (до облучения) зависит от плотности потока нейтронов (так, для ИР-100 это  $10^{13}$  тепловых нейтронов на  $\text{см}^2$  в секунду) и сечения активации ( $\sigma_{\text{акт}}$ ), и в меньшей степени от времени облучения пробы, а также времени жизни образовавшегося радионуклида, который служит основой для количественного определения материнского. Так, например, при облучении образца массой в 1г в центральном экспериментальном канале ИР-100 или канале пневмопочты, пределы обнаружения свыше 70 химических элементов колеблются в границах от  $10^{-5}$  до  $10^{-10}$  %, причем 61 элемент системы Д.И. Менделеева можно определять при содержаниях менее  $10^{-6}$  % [1-4].

Таким образом, исследовательский реактор ИР-100 потенциально может являться исключительно действенным элементом в системе контроля загрязнения окружающей среды нейтронно-активационным методом в Крымском регионе, считающимся Всероссийской зоной отдыха (здравницей), а также в регионе всего Азово-Черноморского бассейна, куда впадают реки Дунай, Днепр, Южный Буг и Дон, в бассейнах которых размещена вся уранодобывающая отрасль и все АЭС Украины, 4 АЭС России, а также большая часть АЭС Западной Европы.

#### **Литература**

1. *Меднис И.В.* Справочные таблицы для нейтронно-активационного анализа / И.В. Меднис. - Рига: Изд-во Зинатне, 1974. - 410 с.
2. Справочник по ядерной физике / под редакцией академика Л.А. Арцимовича. - Москва: Госиздат физ-мат литературы, 1963. - 632 с.
3. *Гордеев И.В.* Справочник по ядерно-физическим константам для расчетов реакторов / Гордеев И.В., Кардашев Д.А., Малышев А.В. - Москва: Издательство государственного комитета совета министров СССР по использованию атомной энергии, 1960. – 279 с.
4. *Закутинский Д.И.* Справочник по токсикологии радиоактивных изотопов / Д.И. Закутинский. - Москва: Госиздат. мед. литературы, 1962. - 116 с.

УДК 543.552

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАРБАРИЛА НА ЭЛЕКТРОДЕ, МОДИФИЦИРОВАННОМ ВОССТАНОВЛЕННЫМ ОКСИДОМ ГРАФЕНА<sup>1</sup>

**Дорожко Е.В., Сакиб М., Соломоненко А.Н., Короткова Е.И.,  
Липских О.И., Воронова О.А., Логунова Д.В.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина 30;  
e-mail: [elena-dorozhko@yandex.ru](mailto:elena-dorozhko@yandex.ru)*

Работа посвящена разработке методики вольтамперометрического определения карбарилла на электроде, модифицированном оксидом графена. Показано, что восстановление оксида графена с помощью лазерного воздействия позволяет увеличить чувствительность определения пестицида во фруктах и соках.

The work is devoted to the development of a method for the electrochemical determination of carbaryl on an electrode modified with graphene oxide. It was shown that the reduction of graphene oxide by laser exposure allows increasing the sensitivity of the pesticide determination in fruits and juices.

Несмотря на то, что пестициды позволяют значительно повысить урожайность сельскохозяйственных культур, их широкое и повсеместное применение зачастую приводит к нежелательному загрязнению окружающей среды. В частности, загрязнение воды пестицидами стало серьезной экологической проблемой в последние несколько десятилетий [1].

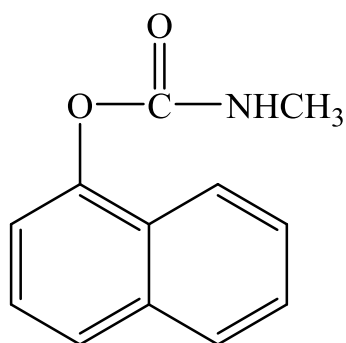


Рисунок 1 – Структурная формула карбарилла

Одним из распространенных инсектицидов карбаматного ряда является карбарил (рис.1). Он был классифицирован Агентством по охране окружающей среды Соединенных Штатов как потенциальный канцероген [2]. Несмотря на то, что существует большое количество методов, применяемых для определения различных пестицидов, электрохимические методы анализа вызывают интерес, поскольку они просты, экономически эффективны, достаточно чувствительны и избирательны.

В данной работе для определения карбарилла был выбран метод вольтамперометрии. В качестве рабочего электрода использовали подложку из полиэтилентерефталата, на которую капельным методом

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и ЧНФ в рамках научного проекта № 19-53-26001

осаждали плёнку графена с последующим приданием сетчатой структуры за счет лазерного воздействия (длина волны мощности 405 нм).

Исследование электрохимических свойств пестицида проводили с помощью циклической вольтамперометрии и вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала в диапазоне от -1,0 до 1,6 В при скорости сканирования 300 мВ/с в фосфатном буферном растворе рН 6,86.

На рис. 2 (а) показаны анодные вольтамперограммы карбарила после его адсорбционного накопления в течение 10 мин на поверхности электрода, модифицированного оксидом графена. Высоты пиков пропорциональны концентрации карбарила в диапазоне от 0,25 до 128,0 мг/л (рис. 2 (б)). Предел обнаружения 0,1 мг/л был получен на основе  $3\sigma$  критерия.

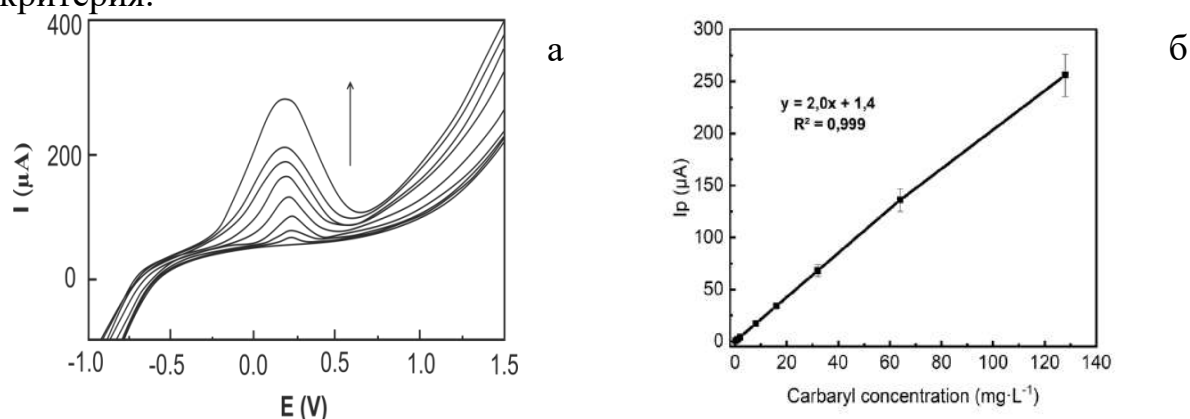


Рисунок 2 (а) – Анодные вольтамперограммы карбарила (возрастающая концентрация 0,25; 1,0; 2,0; 8,0; 16,0; 32,0; 64,0; 128,0 мг/л в 96% этаноле и деионизированной воде (1: 1)) на сетчатом электроде, модифицированном восстановленным оксидом графена в фосфатном буферном растворе (рН 6,9) при 300 мВ/с. (б) - Калибровочная зависимость высоты анодного пика от концентрации карбарила.

Предложенный модифицированный электрод был успешно применен для определения карбарила в яблочном и апельсиновом соках путем добавления различных количеств пестицида (0,25; 31,25; 125 мг/л). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Определение карбарила в свежеприготовленных яблочном и апельсиновом соках ( $n = 3$ ) в фосфатном буферном растворе (рН 6,9)

Образец сока	Введено (мг/л)	Найдено (мг/л)
Яблоко	0,25	0,26±0,02
	31,25	32,82±2,18
	126,00	123,50±16,5
Апельсин	0,25	0,23±0,02
	31,25	29,55±3,14
	126,00	124,00±15,7

Таким образом, предложенный электрод позволяет проводить определения Карбарила во фруктах и фруктовых соках в широком диапазоне

концентраций. Методика может быть использована для определения пестицида в природных водах объектах окружающей среды.

#### **Литература**

1. *Derbalah A, Ismai, A, Shaheen S.* On the presence of organophosphorus pesticides in drainage water and its remediation technologies // *J. Environ. Eng. Landsc. Manage.* 2016. V. 15. No. 8. 1777-1787.
2. *Bazrafshan A.A., Ghaedi M., Rafiee, Z., Hajati S., Ostovan A.* Nano-sized molecularly imprinted polymer for selective ultrasound-assisted microextraction of pesticide Carbaryl from water samples: Spectrophotometric determination // *Journal of Colloid and Interface Science.* 2017. 498. 313–322.

УДК 541.183

**ПРОВЕДЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ГАЗОВ С ПОМОЩЬЮ  
МАЛОСЕЛЕКТИВНЫХ СЕНСОРОВ<sup>1</sup>****Москалев П.В., Шапошник А.В.**

*ВГАУ, Россия 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д.1;  
e-mail: [moskaleff@gmail.com](mailto:moskaleff@gmail.com)*

Селективный анализ газов с помощью малоселективных сенсоров основан на обработке многомерных данных методами вычислительной статистики. Рассмотрены эффективные методы качественного и количественного анализа для условно одно- и многокомпонентных газовых систем.

Selective gas analysis using low-selective sensors is based on the processing of multi-dimensional data using computational statistics methods. We have considered effective methods of qualitative and quantitative analysis for conventionally single- and multi-component gas systems.

Для проведения селективного анализа с использованием малоселективных сенсоров можно использовать два подхода. Первый из них состоит в создании мультисенсорных приборов. Второй подход основан на использовании нестационарных режимов работы одного или нескольких сенсоров. В обоих случаях выборочные данные могут быть представлены как массивы сильно коррелированных векторов высокой размерности. Для анализа таких данных на первом этапе как правило используется редукция размерности векторов, например, на основе методов PCA, PLS и т.п.

Существует три типа задач селективного анализа. К задачам первого типа относится качественный и количественный анализ условно однокомпонентных систем, к примеру «водород в воздухе» и т.п. Здесь предполагается, что содержание большего числа аналитов в такой среде маловероятно. Требуется определить вид и концентрацию аналита. Вначале формируется плоская проекция выборочных данных, локализованные области которой соответствуют условно однокомпонентным системам. Для решения задачи качественного анализа нужно определить, в окрестность какой из точек, характерных для каждого аналита, попадает данное тестовое значение. С математической точки зрения эта задача сводится к оценке расстояния между точками на проекционной плоскости, которое зависит от используемой метрики. Чаще всего авторами используется метрика Евклида, хотя при этом ими неявно допускается равнозначность дисперсии абсцисс и ординат на проекционной плоскости. В наших рабо-

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-24128.

тах [1, 2] используется метрика Махаланобиса с радиусом окрестности, соответствующим  $6\sigma$ , поскольку дисперсии абсцисс и ординат в проекции выборочных данных различаются на 2-3 порядка. Для корректного решения задачи количественного анализа требуется аппроксимация геометрической структуры обучающей выборки в зависимости от концентрации аналита, обычно формируемая с помощью регрессионных моделей [1]. Унифицированное решение этих задач может быть построено за счет искусственных нейронных сетей. Однако, наш опыт показывает, что для снижения погрешности нейронная сеть требует иерархическую структуру, когда подсеть 1-го уровня занимается классификацией аналитов, а подсети 2-го уровня – определением их концентрации.

Второй тип задач селективного анализа – распознавание смесей с постоянным соотношением между компонентами. Подобный анализ может использоваться, например, в медицинской диагностике. Методы решения задач второго типа принципиально не отличаются от задач первого типа.

Третий тип задач – определение состава смесей, с переменным соотношением между компонентами. Методы редукции размерности сравнительно просто позволяют получать проекции выборочных данных, точки которых соответствуют определенным концентрациям компонентов обучающей выборки, однако определение концентраций тестовой выборки по их проекционным координатам, является совсем не тривиальной (рис. 1).

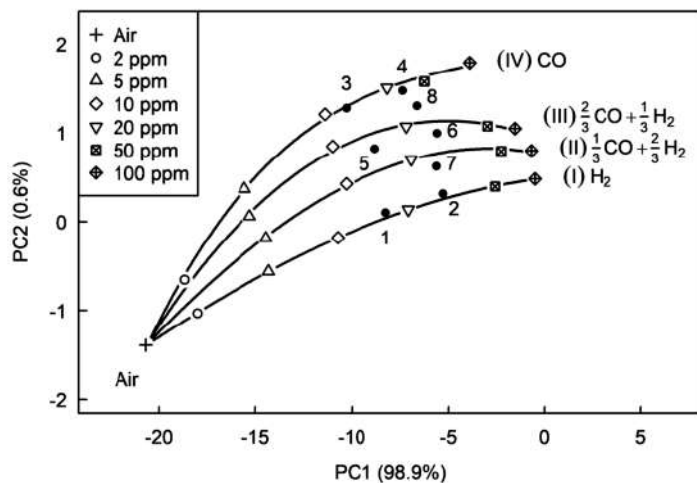


Рис. 1. Проекция тестовой (1–8) и обучающей (I–IV) выборок для смеси «H<sub>2</sub> и CO в воздухе» на плоскость (PC1, PC2).

В нашей работе было использовано специализированное программное обеспечение, предназначенное для статистического анализа пространственно распределенных данных [2]. Как и в первых двух случаях, задачи третьего типа могут быть решены с использованием искусственных нейронных сетей, однако реализация подобных алгоритмов требует значительных вычислительных ресурсов и в

настоящий момент с трудом может быть реализована на аппаратной базе, используемой при создании портативных газоанализаторов.

#### Литература

1. Shaposhnik A., Moskalev P. et al // Sensors. 2019. V. 19. No. 5. P. 1135. <https://doi.org/10.3390/s19051135>.
2. Shaposhnik A.V., Moskalev P.V. et al // Sensors & Actuators: B. 2021. 334. 129376. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129376>.

УДК 504.054

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО  
ПОКРОВА В РАЙОНЕ НЕАВАРИЙНЫХ МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ****Соловьева Д.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Российский университет дружбы народов (РУДН),  
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6;*

<sup>2</sup>*ФГБУ ГНЦ РФ Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И.  
Бурназяна ФМБА России, 123098, г. Москва, ул. Живописная, д. 46  
e-mail: [SoloviovaD.A@yandex.ru](mailto:SoloviovaD.A@yandex.ru)*

В данной работе представлены результаты оценки содержания техногенных радионуклидов на территории в районе проведения двух мирных ядерных взрывов вблизи месторождения Куэльпорр, Хибины.

This paper presents the results of an assessment of technogenic radionuclide content in the territory of two peaceful nuclear explosions near the Kuelporr deposit, Khibiny.

В ходе реализации государственной программы «Ядерные взрывы для народного хозяйства» на территории Мурманской области на апатитовом месторождении Куэльпорр комбината «Апатит» проводились мирные ядерные взрывы (МЯВ) с целью дробления руды [1]. Первый взрыв с кодовым названием «Днепр-1» осуществили в 1972 году в штольне с глубиной заложения 131 метра с мощностью 2,1 килотонн. В 1984 году там же провели двойной ядерный взрыв «Днепр-2», каждый мощностью 1,7 килотонн на глубине 175 м. Все взрывы прошли штатно [1,2]. Целью данной работы является радиоэкологическая оценка состояния территории в районе воздействия неаварийных МЯВ.

В результате взрывов «Днепр-1» и «Днепр-2» было извлечено 400 тыс. и 1,5 млн. тонн руды соответственно. Было доказано, что эффективность дробления руды при ядерном взрыве малой мощности намного выше, чем химическими взрывчатыми веществами. Но результаты экологических последствий изучаются до сих пор. В воздух были выброшены радиоактивные газы, содержащие короткоживущие и долгоживущие радионуклиды. Образовались рудничные воды, из которых через штреки радионуклиды, в частности  $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , поступают в окружающую среду до настоящего времени и постепенно мигрируют в реки и ручьи бассейнов рек Кунийок и Вудъяврйок [2,3].

В данной работе представлены результаты радиационного обследования территории, проведенного в 2018 - 2019 годах. Проводился мониторинг территории непосредственно вблизи горы Куэльпорр и на удалении - в долинах рек Кунийок, Вудъяврйок по показателю МЭД ГИ, на основании превышения над фоном выбирали точки отбора проб почвы.



Определили, что в долине реки Кунийок радиационный фон однороден от 0,16 до 0,25 мкЗв/час, что соответствует природному радиационному фону. Максимальные значения до 3 мкЗв/час выявили в месте нарушения целостности штольни в горе Куэльпорр. Детальные исследования показали, что загрязнение представлено, в основном, техногенным радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$ .

Для исследования удельного содержания радионуклидов спектрометрическим методом на территории вблизи месторождения Куэльпорр и на удалении - в долинах рек Кунийок, Вудъяврьок, где концентрировались стоки с горы, отбирались пробы почв с горизонта А1. Выявили, что в пробах верхних горизонтов среднее значение  $^{137}\text{Cs}$  составило 50 Бк/кг, максимальное - у штольни на горе Куэльпорр - 123 Бк/кг. В пробах у оз. Гольцовое содержание  $^{137}\text{Cs}$  около 80 Бк/кг и у оз. Перевальное до 100 Бк/кг. Такое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве находится на уровне неограниченного использования (прил. 3 к ОСПОРБ-99/2010), и свидетельствует только о наличии латеральной миграции, контроль над которой необходимо осуществлять. В [4] выявлено, что в нижележащих горизонтах (В и С) содержание  $^{137}\text{Cs}$  не превышало 10 Бк/кг.

Фоновые пробы отбирали на территории вне зоны возможного влияния МЯВ на окружающую среду, содержание  $^{137}\text{Cs}$  в этой почве колеблется от 3 до 5 Бк/кг, которое соответствует среднему региональному значению для Мурманской области [5].

**Выводы.** Исследования показали наличие латеральной миграции радионуклидов, отсутствие радиальной миграции в почвенном профиле, наличие геохимического барьера в органогенном горизонте, где и происходит сорбция гумусовым веществом основной части радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  выходящих за пределы территории инженерных барьеров МЯВ [4]. Необходимо проводить постоянный мониторинг для радиоэкологического контроля состояния территории, особенно в районе озёр для рекреационного использования.

#### Литература

1. Ядерные испытания СССР. Т. 4. Использование ядерных взрывов для решения народнохозяйственных задач и научных исследований / Кол. авторов под рук. В. Н. Михайлова. - Саров: РФЯЦ - ВНИИЭФ, 2000. - 200 с.
2. Гуцин В.В. Подземная разработка апатитовых месторождений: от минных до ядерных взрывов. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2007. - 196 с.
3. Рамзаев В. П., Ретин В. С., Храмцов Е. В. Мирные ядерные взрывы: проблемы и пути обеспечения радиационной безопасности населения //Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 2. – №. 2. – С. 27-33.
4. Телелекова А. Д., Евсеев А. В. Радионуклиды в природной среде Кольского полуострова // Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата. — Архангельск, 2014.
5. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды мурманской области в 2020 году URL: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/> (дата обращения: 08.09.2021).

УДК 631.4:550.4:911.52(597.253)

**КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ И  
 БАРКОДИРОВАНИЯ ДНК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ  
 БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАЛОИЗУЧЕННЫХ  
 ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
 ЦЕНТРАЛЬНОГО ВЬЕТНАМА)<sup>1, 2</sup>**

**Лебедев Я.О.<sup>1,3,4</sup>, Дрыгваль А.В.<sup>2,3,4</sup>, Гусев Е.С.<sup>5</sup>, Мартыненко Н.А.<sup>5</sup>,  
 Горбунов Р.В.<sup>2,3,4</sup>, Горбунова Т.Ю.<sup>2,3,4</sup>, Кузнецов А.Н.<sup>3,4</sup>,  
 Кузнецова С.П.<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup> Московское представительство федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Москва, Российская Федерация, 119991; e-mail: [ya.o.lebedev@yandex.ru](mailto:ya.o.lebedev@yandex.ru)

<sup>2</sup> ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, Российская Федерация, 299011; e-mail: [drygval95@mail.ru](mailto:drygval95@mail.ru), [karadag\\_station@mail.ru](mailto:karadag_station@mail.ru), [gorbunovaty@gmail.com](mailto:gorbunovaty@gmail.com)

<sup>3</sup> Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам; e-mail: [ya.o.lebedev@yandex.ru](mailto:ya.o.lebedev@yandex.ru), [drygval95@mail.ru](mailto:drygval95@mail.ru), [karadag\\_station@mail.ru](mailto:karadag_station@mail.ru), [gorbunovaty@gmail.com](mailto:gorbunovaty@gmail.com), [forestkuz@mail.ru](mailto:forestkuz@mail.ru)

<sup>4</sup> ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, 119071; e-mail: [forestkuz@mail.ru](mailto:forestkuz@mail.ru)

<sup>5</sup> ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, г. Москва, Российская Федерация, 127276; e-mail: [algogus@yandex.ru](mailto:algogus@yandex.ru)

В работе рассматриваются особенности проведения биогеохимических исследований разных природных объектов на малоизученных территориях. Проблема точной идентификации растений (род, вид) определена как фактор, снижающий точность биогеохимических исследований. Предложен способ комплексного применения методов баркодирования ДНК и масс-спектрометрии для повышения точности биогеохимических исследований разных природных объектов на малоизученных территориях.

The paper considers the peculiarities of conducting biogeochemical studies of various natural objects in poorly studied territories. The problem of accurate identification of plants (genus, species) is defined as a factor that reduces the accuracy of biogeochemical studies. A method of complex application of DNA barcoding and mass spectrometry methods to improve the

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Научно-исследовательской работы Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-технологического центра - ЭКОЛАН Э-1.2 «Сохранение, восстановление и устойчивое использование экосистем тропических лесов на основе изучения их структурной и функциональной организации», раздел «Изучение структуры и функционирования низинных и горных экосистем Вьетнама (Национальный парк Бидуп-Нуйба)», а также в рамках научно-исследовательской работы Института биологии Южных морей им. А. О. Ковалевского РАН - «Изучение пространственно-временной организации водных и наземных экосистем с целью разработки системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий» регистрационный номер: 121040100327-3.

<sup>2</sup> Работа по ДНК-метабаркодированию тропических растений выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-14-00211).

accuracy of biogeochemical studies of various natural objects in poorly studied territories is proposed.

Биогеохимические исследования являются важным инструментом для достижения отдельных глобальных целей концепции устойчивого развития, ориентированных на реализацию процесса сбалансированных социально-экономических изменений в части благоприятного экологического состояния окружающей среды. Биогеохимические исследования объектов биосферы позволяют выявлять факторы функционирования, развития, восстановления и поддержания экосистем различных уровней. Биогеохимический круговорот вещества позволяет оценить влияние миграции химических элементов и природно-климатических условий на состояние отдельных объектов экосистемы. Исследование биогеохимических миграций предполагает точную идентификацию объектов исследования. Исследования, проводимые на малоизученных территориях, осложняются высокой мозаичностью растительности (произрастающей в горных условиях местности), а также высоким видовым разнообразием и схожестью растений (в ярусе подроста).

Экспедиционные исследования функционирования ландшафтов среднегорных муссонных (в т.ч. туманных) лесов проводились в пределах ландшафтно-экологического стационара на территории Национального парка Бидуп-Нуйба и прилегающих к нему горных массивах (г. Хонджао) с целью изучения процессов биогеохимических миграций химических элементов в системе «растительность-опад-почва» с последующим речным сбросом. Объектами лабораторных исследований выступали генетические горизонты почв соподчинённых ландшафтов, поверхностные (речные) воды, а также материал растительного опада (молодые побеги, листья) и вегетирующие части растений (молодые побеги, листья). В рамках исследований возникали существенные сложности при определении родовой (и видовой) принадлежности опадного и вегетирующего материала.

Применение методики масс-спектрометрии позволяет определять количественные характеристики исследуемых объектов с высокой точностью и широким диапазоном диагностируемых элементов. Содержание тяжелых металлов в почвах, поверхностных водах и золе растений (вегетирующих частях и опаде) определялось как в валовой, так и в лабильной формах. Был оценен дебет потенциальной миграции при определенных природно-климатических условиях (в т.ч. ландшафтно-геохимических обстановках, геологическом строении территории). Определение элементов и тяжёлых металлов проводили с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой PlasmaQuant MS Elite S-NR:11-6000ST043 в научно-образовательном центре коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФГБУН Институт

биологии Южных морей им. А.О. Ковалевского РАН. Вместе с тем, это не решило проблему идентификации растений (род, вид), что не позволило оценить вклад отдельно взятых растительных организмов в процессы биогеохимической миграции вещества.

С целью идентификации растений был применен метод ДНК-баркодинга – идентификации организмов на основе короткой нуклеотидной последовательности. Из биомассы растения (части листа) выделяли ДНК, из которой амплифицировали и секвенировали короткий фрагмент, нуклеотидная последовательность которого использовалась для отнесения организма к тому или иному таксону. Несмотря на высокую точность, данный подход имеет определённые недостатки, которые учитывались при его применении. К таковым следует отнести: недостаточность молекулярно-генетических данных для описанных видов растений, недостаточную изученность разнообразия и филогении групп растений, выбор используемого маркера (штрих-кода). Это актуально для тропического региона с его высоким биоразнообразием и недостаточной изученностью. Для успешного применения ДНК-баркодинга использовались базы данных BOLD и GenBank, а также двуакторная идентификация посредством применения универсального и специфичного маркеров.

Примененный молекулярно-генетический метод позволяет быстро и точно провести идентификацию организма в различные фазы развития, а также при недостатке необходимых признаков (виды с высокими кронами), что, в комплексе с методом масс-спектрометрии, значительно упрощает проведение биогеохимических исследований на малоизученных территориях.

УДК 661.682:615.453.21

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ,  
ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО  
СЫРЬЯ, В КАЧЕСТВЕ ЭНТЕРОСОРБЕНТА****Веляев Ю.О.<sup>1</sup>, Майоров Д.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, Россия,  
г. Севастополь, ул. Университетская, 33;

<sup>2</sup> ИХТРЭМС КНЦ РАН, 184209, Россия, Мурманская обл., г. Апатиты,  
Академгородок, д. 26а;  
e-mail: [velyayevyo@yandex.ru](mailto:velyayevyo@yandex.ru)

Представлены результаты исследований некоторых физико-химических свойств образцов диоксида кремния, полученных кислотным разложением нефелина. Сделан вывод, что по своим характеристикам образцы аналогичны используемому в медицинской практике в качестве энтеросорбента препарату «Полисорб ПМ».

The results of studies of some physico-chemical properties of silicon dioxide samples obtained by acid decomposition of nepheline are presented. It is concluded that the samples are similar in their characteristics to the drug «Polysorb PM» used in medical practice as an enterosorbent.

В последнее время для профилактики и лечения заболеваний, связанных с интоксикацией организма, широкое распространение получил метод энтеросорбции [1,2]. Это стало возможным благодаря появлению разнообразных по химическому составу и свойствам энтеросорбентов на основе диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) – полисорб, белый уголь и др., эффективность которых подтверждена [3,4]. Для этих сорбентов важную роль имеет поверхностная (сорбционная) активность, обусловленная наличием силанольных групп на поверхности  $\text{SiO}_2$  [5]. Как правило, сорбционная активность (сорбционная емкость, асорб.) пропорциональна величине сорбционной (удельной) поверхности ( $S_{\text{уд}}$ ), которая, в свою очередь, зависит, в том числе, от способа получения  $\text{SiO}_2$ .

На постсоветском пространстве производством кремнезёма, подходящего для этих целей, занимаются предприятия «Калушский опытно-экспериментальный завод» (получаемый пирогенный  $\text{SiO}_2$  обладает  $S_{\text{уд}}$  в интервале  $200 \div 300 \text{ м}^2/\text{г}$ ), и ООО «Экокремний», продукция которого, в основном, предназначена для сельскохозяйственной отрасли, а также некоторые другие предприятия. Большинство производителей используют дорогое реактивное сырьё – четырёххлористый углерод либо кремнийорганические соединения, что обуславливает высокую стоимость получаемого  $\text{SiO}_2$ .

В ИХТРЭМС КНЦ РАН разработаны технологии получения диоксида кремния [6,7], основанные на кислотном разложении природного минерального сырья - нефелина  $((Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2)$ , использование которого в качестве дешёвого источника кремнезёма может существенно снизить себестоимость получаемого продукта ( $SiO_2$ ).

В данной работе приведены результаты исследований некоторых физико-химических свойств образцов  $SiO_2$  (таблица), получаемых по разработанным технологиям. Образец 1 был получен по методу [6], образец 2 – по методу [7]. В качестве сравнения был использован товарный продукт «Полисорб ПМ» (образец 3), представляющий собой неорганический, неселективный, полифункциональный энтеросорбент на основе высокодисперсного пирогенного кремнезёма [8,9].

Таблица – Структурно-поверхностные и сорбционные свойства образцов  $SiO_2$

Показатель	№ образца		
	1	2	3
1. Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	195	680	300±30
2. Сорбционная емкость по N <sub>2</sub> ( $P/P_S = 0.98$ ), мг/г	340	530	≥200*
3. рН водной вытяжки	3.67	4.08	6.12
3. рН изоионной точки поверхности	3.70	5.07	7.49
* - абсорбат и условия сорбции в [8] не указаны.			

На основе представленных данных можно сделать вывод, что диоксиды кремния, полученные разработанными способами, по своим физико-химическим свойствам (удельной поверхности и адсорбционной емкости) близки, или даже превосходят, широко применяемый в медицинской практике препарат «Полисорб ПМ», и могут быть использованы в качестве энтеросорбентов.

### Литература

1. Энтеросорбция / под ред. Н.А. Белякова. – Л.: Центр сорбционных технологий. 1991. – С. 329.
2. Markelov D.A., Nitsak O.V., Gerashchenko I.I. Comparative study of the adsorption activity of medicinal sorbents / Pharm. Chem. Journal. 2008. Vol. 42, No. 7, pp. 405-408.
3. Reshetnikov V.I. Evaluation of the adsorption capacity of enterosorbents and related medicinal preparations / Pharm. Chem. Journal. 2003. Vol. 37, No. 5, pp. 246-251.
4. Калев О.Ф., Коробкин А.В., Захарова М.Н. Полисорб МП при энтеропатии и проявлениях токсичности химиотерапии у больных острым миелобластным лейкозом / Врач. 2007. № 10. – С. 46-48.
5. Чукин Г.Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезёма / М.: Типография Паладин, ООО «Принта». 2008. 172 с.
6. Патент РФ № 2179527. Способ переработки силикатного сырья. Б.И. № 5. 2002 г.
7. Патент РФ № 2179153. Способ получения диоксида кремния. Б.И. № 4. 2002 г.
8. Инструкция по медицинскому применению лекарственного препарата «Полисорб ПМ». Рег. номер PN001140/01.
9. Evonik Industries – Specialty Chemicals – Evonik Industries SG. <https://corporate.evonik.com/> Дата обращения – 21.07.2021 г.

УДК 631.41 543.054

## ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА БИДУП-НУЙБА (ВЬЕТНАМ)<sup>1</sup>

**Фам К.Н.**<sup>1,4</sup>, **Лебедев Я.О.**<sup>2,3,5</sup>, **Дрыгваль А.В.**<sup>1,3,5</sup>, **Горбунов Р.В.**<sup>1,3,5</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», 299011 Российская Федерация, Севастополь, проспект Нахимова 2;  
e-mail: [famkn@ibss-ras.ru](mailto:famkn@ibss-ras.ru), [drygval95@mail.ru](mailto:drygval95@mail.ru), [karadag\\_station@mail.ru](mailto:karadag_station@mail.ru),

<sup>2</sup> Московское представительство ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Российская Федерация, г. Москва;  
e-mail: [ya.o.lebedev@yandex.ru](mailto:ya.o.lebedev@yandex.ru)

<sup>3</sup> Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам

<sup>4</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Российская Федерация, Томск, пр. Ленина 30

<sup>5</sup> ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», Российская Федерация, г. Москва

Аннотация. В работе представлены результаты исследования проб почв на наличие тяжёлых металлов, отобранных в Национальном парке Бидуп-Нуйба на юге Вьетнама. В результате выявлены особенности загрязнения данных почв. Предложен способ оценки загрязнения почв тяжелыми металлами методом ИСП-МС.

Abstract: The paper considers the results of a study of soil samples for the presence of heavy metals taken in the Bidup Nuiba National Park in the south of Vietnam. As a result, the features of the pollution of these soils were revealed. A method for assessing soil contamination with heavy metals by the ICP-MS method is proposed.

Изучение процессов антропогенного (в т.ч. техногенного) загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ) является актуальной задачей. По мере расширения сельскохозяйственных и промышленных территорий, исследования, направленные на установление антропогенной нагрузки, в настоящее время становятся всё более востребованными во Вьетнаме.

На сегодняшний день существует несколько методов, использование которых позволяет решить большинство задач по определению элементного состава проб природных объектов сложного состава. Каждый

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках НИР Тропического центра Э-1.2 «Сохранение, восстановление и устойчивое использование тропических лесных экосистем на основе изучения их структурно-функциональной организации», раздел «Изучение особенностей структуры и функционирования равнинных и горных экосистем Вьетнама национальный парк Бидуп-Нуйба», а также в рамках НИР ФИЦ ИнБЮМ «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий» № 121040100327-3.

метод имеет свои достоинства и недостатки. Несмотря на то, что сегодня многие проблемы, связанные с несовершенством аппаратного обеспечения, в целом решены, широкое распространение получил именно метод МС/МС (с индуктивно связанной плазмой - ИСП/ИСП), с помощью которого можно решить основные задачи в почвоведении и химическом анализе почв, включая определение содержания ТМ в почвах, в том числе для контроля химического загрязнения (как валовых, так и подвижных форм ТМ).

Цель работы – оценить уровень загрязнения почв Национального парка Бидуп-Нуйба, расположенного в южной части Центрального Вьетнама, где, в пределах среднегорных ландшафтов, развиваются желтоземы различных подтипов, а в межгорных понижениях часто встречаются аллювиальные почвы.

Пробоподготовку проводили в лабораторных условиях. Определение элементного состава и ТМ в отобранных почвенных пробах проводили с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой PlasmaQuant MS Elite S-NR:11-6000ST043 в ФГБУН Институте биологии Южных морей им. А.О. Ковалевского РАН.

Содержание ТМ в почве кроме всего прочего зависит также от погодных условий и опадного процесса [1]. После сухого сезона, с уменьшением количества осадков, содержание ТМ в пробах, отобранных в марте 2020 года, было значительно выше по сравнению с пробами, отобранными после сезона дождей в январе 2021 года.

По результатам анализа значения содержания ТМ за исключением Cd, находятся ниже значений ПДК [2]. Здесь необходимо отметить высокое содержание Cd в пробах 2020 г., превышающее в точках 2, 4 и 5 значение ПДК. Следовательно, в почвах национального парка Бидуп-Нуйба отмечается загрязнение Cd, характерное для объектов, подвергающихся техногенному загрязнению. Без дополнительных исследований сложно судить об источнике (источниках) поступления Cd в почвы

В результате проведенных геохимических исследований почв Национального парка Бидуп Нуйба, можно сделать вывод, что применение метода МС/МС (с ИСП/ИСП), при исследовании элементного состава почв на предмет их загрязнения ТМ, позволяет получить данные о химическом составе исследуемых объектов с достаточной степенью достоверности и в объеме, позволяющим оценить элементный состав почв и в последствии выявить степень их загрязнения

### **Литература**

1. Лебедев Я.О., Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., и др. Почвенные и ландшафтно-геохимические условия горных тропических лесных экосистем Южного Вьетнама, Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 22-24 апреля 2021 года, Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, 2021, с. 330-343
2. QCVN 03 : 2008/VTNMT National technical regulation on the allowable limits of heavy metals in the soils, Hanoi, 2008



УДК 504.054(262.5)

## ТЕХНОГЕННЫЕ АЛЬФА-ИЗЛУЧАЮЩИЕ РАДИОИЗОТОПЫ – ТРАССЕРЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ<sup>1</sup>

**Терещенко Н.Н., Параскив А.А. Проскурнин В.Ю.**

*Федеральный исследовательский центр "Институт биологии южных морей  
имени А.О. Ковалевского РАН", 299011, Севастополь, Россия;  
e-mail: [ntereshchenko@yandex.ru](mailto:ntereshchenko@yandex.ru)*

С использованием техногенных радиоизотопов плутония как радиотрассеров природных процессов определены количественные характеристики биогеохимической седиментации в Черном море – скорость осадконакопления, абсолютные массы донных осадков, время формирования слоев осадка, седиментационные потоки самоочищения вод от плутония.

Using technogenic radioisotopes of plutonium as radiotracers of natural processes, the quantitative characteristics of biogeochemical sedimentation in the Black Sea were determined - the rate of sedimentation, the mass accumulation rate, the time of formation of the bottom sediment layers, sedimentation fluxes of water self-purification from plutonium.

Радионуклиды техногенного происхождения  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{238, 239, 240}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , которые стали поступать в окружающую среду с середины XX века, стали уникальными инструментами исследования водных экосистем в природных условиях. В последние десятилетия техногенный  $^{137}\text{Cs}$ , а также  $^{90}\text{Sr}$  наряду с другими радионуклидами использовались в качестве радиоактивных трассеров гидрологических, гидробиологических и биогеохимических процессов в водных экосистемах, в частности для изучения седиментационных процессов [1]. Но, относительно короткий период полураспада  $^{137}\text{Cs}$ , как и  $^{90}\text{Sr}$  (около 30 лет) и тип их биогеохимического поведения обуславливают относительно быстрое снижение их чувствительности, в качестве радиоактивных трассеров в природных экосистемах. Напротив, чувствительность двух изотопов плутония  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$  остается практически такой же, как и в конце XX века, так как их периоды полураспада ( $T_{1/2}$ ) составляют 24110 и 6561 года, а для  $^{238}\text{Pu}$   $T_{1/2}$  равен 86 лет. Способствуют их использованию как радиотрассеров низкие концентрации плутония, безвредные для биоты, и наличие ионизирующего излучения у изотопов. По ионизирующему излучению измеряют низкие их концентрации в природных объектах с помощью высокочувствительных физических методов, таких как альфа-спектрометрия. В Черное море после аварии на ЧАЭС в 1986 г. поступила

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-35-90041 и темы госзадания ФИЦ ИнБЮМ номер гос. регистрации 121031500515-8.

новая волна техногенных радиоизотопов  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$ , при этом изотопный состав плутония глобальных и чернобыльских выпадений был разным. В частности, отношение активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  отличалось на порядок величин [2], что открыло новую возможность более точно датировать осадки по этим соотношения с середины прошлого века по настоящее время. Более высокой чувствительности метода с применением  $^{238, 239, 240}\text{Pu}$  способствует и тот факт, что в Черном море плутоний, как элемент с высокой сорбционной активностью, проявляет ярко выраженный педотропный тип биогеохимического поведения: около 95 % этого радиоизотопа перераспределяется в донные отложения [3]. Так как плутоний сорбируется на взвеси и относительно быстро осаждается с осадочным веществом на дно водоемов, то он служит информативным радиотрассером процессов биогеохимической седиментации, которые играют важную роль в функционировании морских экосистем, включая процессы самоочищения вод от техногенных веществ. Это характеризует радиоизотопы плутония как перспективный инструмент для изучения процессов осадконакопления и самоочищения водных масс в Черном море. Для определения скорости осадконакопления радиотрассерным методом нами были исследованы донные отложения в разных районах Черного моря. По вертикальным профилям распределения  $^{238, 239, 240}\text{Pu}$  выполнена геохронологическая датировка слоев донных отложений, рассчитана среднегодовая скорость осадконакопления (SR) и абсолютные массы донных осадков (MAR). На основе величин MAR ретроспективно восстановлены величины и изменение потоков поступления радиоизотопов плутония в донные отложения с осадочным веществом до и после аварии на ЧАЭС в глубоководных и прибрежных районах Черного моря и время формирования толщины слоя осадков, которое в разных районах отличалось в зависимости от величины скорости осадконакопления.

Полученные результаты количественно характеризуют седиментационные процессы в глубоководных и прибрежных акваториях Черного моря, их роль в самоочищении вод и указывают на необходимость учета данных по скорости осадконакопления при молисмологических мониторинговых исследованиях водных экосистем, оценке периодов поступления техногенных веществ в акваторию.

### Литература

1. *Isotopes in hydrobiology, marine ecosystems and climate change studies. Proceedings of the International Symposium held in Monaco, 2011.* Viena: IAEA, 2013. Vol. 2. 655 p.
2. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н., Гулин С.Б., Стокозов Н.А., Лазоренко Г.Е., Мирзоева Н.Ю., Терещенко Н.Н., Цыцугина В.Г., Кулебакина Л.Г., Поповичев В.Н., Коротков А.А., Евтушенко Д.Б., Жерко Н.В., Малахова Л.В. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. 667 с.
3. Tereshchenko N.N., Gulin S.B., Proskurnin V. Yu. Distribution and migration of  $^{239+240}\text{Pu}$  in abiotic components of the Black Sea ecosystems during the post-Chernobyl period// J. Environ. Radioact. 2018. Vol.188. P. 67–78.

УДК 551.464.6 + 550.41

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛЯННОГО Au-Hg МИКРОЭЛЕКТОДА  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
КАМЫШОВОЙ БУХТЫ<sup>1</sup>****Куринная Ю.С., Гуров К.И., Орехова Н.А.**

*МГИ, Республика Крым, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2;  
e-mail: [kurinnaya-jul@yandex.ru](mailto:kurinnaya-jul@yandex.ru)*

С использованием физико-химических методов изучены характеристики донных отложений и их трансформация в результате антропогенной деятельности в прибрежных морских экосистемах на примере Камышовой бухты (г. Севастополь). Донные отложения бухты от северной части к южной изменяются от крупно-гравийных ракушечных до мелкозернистых илистых. Анализ химического состава поровых вод показал преобладание различных форм железа и наличие сероводорода.

Using physical and chemical methods, the characteristics of bottom sediments and their transformation as a result of anthropogenic activity are studied on the example of Kamyshovaya Bay (Sevastopol) coastal marine ecosystem. It is noted that the bottom sediments of the bay from the northern part to the southern part vary from coarse-gravel shells to fine-grained silt. Analysis of the pore waters chemical composition showed the prevalence of various forms of iron, the presence of hydrogen sulfide was noted.

Для изучения характеристик донных отложений и исследования их трансформации в результате деятельности человека удобно использовать комбинацию физико-химических методов — исследовать физические характеристики донных отложений (гранулометрический состав, влажность) и химический состав поровых вод донных отложений (полярнографический метод анализа со стеклянным Au-Hg микроэлектродом).

Антропогенная деятельность приводит к изменению характеристик окружающей среды. Камышовая бухта — характерный пример морской прибрежной экосистемы, испытывающей сильное антропогенное воздействие. На её берегах расположен Севастопольский морской рыбный порт, нефтеналивное предприятие, очистные сооружения, цементный завод, котельная, многоэтажная застройка. Это приводит к увеличению поступления органического вещества (ОВ), что влияет на условия осадконакопления и многие экологические характеристики акватории. В результате кислород расходуется на окисление ОВ, а также других восстановленных органических и неорганических соединений. Если поступление ОВ превышает поступление кислорода, в придонном слое вод и в донных отложениях возникает дефицит кислорода [1, 2].

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 «Прибрежные исследования», а также при поддержке гранта РФФИ № 20-35-90103.

Данные были получены в июле 2021 года, было отобрано 2 колонки донных отложений и 9 проб поверхностного слоя донных отложений.

Пробы донных отложений были отобраны с помощью трубок из оргстекла, которые герметично закрывали сверху и снизу. Такой метод отбора проб позволил сохранить тонкую структуру поверхностного слоя донных отложений и придонного слоя воды. Для получения химического профиля поровых вод использовался полярографический метод анализа с использованием стеклянного Au – Hg микроэлектрода. Электрод, насыщенный хлоридом серебра, использовали в качестве электрода сравнения, а платиновый электрод использовали в качестве вспомогательного. Профилирование колонок донных отложений проводилось с вертикальным разрешением от 1 до 5 мм. Главное достоинство метода – возможность проводить анализ состава поровых вод донных отложений в условиях, максимально приближенных к естественным без разрушения пробы и дополнительной пробоподготовки, с высокой чувствительностью. Для кислорода предел определения – 5 мкМ/л, для сероводорода, Fe (II) и Mn (II) – 0,5 мкМ/л, 10 мкМ/л и 5 мкМ/л, соответственно. С помощью данного метода возможно изучение динамических процессов, происходящих в верхнем слое отложений, где протекает множество реакций, включая минерализацию органического вещества [3, 4].

Гранулометрический состав донных отложений определялся комбинированным методом просеивания и седиментации [5]. Влажность определялась стандартным методом.

Гранулометрический состав осадков в бухте достаточно разнообразен. В верховье бухты отложения представлены ракушечным гравием и детритом, а также песком. По направлению к кутовой части доля крупнозернистого ракушечного материала уменьшается, а доля мелкозернистых пелитовых илов возрастает. Для отложений в южной части бухты характерна повышенная влажность, а также специфический сероводородный запах.

Анализ химического состава донных отложений Камышовой бухты показал преобладания различных форм железа (Fe (II, III)), также было отмечено небольшое содержание сероводорода. В поверхностном слое донных отложений отмечалось незначительное содержание кислорода. Для данного района характерны субкислородные условия в поверхностном слое донных отложений.

#### **Литература**

1. *Holmer M.* The Effect of Oxygen depletion on anaerobic organic matter degradation in marine sediments // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 1999. 48. P. 383–390.
2. *Orekhova N.A.* Polarography of the bottom sediments in the Sevastopol Bay / *N.A. Orekhova, S.K. Kononov*. // *Physical Oceanography*. – 2009. – Vol. 19, № 2. – P. 111 – 123.
3. *Brendel P.J., Luther, III G.W.* Development of a Gold Amalgam voltammetric microelectrode for determination of dissolved Fe, Mn, O<sub>2</sub>, and S (-II) in porewaters of marine and freshwaters sediments // *Envir. Sci. Technol.* 1995. vol. 29. P. 751 – 761.
4. *Luther, III G.W., Brendel P.J., Lewis B.L.* Simultaneous measurement of O<sub>2</sub>, Mn, Fe, I<sup>-</sup>, and S (-II) in marine pore waters with a Solid-State voltammetric microelectrode // *Limnol. Oceanogr.* 1998. vol. 43. issue. 2. P. 325 – 333.
5. *Петелин В. П.* Гранулометрический анализ морских донных осадков. М. : Наука. 1967. С. 128.

УДК 543

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗАТОРА АН-7529М ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Шульгин В.Ф.<sup>1</sup>, Забегает И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;

<sup>2</sup> МГИ, Республика Крым 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2;

e-mail: [zabegaev84@gmail.com](mailto:zabegaev84@gmail.com)

В работе представлен опыт внедрения в работу экспресс-анализатора на углерод АН-7529М. Проведено сравнение результатов с элементным анализатором Euro EA3000. Определены метрологические характеристики выбранного метода.

The paper presents the experience of implementing the AN-7529M express analyzer for carbon. The results are compared with the Euro EA3000 elemental analyzer. The metrological characteristics of the chosen method have been determined.

Одной из важнейших характеристик биогеохимического цикла углерода является его содержание в донных отложениях. Поскольку углерод в них можно разделить на карбонатную и органическую компоненты, то актуальными становятся способы точного определения и разделения этих составляющих.

Исходя из того, что содержание углерода в донных отложениях представляет собой сумму карбонатного и органического углерода, можно использовать различные комбинации методов для определения любого из составляющих уравнения вида:

Собщ. = Сорг. + Скарб.

В данной работе представлен опыт использования экспресс-анализатора на углерод АН-7529М для определения содержания углерода в донных отложениях. Этот прибор имеет хорошие технико-экономические характеристики: невысокая стоимость при достаточно высокой точности и экспрессности определений – что и обусловило его использование в лаборатории отдела биогеохимии моря ФГБУН ФИЦ МГИ.

Этот прибор давно используется в металлургии для определения углерода в чугуне и сталях [1]. Также его достаточно эффективно используют агрохимики для определения углерода в почве [2]. Существует методика для определения углерода в донных отложениях различных водоемов [3]. Она и послужила основой для метода, нашедшего применение в отделе биогеохимии моря ФГБУН ФИЦ МГИ.

В качестве арбитражного метода было выбрано определение органического и общего углерода на элементном анализаторе Euro EA3000. Карбонатный углерод вычислялся по разности общего и органического.

Поскольку оба прибора настраиваются по внешнему стандарту: экспресс-анализатор на углерод АН-7529М – по стандартному образцу ГСО 5359-90 (ООКО152), а элементный анализатор Euro EA3000 – по ацетанилиду (99 %, Sigma-Aldrich P. № 112933), то для оценки метрологических характеристик были использованы две пробы донных отложений с различным содержанием углерода, собранных в 103-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Пробы дегидратировались до суховоздушного состояния и измельчались в агатовой ступке до состояния пудры.

Для всех методов проводилось исследование серии из 10 определений одного

образца. Грубые промахи исключались из серии на основании оценки по критерию Диксона. После исключения промахов производился статистический расчет среднеарифметического, дисперсии, среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации. Результаты, полученные на разных приборах, сопоставлялись по методам математической статистики по критериям Фишера и Стьюдента.

При работе на экспресс-анализаторе АН-7529М в качестве матрицы для образцов был использован оксид кобальта 2,3. Для выполнения анализа на элементном анализаторе Euro EA3000 использовались серебряные капсулы, чтобы исключить влияние хлоридов.

На экспресс-анализаторе АН-7529М выполнялись определения:

- органического углерода
- карбонатного углерода отдельно
- карбонатного углерода после определения органического из одной пробы
- общего углерода.

На элементном анализаторе Euro EA3000 выполнялись определения:

- органического углерода после удаления карбонатного
- общего углерода.

Результаты измерений реальных образцов на обоих приборах показали хорошую сопоставимость. Это указывает на то, что данные принадлежат к одной совокупности и могут быть использованы для анализа.

Значения дисперсии и коэффициенты вариации для результатов, полученных на элементном анализаторе Euro EA3000 оказались выше таковых на АН-7529М. Это связано с массой пробы: для Euro EA3000 бралась навеска ~ 2,5 мг, а для АН-7529М – 0,25 г (данные указаны для чистой пробы без матрицы и капсулы / фарфоровой лодочки). Таким образом, можно сказать, что пробы природных образцов при малых навесках менее представительны, что, в свою очередь, может сказаться на точности выполняемого анализа.

Таблица 1. Статистические характеристики, полученные для разных приборов. Значения максимальные.

Метод	Прибор	Дисперсия	Средне квадратическое отклонение	Коэффициент вариации
Определение органического углерода	АН-7529М	0,007	0,08	5,3
	Euro EA3000	0,089	0,30	21,6
Определение общего углерода	АН-7529М	0,003	0,06	0,7
	Euro EA3000	0,500	0,71	9,5

## Литература

1. ГОСТ 23581.9-79. Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши. Методы определения содержания углерода. – [Переиздание 1983.09.]. – М.: Из-во стандартов, 1983. – 18 с. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200024717> .
2. Руководство к большому практикуму «Современные методы физико-химического анализа почв». Методические рекомендации. – Екатеринбург: ГОУВПО «Уральский государственный университет им. А.М.Горького», 2008. – 27 с.
3. Рекомендации по определению содержания органических веществ в грунтах и горных породах сухим сжиганием без предварительного удаления карбонатов. – М.: ПЭМ ВНИИТПИ Госстроя СССР, 1990. – 33 с.

УДК 582.26/.27:546.49:57.08

**КОМБИНИРОВАННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
И ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ РТУТИ НА МОРСКИЕ МИКРОВОДОРОСЛИ<sup>1</sup>**

**Стецюк А.П., Рылькова О.А., Поповичев В.Н.**

*ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ, Республика Крым 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2;  
e-mail: [Alex-ra-777@mail.ru](mailto:Alex-ra-777@mail.ru)*

Определены эквидозиметрические показатели токсичности ртути для некоторых черноморских микроводорослей и их соответствие дозовым зависимостям по шкале зон мощностей доз ионизирующих излучений для получения радиохемотоксикологической оценки влияния ртути на микроводоросли.

The equidosimetric indicators of mercury toxicity for some Black Sea microalgae and their correspondence to the dose dependences on the scale of the ionizing radiation dose rate zones were determined to obtain a radiochemotoxicological assessment of the mercury effect on the microalgae.

Оценить степень антропогенной нагрузки на морские организмы и экосистемы в отношении загрязняющих веществ ядерной и неядерной природы позволяет использование методов радиохемотоксикологической эквидозиметрии, направленных на сравнительную оценку влияния химических и радиоактивных загрязнителей, и определение сопоставимых дозовых эквивалентов их воздействия на живые организмы и биологические сообщества на единой методологической базе и единых дозовых эквивалентах.

Цель работы – изучение влияния ртути, как химического токсиканта, на динамические характеристики микроводорослей, содержащихся как в культурах, так и в составе биотического компонента морской взвеси, и определение экологических Грей-эквивалентов воздействия ртути на гидробионты для получения эквидозиметрической оценки данного химического токсиканта на морские экосистемы при антропогенном прессе. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1 – изучение действия ртути, содержащейся в питательной среде, на размерные характеристики морских одноклеточных водорослей и интенсивность флуоресценции хлорофилла (*Chl*) в их культурах;

2 – исследование влияния ртути на относительные уровни аккумуляции <sup>14</sup>C морской взвесью поверхностной воды, используемой в

---

<sup>1</sup> Работа выполнена по теме государственного задания «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации 121031500515-8).

процедуре определения первичной продукции (ПП) органического вещества (ОВ) фитопланктоном;

3 – определение величин экологического Грей-эквивалента для ртути и эквидозиметрический анализ полученных данных.

Из работы [1] следует, что экологический Грей-эквивалент предельно допустимой концентрации (ПДК) ртути в морской среде для клеток диатомовых водорослей соответствует мощности поглощённой дозы ионизирующего излучения, равной примерно  $35 \text{ Гр} \cdot \text{год}^{-1}$ . Данная эквидозиметрическая оценка дала возможность определить, что при концентрации ртути равной её ПДК ( $0.1 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ), морские экосистемы могут испытывать воздействие, сравнимое с их лучевым поражением в диапазоне дозовых нагрузок  $10\text{-}100 \text{ Гр}$  (или  $3\text{в}$ )  $\cdot \text{год}^{-1}$ , способное приводить к различным эффектам поражения экосистем [1].

О токсическом воздействии ртути на планктонные водоросли известно [2], что нижний порог токсичности  $\text{HgSO}_4$  составил  $0.15\text{-}0.20 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ , а для ацетата фенилртути –  $0.25\text{-}0.50$ . В наших экспериментах были использованы добавки сулемы из 7-порядкового диапазона концентрации ртути в воде:  $10^{-4}$  -  $10^2 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ . Эквидозиметрические оценки уровней воздействия ртути на микроводоросли определены нами на основе применения концептуальной модели зональности хронического действия мощностей доз ионизирующих излучений в природе, разработанной Г.Г. Поликарповым [3]. Так, изучив численность, размерный спектр и пигментный состав клеток *Dunaliella salina* Teod., с помощью проточной цитометрии и микроскопии нами обнаружено, что начиная с концентрации  $0.44 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$  ( $2.2 \text{ мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}$ ) резко снизились, как доля живых клеток в культурах водорослей, так и интенсивность флуоресценции хлорофилла «а». Соотнеся подобные изменения в культурах данных водорослей с аналогичными последствиями облучения гамма-квантами дозой  $300 \text{ Гр}$  одноклеточных водорослей рода *Chlorella*, когда выживаемость клеток составила  $20\%$  [4], ориентировочно можно оценить экологический Грей-эквивалент ртути:  $300 / 2.2 = 136 \text{ (Гр/(\text{мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}))}$ . Аналогичная эквидозиметрическая оценка молярной токсичности ртути при исследовании её влияния на относительные уровни аккумуляции  $^{14}\text{C}$  морской взвесью была оценена нами величиной  $600 \text{ Гр/(\text{мкмоль} \cdot \text{л}^{-1})}$ .

#### Литература

1. Гулин С.Б. Действие ионизирующего излучения и ртути на одноклеточные водоросли: радиационно-экотоксикологическое исследование // Морской биологический журнал. 2013. Т.12. № 3. С. 31-38.
2. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 288 с.
3. Polikarpov G.G. Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems to all possible dose rates of ionising radiation in the environment // Radiation Protection Dosimetry. 1998. 75, № 1-4. P. 181-185.
4. Ляпунова Е.Р., Комарова Л.Н. Действие редко - и плотноионизирующего излучения на популяцию *chlorella vulgaris* // Радиация и риск. 2014. Т. 23, № 4. С. 55-64.



УДК 543.054

**СОЗДАНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-СЛОЙНЫХ СОРБЦИОННЫХ СИСТЕМ  
С ВАРЬИРУЕМОЙ ПОРОЗНОСТЬЮ****Платонов И.А., Новикова Е.А., Карсункина А.С.**

*Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П.  
Королева, Россия 443086, г. Самара, Московское шоссе, д.34;  
e-mail: [pia@ssau.ru](mailto:pia@ssau.ru)*

В данной работе рассматривается возможность создания поверхностно-слойных сорбционных систем на основе блочного материала с варьлируемой порозностью для их использования в аналитическом контроле. В рамках работы были изготовлены образцы, отличающиеся материалом основы (сталь и алюминий) и способом обработки поверхности.

In this paper, we consider the possibility of creating surface-layer sorption systems based on a block material with a variable porosity for their use in analytical control. As part of the work, samples were made that differ in the base material (steel and aluminum) and the surface treatment method.

Сорбенты и сорбционные системы могут быть использованы для решения множества практических задач, в том числе для извлечения компонентов, проведения концентрирования, в целях аналитического контроля микропримесей в воздушных и водных средах, для разделения в хроматографии для препаративных целей и т.д. [1,2], поэтому разработка новых сорбционных систем, которые отвечают требуемым характеристикам является актуальной задачей.

Цель работы: создание и исследование поверхностно-слойных сорбционных систем на основе блочного материала с варьлируемой порозностью.

Для проведения эксперимента необходимо было изготовить экспериментальные образцы (ЭО) на основе блочного материала с варьлируемой порозностью [3] двух типов с одинаковой порозностью 0,6, но разным материалом – X18H10T и A95. Из стальной проволоки были изготовлены 5 ЭО, отличающиеся способом создания адсорбционного слоя (травление и оксидирование при различных температурах), из алюминиевой проволоки – 2 ЭО, один из которых был подвержен химическому оксидированию. Далее на поверхность полученных образцов была нанесена пленка из полимерного материала полиэтиленгликоля (ПЭГ).

На образцах, которые подвергали термической и химической обработке можно увидеть неоднородную поверхность, причем на

поверхности обработанных алюминиевых образцов наблюдается образование трещин, а на поверхности стальных образцов – образование не только пор и трещин, но и сферических частиц диаметром 0,3-1 мкм.

Была проведена оценка параметров образцов после травления, оксидирования и нанесения полимерной пленки. При травлении и оксидировании стальных образцов порозность увеличивается незначительно (примерно на 2-3%), причем это наблюдается как при просто травлении, так и при травлении, совмещённом с оксидированием. А травление и оксидирование алюминиевых образцов приводит к увеличению порозности на 12 %.

Сравнение толщины полимерной пленки показало, что толщина пленки ПЭГ практически не отличается у исходного и травленного стальных образцов, а также между всеми оксидированными образцами. Причем у оксидированных образцов толщина пленки незначительно больше, чем у исходного и травленного. Таким образом, различие толщины ПЭГ при варьировании способа подготовки поверхности, порозности статистически не значимо. В случае алюминиевых образцов наблюдается обратная ситуация: толщина пленки у оксидированного образца меньше, чем у исходного. Это может быть обусловлено тем, что при подготовки поверхности стальных образцов порозность практически не изменилась, в отличие от алюминиевых.

Таким образом, в рамках работы изготовлены сорбционные системы на основе блочного материала с варьируемой порозностью из стали марки Х18Н10Т и алюминия марки А95 и полимерного сорбционно-активного материала, с помощью которых возможно проводить аналитический контроль воздушных сред на промышленных предприятиях на наличие токсичных микропримесей. Оптимальным в качестве основы для создания сорбционных систем по совокупности признаков признан алюминиевый образец.

### **Литература**

1. Москвин Л.Н. // Вестник СПбГУ. Физика или химия. 2017. Т. 4 (62). № 2 . С. 163-214.
2. Moskvín L. N., Rodínkov O. V. // Crit. Rev. Anal. Chem. 1994. Vol. 24. 317–325 pp.
3. Тупикова Е.Н. Дис. ...канд. хим. наук. Самара, 2003.

УДК 544.48

**ИЗУЧЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ РУТЕНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ В ПРИСУТСТВИИ БОРНОЙ КИСЛОТЫ****Коренькова О.Б., Радкевич А.В., Вороник Н.И.**

*Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь, Минская обл., Минский р-н, Луговослободской с/с, 47/22, район д. Прилесье;  
e-mail: [korenkova\\_olya@mail.ru](mailto:korenkova_olya@mail.ru)*

В работе представлены результаты исследования форм нахождения  $^{106}\text{Ru}$  в водных растворах, а также влияние присутствия борной кислоты в различных концентрациях на формы нахождения рутения в водных растворах. Исследования проводилось методами ионного обмена, ультрафильтрации и центрифугирования.

This work presents results of studying species of  $^{106}\text{Ru}$  in aqueous solutions and the effect of the presence of boric acid in various concentrations on species of ruthenium in aqueous solutions. The research was carried out by methods of ion exchange, ultrafiltration and centrifugation.

Соединения рутения изучаются довольно давно, однако еще мало известно о его состоянии в микроконцентрациях в водных растворах, знания о которых необходимы как для технологических, так и аналитических целей [1]. Химия водных растворов рутения сложна в том числе из-за его способности существовать в растворе сразу в нескольких степенях окисления, а также легкого перехода из одной степени окисления в другую. В водных растворах в обычных условиях для рутения наиболее характерно трех- и четырехвалентное состояние [2, 3]. В присутствии восстановителей преобладает двухвалентное состояние, а в присутствии окислителей рутений переходит в высшие валентные состояния, вплоть до образования летучей четырехокси рутения [4]. Последняя вызывает большие сложности в процессе переработки ОЯТ.

В ходе исследования были изучены водные растворы радионуклида  $^{106}\text{Ru}$  в 0,1 моль/дм<sup>3</sup> азотной кислоте в присутствии борной кислоты в концентрации 5, 10 и 16 г/дм<sup>3</sup> в широком интервале рН. Исследование проводилось методами ионного обмена, ультрафильтрации и центрифугирования. Методика проведения эксперимента подробно изложена в [5].

В результате эксперимента были определены условия образования и границы существования ионных и неионных форм радионуклида  $^{106}\text{Ru}$  в водных растворах в широком интервале рН.

Было определено, что  $^{106}\text{Ru}$  в водных растворах в концентрации  $10^{-11}$  моль/дм<sup>3</sup> до рН 3,5 находится преимущественно в катионной форме, в

интервале рН 3,5 – 4,2 происходит формирование неионных форм, и при рН > 4,2 основная часть радионуклида присутствует в растворе в составе псевдоколлоидных частиц размером более 50 нм. Характерной особенностью изученных растворов образование  $^{106}\text{Ru}$  неионных частиц при более низких значениях рН по сравнению с растворами рутения при концентрациях  $10^{-6} - 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>.

Присутствие борной кислоты оказывает существенное влияние на физико-химическое состояние  $^{106}\text{Ru}$  в водных растворах. В нейтральной и слабощелочной области рН 6,0 – 10,3 происходит разрушение псевдоколлоидных форм рутения, вероятно за счет образования комплексных соединений с формами борной кислоты (полиборатами), причем бóльшая концентрация борной кислоты приводит к разрушению псевдоколлоидов на более широком интервале рН. Данные по ультрафильтрации и центрифугированию показали, что размер комплексов лежит в интервале от 1 до 50 нм, а их нейтральность либо низкий отрицательный заряд обуславливает одновременно наблюдаемое резкое уменьшение поглощения  $^{106}\text{Ru}$  ионообменными смолами.

Полученные результаты представляются важными для понимания поведения радионуклидов рутения в технологических средах и ЖРО АЭС с реакторами с водой под давлением. Присутствие борной кислоты существенно снижает возможности широко применяемых в спецводоочистке ионообменных методов по отношению к радионуклидам рутения, причем данный эффект проявляется именно в «рабочем» интервале рН 7,0 – 10,0 большинства водных сред АЭС. Полученные результаты могут найти применение при разработке предложений по повышению эффективности существующих методов по очистке водных растворов от радионуклидов.

### Литература

1. *Автокротова, Т.Д.*, Аналитическая химия рутения. М.: Издательство Академии наук СССР, 1962;
2. *Давыдов, Ю.П.* Основы радиохимии: уч. пособие. Минск: Высшая школа, 2014. – 317 с.
3. *Schulz, W. W.* Radiochemistry of elements: radiochemistry of ruthenium. Springfield – 1984. – 197 p.
4. *Под ред. Акад. Николаева, А.В.*, Химия долгоживущих осколочных элементов /. – М.: Атомиздат, 1970;
5. *Коренькова О.Б., Радкевич А.В., Вороник Н.И.* Поведение радионуклида  $^{106}\text{Ru}$  в водных растворах при центрифугировании, ультрафильтрации и ионном обмене // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. 2020. Т. 57, № 3. С. 331–339.

УДК 543.3

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
СОСТАВА ВОЛЖСКОЙ ВОДЫ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ СБРОСЕ  
ЧЕРЕЗ ПЛОТИНУ ИВАНЬКОВСКОЙ ГЭС**

**Роговая И.В., Зуев Б.К.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена  
Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)  
119991, Россия, г. Москва, ул. Косыгина, д.19;  
e-mail: [smile\\_mail@mail.ru](mailto:smile_mail@mail.ru)*

Рассматривается значение определения фракционного состава в экологической оценке волжской воды в районе Ивановской ГЭС. Считается, что соединения металлов с молекулярной массой 10 кДа не способны проникать через клеточную мембрану и поэтому становятся индифферентными. Также это нужно для геохимии.

The importance of determining the fractional composition in the environmental assessment of the Volga water in the region of the Ivankovskaya HPP is considered. It is believed that metal compounds with a molecular weight of 10 kDa are unable to penetrate the cell membrane and therefore become indifferent. It is also needed for geochemistry.

Исследование химического состава волжской воды в районе г. Дубны Московской области продолжается около 20 лет (с 2004 г.). Интерес был вызван тем, что в данном месте река представляет собой нижний бьеф Ивановского водохранилища. Мы увидели значительное увеличение количественного содержания компонентов при сбросе через плотину ГЭС.

Для объяснения этого ранее неописанного в литературе явления исследования были продолжены на уровне микрокомпонентного состава. Пробы волжской воды были отобраны во время весеннего половодья и анализировались на содержание 25 элементов методами ICP-MS и ICP-AES. В нижнем бьефе, сразу после сброса воды из водохранилища, напротив, заметно снижение концентраций многих элементов.

Особенность данной работы обусловлена тем, что нами было учтено, что для достоверной экологической оценки состояния природного водного объекта нужна информация о формах нахождения загрязняющих веществ: тяжелых металлов (ТМ), ОБ, а также распределении ОБ и связанных с ним металлов по фракциям. Чтобы ответить на вопрос, за счет каких процессов происходит уменьшение металлов после сброса, был сделан фракционный состав микроэлементов методом мембранного фракционирования. При изменении окислительно-восстановительных условий при прохождении

воды через плотину, согласно рН-Eh диаграммам многих элементов, образуются взвешенные формы многих элементов.

Что же касается ОВ, мы предположили, что при сбросе происходит возможное соосаждение металлов на коагулировавшемся при сбросе ОВ. Проведя сравнительный анализ существующих методов исследования распределения ОВ по фракциям, мы увидели их недостатки и разработали новый мембранно-окситермографический метод. Метод позволяет получать информацию о фракционном распределении ОВ в природных водах. Известно, что каждая размерная группа (фракция) ОВ по-разному связывает металлы в комплексы. Это отражается также на формировании геохимической миграции вещества в природе.

Использовались мембраны с последовательно уменьшающимся размером пор: 0,22 мкм, 500 кДа, 200 кДа, 100 кДа с применением компрессора в качестве источника давления и магнитной мешалки для перемешивания раствора. кДа – это массовая характеристика. Условно принимаем, что мембраны объемом пор 500 кДа = 50 нм, 200 кДа = 20 нм, 100 кДа = 10 нм.

По результатам исследования мы увидели, что происходит некоторое изменение фракционного распределения ОВ во времени. Этот факт говорит о смене преобладания составляющих ОВ волжской воды: гуминовых и фульвокислот. Кардинально меняются преобладающие фракции: если в водохранилище доминирует растворимая форма размером до 10 нм, то после сброса доминанта принадлежит взвешенным формам размером более 20 нм. Следовательно, можно предположить, что при дальнейшем продвижении вниз по течению реки, это органическое вещество осядет на дно, и тем самым выйдет из экологического цикла, способствуя очищению водоема. По такому механизму можно создавать искусственные геохимические барьеры для очищения естественных водоемов.

УДК 544.478.1

## КВАНТОВО ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ РЕАКЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА<sup>1</sup>

**Виноградов К.Ю., Сухова Е.А., Шафигулин Р.В., Буланова А.В.**

*ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), Россия 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34;  
e-mail: [winyur@yandex.ru](mailto:winyur@yandex.ru)*

Квантово химическими методами смоделированы активные центры углеродных неплатиновых катализаторов, допированных кобальтом, железом, никелем и медью. Определена термодинамика реакции электрохимического восстановления кислорода (ORR) на модельных катализаторах.

The active centers of carbon non-platinum catalysts doped with cobalt, iron, nickel and copper have been simulated by quantum chemical methods. The thermodynamics of the reaction of electrochemical oxygen reduction (ORR) on model catalysts has been determined.

В последние годы в рамках проекта «Зелёные технологии» учёными ведётся поиск новых источников электроэнергии. Одно из таких направлений – водородная энергетика и, соответственно, топливные элементы. Они эффективны, экологичны, бесшумны, но имеют важный недостаток, связанный с использованием платины в качестве катализатора. Исследования в области неплатиновых катализаторов проводятся многими исследователями [1, 2].

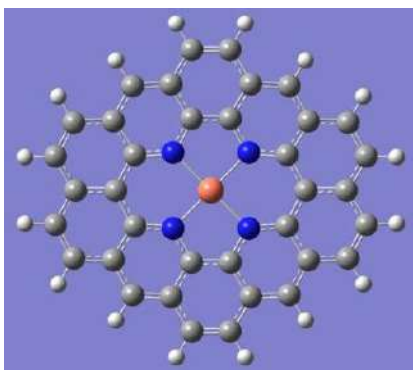


Рис 1. Структура модельного катализатора. Серые сферы – углерод, синие – азот, белые – водород, оранжевый – исследуемый металл (Co, Fe, Ni или Cu).

Для исследования каталитических свойств материалов моделировали участки поверхности углеродных материалов (рис. 1), допированные азотом и металлом. Подобные структуры могут быть получены при использовании в качестве прекурсора фталоцианинов соответствующих металлов [3].

Расчеты проводили на суперкомпьютере «Сергей Королев» с использованием программы Gaussian 09. Моделирование осуществляли методом теории функционала плотности с использованием функционала b3lyp. Для углерода, водорода, азота и кислорода был использован базис 6-31G\*.

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и рамочной программы БРИКС в рамках научного проекта № 19-53-80033.

Электрохимическое восстановление кислорода может протекать различными путями [4]. В качестве рассматриваемой реакции был выбран ассоциативный механизм как преобладающий. Энергии конечных веществ были приняты за нулевой уровень.

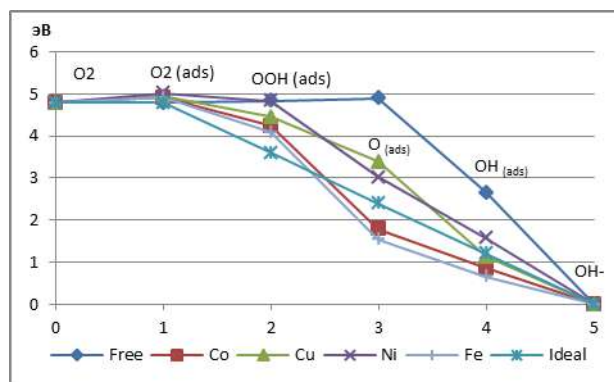


Рис. 2. Энергетический профиль ORR на исследуемых катализаторах.

В результате моделирования были получены энергетические профили исследуемой реакции как без катализатора (на носителе - углероде), так и на катализаторе. Выявлено, что углеродный носитель не проявляет каталитической активности. Среди изученных металлосодержащих катализаторов наибольшую энергию адсорбции, а также показатели, наиболее близкие к идеальным, наблюдались у образцов, содержащих кобальт и железо.

В результате проведённого исследования было выявлено, что углерод, допированный азотом и металлами, может проявлять высокие каталитические характеристики в реакции электрохимического восстановления кислорода, а применение различного металла в качестве допанта даёт возможность подобрать оптимальный состав катализатора. Для практического исследования наиболее интересны материалы, на основе фталоцианинов железа и кобальта. Квантово химические расчёты показали, что подобные материалы являются перспективными для применения в топливных элементах и, как следствие, снижения экологической нагрузки на природу.

## Литература

1. Shafigulin, R.V., Tokranova, E.O., Bulanova, A.V. et al. Carbon black modified with silver and low concentration of palladium as effective catalysts for electroreduction of oxygen in alkaline solutions // *Reac Kinet Mech Cat*, 2021, V. 133, P. 455–465.
2. Zhou Y., Gao G., Kang J., Chu W., Wang L. Transition metal embedded two-dimensional C3N as highly active electrocatalysts for oxygen evolution and reduction reactions // *J. Mater. Chem. A*, 2019, V. 7, I. 19, P. 12050-12059.
3. Dursun S., Akay R.G., Yazici M.S. CVD graphene supported cobalt (II) phthalocyanine as cathode electrocatalyst for PEM fuel cells // *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, V. 45, I. 60, P 34837-34844.
4. Yu L., Pan X., Cao X., Hu P., Bao X. Oxygen reduction reaction mechanism on nitrogen-doped graphene: A density functional theory study // *Journal of Catalysis*. 2011, V. 282, I. 1, P. 183-190.



УДК 543.422.7 + 661.728.7

**ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОРИЛИРОВАННОЙ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ДИОКСИДА ХЛОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО КОЛИЧЕСТВА В ВОЗДУХЕ<sup>1</sup>****Орличеня В.В.<sup>1</sup>, Перевозникова А.Ю.<sup>2</sup>, Соловов Р.Д.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*РТУ МИРЭА, Россия 119571, г. Москва, проспект Вернадского, д. 86;*<sup>2</sup>*ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;**e-mail: [verbinao@mail.ru](mailto:verbinao@mail.ru)*

Изучен процесс фосфорилирования хлопковой ткани. Определено значение прочности на разрыв и количественное содержание фосфора. Подтверждена возможность генерации  $\text{ClO}_2$  при нанесении на поверхность ткани  $\text{NaClO}_2$ . Оптимизирован спектрофотометрический метод определения концентрации  $\text{ClO}_2$  в воздухе с применением хлорфенолового красного.

The process of phosphorylation of cotton cellulose sample has been studied. The value of the tensile strength and the quantitative content of phosphorus were determined. The possibility of generating  $\text{ClO}_2$  when applying a  $\text{NaClO}_2$  to the tissue surface was confirmed. A spectrophotometric method for determining the concentration of  $\text{ClO}_2$  in the air using chlorophenol red was optimized.

Диоксид хлора является окислителем широкого спектра, эффективным в отношении всех микроорганизмов. Однако вопрос генерации и особенно определения его содержания в воздухе до сих пор остается открытым.

В данной работе исследован и оптимизирован процесс мерсеризации и фосфорилирования образца хлопковой целлюлозы. После полного окисления образца содержание фосфора определяли спектрофотометрическим методом, полученное значение находилось в диапазоне от 0,179 до 0,950 ммоль  $\text{г}^{-1}$ . Изменяются и прочностные характеристики: при фосфорилировании в присутствии даже невысокой концентрации  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (0.20 М) происходит снижение прочности целлюлозы практически в 2 раза. По-видимому, это вызвано изменением структуры молекул и частичной деструкцией, которая увеличивается с ростом концентрации фосфорной кислоты в фосфорилирующей смеси. При нанесении на фосфорилированную ткань хлорита натрия за счёт его взаимодействия с кислотными центрами выделяется антимикробный агент – диоксид хлора. Содержание хлорита натрия варьировалось в диапазоне от 0,25% до 0,75%. При увеличении содержания хлорита натрия увеличилось содержание диоксида хлора в воздухе.

<sup>1</sup> Исследование проводилось при поддержке Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК» по договору 16258ГУ/2021 от 18.05.2021 г.

Был осуществлен подбор растворителей из ряда низкомолекулярных спиртов. Был выбран 95%-ный раствор этанола ввиду более высокой растворимости хлорита натрия и воспроизводимости результатов при генерации диоксида хлора. Исследование возможности многократного использования образца ткани показало, что при нанесении новой порции хлорита натрия на ткань диоксид хлора вновь выделяется в воздушную среду.

Изучалась возможность применения спектрофотометрического метода определения содержания диоксида хлора в воздухе на основе обесцвечивания хлорфенолового красного в ходе реакции с диоксидом хлора. Для определения концентрации  $\text{ClO}_2$  в воздухе был спроектирован и собран аспирационный куб размерами  $1 \times 1$  м. Варьирование концентрации хлорфенолового красного, времени аспирации и длины оптического пути позволило снизить предел определения до значений, не превышающих ПДК ( $0,1 \text{ мг/м}^3$ ).

Исследовалось влияние ультрафиолета на количество выделяющегося диоксида хлора. Проведение эксперимента под ультрафиолетом не привело к существенным изменениям показаний.

Экспериментально определено соотношение реагирующих веществ: «хлорфеноловый красный»: «диоксид хлора» = 1:2,5.

УДК 556.5

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕКЕ ОБЬ И ЕЁ ПРИТОКАХ<sup>1</sup>****Панина М.С., Носкова Т.В., Подчуфарова Д.П., Папина Т.С.**

*ИВЭП СО РАН, Россия 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1;  
e-mail: [m.l.s.55@mail.ru](mailto:m.l.s.55@mail.ru)*

В работе с помощью физико-химических методов (ионная хроматография и спектрофотометрия) рассмотрено пространственно-временное распределение биогенных элементов ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) в реке Обь и её притоках в период с марта по декабрь 2020 г.

The spatio-temporal distribution of biogenic elements ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) in the upper reaches of the Ob River and its tributaries in the period from March to December 2020 is considered using physic-chemical methods (chromatography and spectrophotometry).

В настоящее время проблема загрязнения водных объектов биогенными элементами является актуальной, поскольку это может привести к ухудшению экологического состояния водных объектов в результате эвтрофирования.

В данной работе проведено исследование пространственно-временного распределения биогенных элементов ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) в верхнем течении р. Обь (от ее истоков до Новосибирского водохранилища) и ее крупных притоков с марта по декабрь 2020г. Анализ проб на содержание в них аммония, нитратов и нитритов проводили методом ионной хроматографии на хроматографе ICS-3000 (Dionex, США). Фосфат-ионы определяли спектрофотометрическим методом на приборе DR 2800 (HACH Lange Company, Germany).

Превышение ПДК<sub>р.х.</sub> биогенных элементов в р. Обь и ее притоках наблюдается во время половодья, что связано со смывами с водосборной площади. Увеличение концентрации, превышающей рыбохозяйственные нормативы, в зимнюю межень отмечено в створе ниже г. Барнаула. Это вероятнее всего связано с увеличением вклада поступления стоков хозяйственно-бытовых вод с городских очистных станций в реку в период низкой водности. Загрязнение вод малых городских рек (р. Барнаулка, р. Пивоварка) наблюдается в течение всего гидрологического года, что свидетельствует о значительной антропогенной нагрузке на данные водные объекты.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 19-05-50057 «Микромир Оценка потоков загрязняющих веществ, поступающих из атмосферы на подстилающую поверхность водосбора, и их вклад в загрязнение поверхностных вод рек с длительным периодом ледостава».

УДК 543.42; 543.51

**АТОМНО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ И МАСС-СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РТУТИ В ОБЪЕКТАХ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ<sup>1</sup>****Шоль Л.В.<sup>1</sup>, Эйрих С.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Алтайский государственный университет,  
Россия 656049, г. Барнаул, проспект Ленина, д.61;*

<sup>2</sup>*Институт водных и экологических проблем,  
Россия 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1;  
e-mail: [lilichkashol661@gmail.com](mailto:lilichkashol661@gmail.com)*

В работе рассмотрены два вида атомной спектроскопии: AAS, AFS, а также масс-спектроскопия ICP-MS. Представленные методы определения ртути имеют низкие пределы обнаружения, что позволяет анализировать ее содержание в природных объектах на низком и ультранизком концентрационном уровне (несколько нг/л и ниже).

The article considers two types of atomic spectroscopy: AAS, AFS, as well as ICP-MS mass spectroscopy. The presented methods for mercury analysis have low detection limits and allow to determine Hg in environmental compartments at low and ultra-low levels (few ng/L and less).

Для определения низких и ультранизких концентраций необходимо прибегать к использованию высокочувствительных методов. Такими методами являются масс-спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), атомно-флуоресцентная (AFS) и атомно-абсорбционная (AAS) спектроскопия. Определение ртути методом ICP-MS выполняли на анализаторе “Element” (Thermo Finnigan, Германия); методом AFS и AAS - на анализаторе ртути “Mercur DUO Plus” (Analytik-Jena, Германия) [1].

Определение концентраций ртути в объектах окружающей среды выполняли, следуя рекомендациям метода US EPA 1631 (определение ртути в воде посредством окисления, барботирования, улавливания на золотом сорбенте и детекции атомно-флуоресцентной спектрометрией методом холодного пара) [2].

Все стадии анализа ртути необходимо выполнять в чистых условиях (желательно в чистой комнате класса 100), используя «mercury-free» реактивы и специально подготовленную посуду.

Сравнение пределов обнаружения, полученных в сертифицированных «чистых» (PSI, Швейцария) и чистых (ИВЭП СО

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 19-05-50057 «Микромир Оценка потоков загрязняющих веществ, поступающих из атмосферы на подстилающую поверхность водосбора, и их вклад в загрязнение поверхностных вод рек с длительным периодом ледостава».

РАН, Россия) лабораторных условиях для вышепредставленных методов, отражено в таблице 1.

Воспроизводимость методов сопоставима и составляет не более 5%. Метод AFS является более чувствительным, чем AAS, а по сравнению с ICP-MS является более дешевым, экспрессным и простым в использовании [3]. Чувствительность AFS и ICP-MS достаточна для определения ртути в природных объектах на низком и ультранизком уровне.

Таблица 1.

AFS (PSI, Швейцария)	DL (3-σ от бланка) = 0,025 нг/л Бланк: 0,153 ± 0,008 нг/л
ICP-MS (PSI, Швейцария)	DL (3-σ от бланка) = 0,05 нг/л Бланк: 0,220 ± 0,016 нг/л
AFS (ИВЭП СО РАН, Россия)	DL (3-σ от бланка) = 0,4 нг/л Бланк: 0,17 ± 0,006 нг/л
AAS (ИВЭП СО РАН, Россия)	DL (3-σ от бланка) = 3,0 нг/л Бланк: 0,6±0,05нг/л

В табл. 2 представлены полученные нами концентрации ртути в различных объектах окружающей среды.

Таблица 2.

Объект исследования	Атмосферные осадки (г. Барнаул)	Снежный покров (Алт. край)	Природные воды (р. Обь)	г.Белуха, доиндуст. период	г.Белуха, индуст. период [4]
Характерный диапазон концентраций Hg, нг/л	<0,5-15,0	<0,5-7,0	2-5	0,07-2,9	0,08-6,0

### Литература

1. *Eyrikh S., Tobler L., Schwikowski M.* Comparison of analysis techniques for mercury determination at low concentration level // Annual report Univ. Bern & PSI 2004, p.36 (2005).
2. US EPA Method 1631, Revision E: Mercury in water by oxidation, purge and trap, and cold vapor atomic fluorescence spectrometry. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Science and Technology, Engineering and Analysis Division (4303), Washington, D.C., 2002.
3. *Эйрих С.С., Швиковски М.* Опыт использования атомно-флуоресцентного анализатора „Mercur“ для анализа ультранизких концентраций ртути в пробах льда и снега //Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. Сборник научных трудов. Москва. 2005. 111-114 с.
4. *Eyrikh S., Eichler A., Tobler L., Malygina N., Papina T., Schwikowski M.* A 320 Year Ice-Core Record of Atmospheric Hg Pollution in the Altai, Central Asia // Environmental Science & Technology, 2017. V.51. N.20, 11597-11606.

УДК 544.58 + 621.039.743

## ЗАВИСИМОСТЬ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ $^{137}\text{Cs}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{85}\text{Sr}$ В МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ОТ ВРЕМЕНИ СТАРЕНИЯ

**Зарубо А.М., Радкевич А.В., Вороник Н.И.**

*НУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси,  
Республика Беларусь, 220109, г. Минск, а/я 119;  
e-mail: [zarubaalex@gmail.com](mailto:zarubaalex@gmail.com)*

В экспериментальной работе исследовано зависимость поведения основных дозообразующих радионуклидов бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива от времени выдержки в модельных растворах.

In an experimental work, the speciation dependence of the main dose forming radionuclides in the spent nuclear fuel pool on the holding time in model solutions was investigated.

Бассейн выдержки отработавшего ядерного топлива является частью ядерно энергетической установки и является радиационно опасным объектом. Источником поступления радионуклидов в среду бассейна выдержки являются негерметичные тепловыделяющие сборки и среда первого контура, которая попадает в бассейн выдержки в период замены топлива. Во время эксплуатации бассейна выдержки накапливаются продукты коррозии, которые сорбируют часть радионуклидов, осаждаются в труднодоступные места, формируя радиоактивный ил. Данные загрязнения затрудняют эксплуатацию бассейна выдержки и заметно усложняют вывод из эксплуатации.

Существующие установки бассейна выдержки справляются с очисткой технологической среды частично. Требуется более эффективные методы и технологии по очистки данных растворов. Для решения данной проблемы необходимо знать состояние радионуклидов в растворе бассейна выдержки.

В экспериментальной работе использовались методы ультрафильтрации и осаждения при центрифугировании. Исследование проводилось в растворах борной кислоты концентрации 20 г/л при различных значениях рН в присутствии макроколичеств железа в качестве прекурсора продуктов коррозии. Время выдерживания растворов составляло от 1 до 101 суток.

Во время экспериментальной работы установлено, что задержание всех исследуемых радионуклидов при ультрафильтрации мембраной 1кДа не изменяется во временных рамках 1 – 101 сутки. Полностью задерживается железо при ультрафильтрации во всех условиях

эксперимента. Осаждение при центрифугировании для радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  проходило без изменений для всех растворов.

С увеличением времени старения растворов, осаждение радионуклида  $^{60}\text{Co}$  при центрифугировании смещается в сторону низкого рН. В тоже время, осаждение макроколичеств железа с увеличением времени старения растворов начинается в более низкой области рН. Доля осажденного радионуклида  $^{60}\text{Co}$  при 10 рН для времени выдержки 1 сутки составляет 15 %, а для времени выдержки 101 сутки составляет около 85%.

По видимости, время старения растворов влияет на количество не связанного в комплекс с борной кислотой железа, которое в свою очередь влияет на осаждение при центрифугировании радионуклида кобальта, сорбируя данный радионуклид. Данный эффект проявляется довольно узком диапазоне рН 9 – 11.

УДК 543.064

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРАМФЕНИКОЛА В СТОЧНЫХ ВОДАХ И ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМАХ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ИММУНОАНАЛИЗА<sup>1</sup>****Еремина Т.С., Мухаметова Л.И., Еремин С.А.**

*Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;  
e-mail: [tanya-eremina-2017@mail.ru](mailto:tanya-eremina-2017@mail.ru)*

В настоящее время повышенное внимание привлекает к себе проблема загрязнения водной среды лекарственными препаратами. Однако анализ сточных вод и водоемов окружающей среды затруднен низкими концентрациями определяемых веществ и сложным составом образцов. Перспективными методами определения антибиотиков в окружающей среде являются иммунные методы, в частности поляризационный флуоресцентный иммуноанализ (FPIA). Метод FPIA позволяет с высокой специфичностью и чувствительностью определять низкомолекулярные аналиты в гомогенной среде без разделения. В ветеринарии наиболее часто используется хлорамфеникол, который может обнаруживаться в сточных водах и природных водоемах. Поэтому в настоящей работе был разработан поляризационный флуоресцентный иммуноанализ для определения хлорамфеникола в водной среде: были получены флуоресцентно меченые трейсеры, подобраны и охарактеризованы пары иммунореагентов (трейсеры и антитела), а также оптимизированы условия проведения FPIA.

Currently, the problem of pollution of the aquatic environment with medicines attracts increased attention. However, the analysis of wastewater and environmental reservoirs is complicated by low concentrations of detectable substances and the complex composition of samples. Promising methods for determining antibiotics in the environment are immune methods, in particular polarizing fluorescent immunoassay (FPIA). The FPIA method makes it possible to determine low-molecular analytes with high specificity and sensitivity in a homogeneous medium without separation. Chloramphenicol, which is often used in veterinary medicine, can be found in wastewater and natural reservoirs. Therefore, in this work, a polarizing fluorescent immunoassay was developed for the determination of chloramphenicol in an aqueous medium: fluorescently labeled tracers were obtained, pairs of immunoreagents (tracers and antibodies) were selected and characterized, and the conditions for conducting FPIA were optimized.

Использование антибиотиков в ветеринарии в лечебных и профилактических целях приводят к тому, что лекарственные препараты могут достигать природных вод как в нативном, так и в частично метаболитизированном виде. В настоящее время проблема загрязнения водной среды лекарственными препаратами привлекает к себе повышенное внимание и в связи с малой изученностью остаются открытыми все аспекты данной проблемы: мониторинг антибиотиков в

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета "Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды".



водах, их взаимодействие с другими препаратами, оценка степени токсичности, определение эффективности методов удаления.

В свою очередь определение антибиотиков в сточных водах и водоемах окружающей среды затруднено низкими концентрациями определяемых веществ и сложным составом образцов. Для анализа лекарственных препаратов наиболее распространен метод высокоэффективной жидкостной хроматографии в тандеме с масс-спектрометрией. Однако данный метод требует дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного персонала. Важным вопросом также остается пробоподготовка воды для анализа. В настоящее время перспективными методами концентрирования являются магнитные частицы.

В ветеринарии наиболее часто используется хлорамфеникол, который может обнаруживаться в сточных водах и природных водоемах. Поэтому целью данной работы была разработка поляризационного флуоресцентного иммуноанализа для определения данного препарата в водной среде.

Перспективными методами определения антибиотиков в окружающей среде являются иммунные методы. В настоящий в работе диагностических лабораторий медицины и сельского хозяйства используются иммуноферментный анализ (ELISA), поляризационного флуоресцентный иммуноанализ (FPIA) и иммунохроматографический анализ. Метод FPIA позволяет с высокой специфичностью и чувствительностью определять низкомолекулярные аналиты в гомогенной среде без разделения. имеет возможность автоматизации системы анализа. большую точность. стабильность метки. меньшая подверженность влиянию температуры и pH среды. характерному для фермент-субстратных отношений, а также быстроту и простоту проведения анализа.

В настоящей работе были получены флуоресцентно меченные

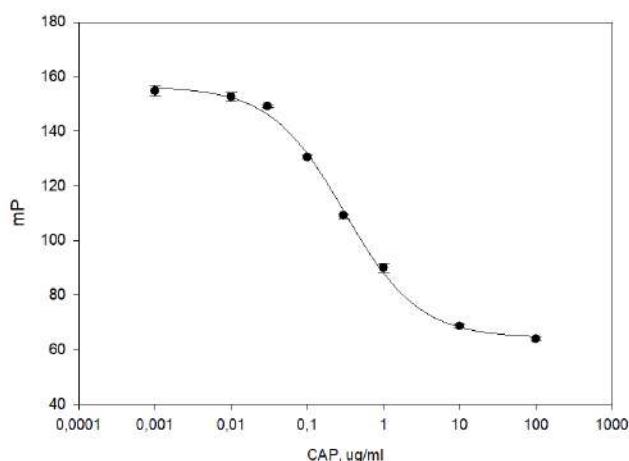


Рисунок 1. Калибровочная кривая.

трейсеры для определения хлорамфеникола CAP-FITC и CAP-BGFP. Подобраны и охарактеризованы пары иммунореагентов (трейсеры и антитела) для определения данного препарата. Оптимизированы условия проведения FPIA, изучено влияние матричного эффекта, получены калибровочные кривые и определены аналитические характеристики метода: предел обнаружения (25 нг/мл), диапазон

определяемых концентраций и чувствительность.

С помощью разработанного метода FPIA проверены образцы воды, отобранные в водоемах Москвы и Подмосковья на возможность нахождения хлорамфеникола.

Таким образом в данной работе разработан метод определения хлорамфеникола с помощью поляризационного флуоресцентного иммуноанализа, точность метода проверена тестом введено-найдено и протестированы реальные образцы воды.

УДК 543.064

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНГИЦИДОВ КЛАССА АНИЛИНОПИРИМИДИНОВ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ИММУНОАНАЛИЗА<sup>1</sup>****Жердев Д. О., Мухаметова Л. И., Еремин С. А.**

*Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;  
e-mail: [dmitryzher@yandex.ru](mailto:dmitryzher@yandex.ru)*

В современной сельскохозяйственной деятельности необходимы быстрые, чувствительные и точные методы определения пестицидов в образцах. В данной работе была разработана методика определения анилинопиримидинов методом поляризационного флуоресцентного анализа (FPIA). Изучены физико-химические характеристики взаимодействия антиген/антитело. Оптимизированы условия проведения анализа, получены калибровочные зависимости и определены аналитические характеристики метода. Методика была апробирована и подтверждена тестом «введено-найдено».

Modern agriculture requires fast, sensitive and precise methods for the determination of pesticides in samples. In this work, polarizing fluorescent immunoassay for the determination of anilino-pyrimidines was developed. Physicochemical characteristics of the antigen / antibody interaction were studied. The conditions for the analysis were optimized, the calibration dependencies were obtained, and the analytical characteristics of the method were determined. The method was tested and confirmed by the spike recovery test.

**Пестициды** широко применяются в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями и внешними паразитами растений, сорными растениями и вредителями хранящейся плодовоовощной продукции. От количества и качества урожая, собранного аграриями, зависит не только доход целой отрасли, но и продовольственная безопасность всего государства.

Анилинопиримидины – класс фунгицидов, которые являются эффективными средствами для борьбы с такими заболеваниями растений как мучнистая роса, серая плесень, парша и пятнистость листьев. Представителями данного класса являются следующие препараты: ципродинил, пириметанил и метанипирим. Основным механизмом их действия является ингибирование синтеза метионина, что приводит к нарушению образования белков и, как следствие, прекращению последующего деления клеток.

Анилинопиримидины (в частности, пириметанил) являются одними из наиболее часто используемых фунгицидов при обработке виноградников в ряде европейских стран (препараты одобрены на

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета "Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды".

территории ЕС). Также данные фунгициды используются при обработке ряда косточковых и семечковых фруктов. Часто пестициды анилонопиримидинового ряда используются и при обработке семян растений от молодых грибков.

Ципродинил, пириметанил и метанипирим являются относительно малотоксичными соединениями (для млекопитающих  $LD_{50}$ : >2000 мг/кг для ципродинила, >5000 мг/кг для мепанипирима и 4150 мг/кг для пириметанила). При обработке сельскохозяйственных культур анилонопиримидины могут попадать в почву (либо при распылении препаратов, либо из-за атмосферных осадков) и накапливаться в ней, так как данные соединения устойчивы к гидролизу в широком диапазоне pH. Помимо этого, необходим контроль содержания пестицидов и в самих сельскохозяйственных культурах, так как несоблюдение нормативов по применению данных пестицидов может привести к превышению МДУ анилонопиримидинов в сельхозпродукции и, следовательно, нанести вред здоровью потребителей.

Целью данной работы было разработка методики определения анилонопиримидинов в различных объектах, которая позволяли бы проводить анализ достаточно быстро, просто и с требуемой чувствительностью и специфичностью.

Иммунные методы определения пестицидов в окружающей среде являются одними из самых перспективных. В настоящее время в диагностических лабораториях сельского хозяйства используются иммуноферментный анализ (ELISA), поляризационного флуоресцентный иммуноанализ (FPIA) и иммунохроматографический анализ (LFA).

В данной работе для определения анилонопиримидинов использовался поляризационный флуоресцентный иммуноанализ (FPIA). Метод FPIA позволяет с высокой специфичностью и чувствительностью определять низкомолекулярные соединения в гомогенной среде без разделения, обладает возможностью автоматизации анализа, достаточно высокой прецизионностью, меньшей подверженностью влиянию температуры и pH среды, характерному для фермент-субстратных отношений, а также простотой и быстротой проведения анализа.

В ходе работы были получены трейсеры для определения анилонопиримидинов с этилендиаминфлуоресцеиновой (PMb-EDF) и аминометилфлуоресцеиновой (PMb-AMF) метками. Были подобраны пары иммунореагентов, оптимизированы условия проведения ПФИА, получены градуировочные кривые и рассчитаны аналитические характеристики методик предел обнаружения (30 нМ для мепанипирима, 200 нМ для ципродинила и 50 нМ для пириметанила); линейный диапазон концентраций и чувствительность. Более того, были определены физико-химические характеристики взаимодействия антиген/антитело и трейсер/антитело.

Методика определения анилонопиримидинов была апробирована на образцах воды, вина и сока и подтверждена тестом «введено-найдено».

УДК 543

**ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ  
БИОПОЛИМЕРОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ****Красиков В.Д.<sup>1</sup>, Малахова И.И.<sup>1</sup>, Кириллов А.С.<sup>1</sup>,  
Горшков Н.И.<sup>1</sup>, Боголицын К.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
высокомолекулярных соединений Российской академии наук (ИВС РАН),  
Санкт-Петербург*

<sup>2</sup> *Северный Арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск*

Природные полисахариды представляют собой один из самых основных и сложных классов природных биополимеров. Структурное многообразие фитополисахаридов не ограничивается только первичной структурой (моно- или гетерополисахариды) и конформацией (линейные, разветвленные, циклические).

Молекулы полисахаридов, благодаря гликозидной гидроксигруппе восстанавливающего конца, могут присоединяться к молекулам не углеводной природы, например, к белкам и пептидам с образованием гликополисахаридов и гликопептидов и т.д. Такие углеводородсодержащие биополимеры играют важную роль во многих процессах межклеточных взаимодействий. Таким образом не удивительно, что природные полисахариды, проявляющие фармакологическую активность, являются составным началом многих лекарственных препаратов.

Использование любых биологически активных веществ (БАВ) из растительного сырья в качестве компонентов лекарственных препаратов обязательно требует не только создания соответствующих методов их выявления, идентификации, очистки и т.д., но и включение в ВФС валидированных методик анализа. Данные меры позволяют осуществлять сквозную стандартизацию в ряду БАВ-субстанция-лекарственное средство.

В работе рассматривается два вида природных БАВ - полифенолы, выделенные из арктических водорослей, и полисахариды/гликопротеины, полученные из быстро делящихся клеток (проростков) картофеля. Одной из наиболее значительных групп соединений, определяющих фармакологическое значение арктических бурых водорослей, являются полифенолы, а именно полимеры флороглюцина – флоротаннины.

Выделение и исследование природных БАВ флоротаннинов и полисахаридов растительного происхождения - актуальная задача. Сложными объектами для изучения являются различные виды конъюгатов, которые могут образовывать, например, комплексы полисахаридов с белком и могут являться как протеогликанами/гликопротеинами, в

которых полипептидные фрагменты белков ковалентно соединены с полисахаридными цепями, так и нековалентными комплексами, в которых белковые компоненты связаны с полисахаридными посредством водородных связей и электростатических взаимодействий. Полисахаридно-белковые комплексы обладают широким спектром физиологической активности, в том числе гастропротекторными и иммуностимулирующими свойствами.

Традиционные экстракционно-осадительные методы выделения полисахаридно-белковых комплексов являются недостаточно эффективными, поскольку при предварительной переработке растительного сырья происходят процессы лигнификации и суберизации, что приводит к образованию сшитой трехмерной структуры, состоящей из множества компонентов. При этом выделение целевых белково-полисахаридных комплексов является сложной задачей.

Для выделения, разделения и идентификации целевых компонентов (биополимеров) из растительного сырья используются современные физико-химические методы: хроматография (жидкостная, тонкослойная и газовая), ИК-спектроскопия, электрофорез, вискозиметрия, скоростная седиментация, поступательная диффузия и масс-спектрометрия. Все перечисленные методы представлены в работе.

УДК 543

**СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ХРОМАТОГРАФИИ,  
ПРОСЛЕЖИВАЕМЫЕ К ГОСУДАРСТВЕННОМУ ПЕРВИЧНОМУ  
ЭТАЛОНУ ГЭТ 176-2019**

**Шимолин А.Ю., Соби́на А.В.**

*УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»,  
Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, д.4  
e-mail: [alex-shimolin@uniim.ru](mailto:alex-shimolin@uniim.ru)*

Хроматографические методы анализа требуют применения основы для сравнения. Стандартные образцы, выпускаемые и прослеживаемые к Государственному первичному эталону ГЭТ 176, обеспечивают метрологическую прослеживаемость результатов измерений содержания компонентов жидкостных, в том числе ионных, хроматографов.

Chromatographic methods of analysis require using of calibrants. Certified Reference Materials produced by and traceable to the State Primary Standard GET 176 establish metrological traceability of measurement results of components obtained by liquid chromatographs, including ion ones.

В современной аналитической практике хроматографические методы анализа имеют очень широкое распространение. Относительная простота применения, высокая селективность и широчайшее многообразие исследуемых объектов делают рассматриваемые методы чрезвычайно значимыми для рутинных и исследовательских измерений [1,2]. Однако необходимость построения калибровочных характеристик для каждого определяемого компонента влечет за собой сложности, связанные с подтверждением метрологической прослеживаемости применяемых основ для сравнения. При наличии комплекса государственных первичных эталонов [3], предназначенных для обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений химического состава веществ и материалов к международной системе единиц (СИ) в рамках международного признания [4], испытательные и калибровочные лаборатории регулярно сталкиваются с отсутствием стандартных образцов (далее – СО), необходимых для калибровки хроматографических систем разных типов.

Часть задач по разработке необходимых СО решает Государственный первичный эталон единиц массовой (молярной, атомной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твёрдых веществах и материалах на основе кулонометрии ГЭТ 176-2019 (далее – ГЭТ 176) [5]. Прослеживаемость результатов измерений обеспечивается реализацией двух основных механизмов:

1) непосредственное применение выпускаемых на ГЭТ 176 стандартных образцов для поверки и калибровки средств измерений, испытаний средств измерений, в том числе в целях утверждения типа, построения и контроля калибровочных (градуировочных) характеристик, аттестации методик измерений, контроля результатов измерений, полученных в результате применения методик измерений, научных исследований и др. целей. Механизм реализуется через 17 типов стандартных образцов, выпускаемых на ГЭТ 176 (см. табл.);

2) применение для вышеперечисленных целей стандартных образцов, метрологические характеристики которых были установлены производителями СО с применением стандартных образцов более высокого разряда, выпускаемых на ГЭТ 176. Подавляющее большинство стандартных образцов состава растворов ионов, применяемых для поверки и калибровки ионных хроматографов, масс-спектрометров с индуктивно-связанной плазмой, атомно-абсорбционных спектрометров, титраторов, вольт-амперометрических анализаторов, рентгенофлуоресцентных анализаторов и др., прослеживаются к стандартным образцам, выпускаемым на ГЭТ 176. Также к ГЭТ 176 посредством применения стандартных образцов состава раствора соляной кислоты (ГСО 9654-2010), натрия хлористого 1-го разряда (ГСО 4391-88) и сульфаминовой кислоты (ГСО 10498-2014) прослеживается 22 типа СО состава фармакологических субстанций, наркотических и психотропных веществ, предназначенных для калибровок и контроля точности результатов измерений соответствующих веществ и материалов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [6].

Таблица

Реестр СО	Наименование СО
ГСО 2215-81	СО состава калия двуххромовокислого (бихромата калия) 1-го разряда
ГСО 2216-81	СО состава калия фталевокислого кислого (бифталата калия) 1-го разряда
ГСО 2960-84	СО состава трилона Б 1-го разряда
ГСО 3219 -85	СО состава натрия щавелевокислого 1-го разряда
ГСО 4391-88	СО состава натрия хлористого 1-го разряда
ГСО 9655-2010	СО состава ЭДТУ
ГСО 9969-2011	СО состава калия хлористого
ГСО 10275-2013	СО состава свинца азотнокислого
ГСО 10450-2014	СО массовой доли карбоната натрия в карбонате натрия высокой чистоты ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ СО УНИИМ)
ГСО 10498-2014	СО состава сульфаминовой кислоты ( $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ СО УНИИМ)
ГСО 10800-2016	СО состава меди высокой чистоты (Cu СО УНИИМ)
ГСО 10816-2016	СО состава железа высокой чистоты (Fe СО УНИИМ)
ГСО 9654-2010	СО состава раствора соляной кислоты ( $250 \text{ см}^3$ )

ГСО 10992-2017	СО состава раствора бихромата калия (0,1М К <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> СО УНИИМ)
ГСО 10934-2017	СО массовой доли натрия и хлора в твердой матрице (NaCl-ТМ СО УНИИМ)
ГСО 10991-2017	СО массовой доли свинца в твердой матрице (Pb-ТМ СО УНИИМ)
ГСО 11036-2018	СО массовой доли железа в твердой матрице (Fe-ТМ СО УНИИМ)
ГСО 11713-2021	СО состава йодата калия (KIO <sub>3</sub> СО УНИИМ)

Дальнейшие исследования в соответствии со стратегией УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева» направлены на расширение номенклатуры выпускаемых на ГЭТ 176 стандартных образцов. В настоящее время ведутся работы по испытанию в целях утверждения типа стандартного образца состава кофеина, предназначенного для поверки широкого ряда жидкостных хроматографов. Ведутся исследования по разработке многокомпонентных стандартных образцов для ионной хроматографии, призванные повысить точность результатов измерений в 1,5-3 раза и заменить применяемые дорогостоящие иностранные образцы.

#### Литература

1. Шаповалова Е.Н., Пирогов А.В. Хроматографические методы анализа. Методическое пособие для специального курса. Москва, 2007
2. Бёккер Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза. Учебник. — М.: Техносфера, 2009
3. ГОСТ 8.765.0-2011 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в жидких и твёрдых веществах и материалах»
4. Взаимное признание национальных измерительных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами. – Париж, 14 октября 1999 г. Техническое приложение.
5. Собина А.В., Терентьев Г.И., Зыскин В.М., Шимолин А.Ю. «Государственный первичный эталон на основе кулонометрии ГЭТ 176-2013: роль в метрологическом обеспечении аналитических измерений и перспективы развития»: - Международная научно-практическая конференция «175 лет ВНИИМ им. Д.И. Менделеева и Национальной системе обеспечения единства измерений», Санкт-Петербург, 14-15 июня 2017, тезисы докладов, с. 92-93.
6. Сведения из федеральной информационной системы ФГИС «АРШИН»



УДК 543

**ЭВОЛЮЦИЯ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ (ЖХ)  
2003-2021 ГГ.****Яшин Я.И.**

*ООО «Интерлаб», Россия, 125315 Москва,  
Ленинградский пр-кт, д.76, корп. 2, оф. 91;  
e-mail: [yashinchrom@mail.ru](mailto:yashinchrom@mail.ru)*

М.С. Цвет открыл хроматографию в виде колоночной жидкостно-адсорбционной хроматографии. Первое сообщение было в 1903 г., в 1906 г. М.С. Цвет опубликовал две статьи в немецких журналах, а в 1910 г вышла книга «Хромофиллы в растительном и животном мире», где подробно описан метод хроматографии.

Всего М.С.Цветом опубликовано 62 научные работы. М.С.Цвет не только впервые предложил метод хроматографии, им детально разработаны методические и приборные основы метода. М.С.Цвет исследовал более 100 разных сорбентов. Техника анализа мало изменилась до сих пор. Хроматографические колонки М.С. Цвета имели высокую эффективность, он также впервые продемонстрировал преимущества многоколоночных вариантов хроматографии. К сожалению, метод не нашел последователей до 1931 г. по следующим причинам: недооценка метода современниками, отрицательное мнение конкурентов (Р.Вильштеттер), первая Мировая война прервала и замедлила научные исследования в Европе, ранняя смерть М.С. Цвета (1919 г). Тем не менее М.С.Цвет в 1918 г. Был выдвинут на Нобелевскую премию. До 1930 гг. были только единичные работы по хроматографии: Л. Пальмера в США, Ч. Дьере в Швейцарии, Т. Липпмаа в Эстонии (Тартуский университет). В 1931 г. Р. Кун, А. Винтерштейн, Е. Ледерер практически повторили опыты М.С. Цвета и убедились в их больших возможностях. Резко возрос интерес к хроматографии, особенно в Германии. Это было второе рождение хроматографии. В 1938 г. Н.А. Измайлов и М.С. Шрайбер предложили метод жидкостной хроматографии на плоскости (метод тонко-слоистой хроматографии). В конце тридцатых годов была разработана ионообменная хроматография, которая сыграла большую роль в Манхэттенском проекте как для разделения ионов радиоактивных соединений, так и открытия трасурановых элементов. За эти работы Г. Сиборг и Е. Мак-Миллан удостоены Нобелевской премии по химии. Широкому распространению хроматографии привели книги на немецком языке Л. Цехмейстера и Л. Чолноки и Хессе. Перевод этих книг на английский язык способствовал развитию хроматографии в Англии и ее подвластных странах до Австралии. Не случайно с 1940 г. в развитие хроматографии стали вносить английские исследователи особенно А.

Мартин и его сотрудники. В 1941 г. ими был предложен метод жидкостно-жидкостной хроматографии. В 1944 г. Р. Консен, А. Гордон и А. Мартин предложили метод бумажной хроматографии. С 1940 г. по 1944 г. А. Тизелиусом и С. Классоном разработаны варианты фронтальной, вытеснительной и проявительной хроматографии. Градиентное элюирование было предложено рядом авторов в 1952 г. В течение 1950-1970 г.г. предложены новые методы жидкостной хроматографии:

- 1951 г. Аффинная( биоспецифическая) хроматография-Д. Кемпбелл.
- 1959 г. гель-проникающая хроматография – Д. Порат, П. Флодин
- 1961 г. Лигандо-обменная хроматография – Ф. Гельферих
- 1962 г. Сверхкритическая флюидная хроматография – Е. Клеспер
- 1968 г. Лигандо-обменная хроматография оптических изомеров – В.А. Даванков

На начальном этапе развития ЖХ (до 1970г) разделение длилось часами, пики были сильно размытыми. После появления высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) все указанные процессы стали стремительно расти. С переходом применения зерен сорбента с 100 мкм до 2-5 мкм время разделения сократилось в сотни раз, эффективность колонок возросла в сотни раз. Время появления ВЭЖХ –это время возрождения жидкостной хроматографии, время ренессанса. С 1970 г. ВЭЖХ стала интенсивно развиваться во всех направлениях: разработка новых технологий сорбентов, новых детектирующих систем, новых приборов, новых применений.

Можно выделить следующие новые технологии сорбентов, которые расширили аналитические возможности ВЭЖХ:

- монолитные колонки;
- поверхностно-пористые сорбенты;
- перфузионные сорбенты;
- однородные макропористые углеродные адсорбенты;
- сорбенты с порами молекулярных размеров (molecularly imprinted polymers)

Сорбенты из новых материалов: оксиды титана и циркония, графен, оксид графена, сверхсшитые полимеры, ионные жидкости, поликапиллярные колонки.

Детектирующие системы: 3D детекторы: МС, диодноматричный, кулонометрический с линейкой электродов; селективные детекторы: флуориметрический. электрохимический, хемилюминисцентный; универсальные детекторы: рефрактометрический, по светорассеиванию, спектрофотометрический, масс-спектрометрический

В 1975г был предложен метод ионной хроматографии – это метод высокоэффективной ионо-обменной хроматографии с повышенной чувствительностью. Этот метод значительно расширил возможности жидкостной хроматографии в анализе неорганических и органических

ионов в объектах окружающей среды, пищевых продуктах, в биологических жидкостях.

В начале 21 века внедрены в практику ВЭЖХ новые методы: супер ВЭЖХ при высоких давлениях, высокотемпературная, гидрофильная, высокоскоростная. Эти методы позволили проводить анализы для весьма важных целей: геномика, метаболомика, протеомика, пептидомика, липидомика, фармакокинетика, допинг-контроль, судебная химия, криминалистика, анализ содержимого одной клетки, попытки анализа одной молекулы. Во многих этих применениях исключительную роль сыграли МС детекторы высокого разрешения

С 1940 по 1970 гг. в 14 нобелевских премиях большую роль сыграла хроматография, специалисты утверждают, что без нее эти работы не могли быть выполнены, в частности, исследования каротиноидов, витаминов, терпенов, гормонов гипофиза, структуры инсулина, сахарных нуклеотидов, медиаторных веществ, рибонуклеазы, структуры антител. Мартин, Тизелиус и Сиборг получили нобелевские премии в том числе и за вклад в хроматографию.

В заключение можно привести основные достижения ЖХ за 1903-2021 г.г.

---Эффективность колонок-----до 1 млн. теоретических тарелок;

---Селективность-----разделение всех видов изомеров, в т.ч. оптических (различие в энергии сорбции менее 6 кал.

---Экспрессность-----десятки пиков за 60 сек;

---Разделительная способность --- более 1000 пиков за один ввод (пептидные карты)

---пределы определения от 0,1г до фемто ( $1 \times 10^{-15}$ г-) и атто ( $1 \times 10^{-18}$ г)

---миниатюризация приборов – от промышленных потоковых до портативных микро, на чип ах, нано-приборы.

---автоматизация как управлением процессов, так и обработки результатов анализа;

---области применения—от анализа планет до содержимого одной клетки;

---число выпущенных хроматографов всех типов-----около 3 млн шт;

---частота применения в аналитических лабораториях—после рН метров и весов;

По данным Питтсбургских конференций ВЭЖХ в настоящее время

- самый востребованный аналитический метод (ежегодно более 6000 публикаций).

УДК 543.51, 543.54

**НЕЦЕЛЕВОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ  
СМЕСЕЙ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕХНОГЕННОГО  
ПРОИСХОЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ  
ХЕМОИНФОРМАТИКИ**

**Шолохова А.Ю., Матюшин Д.Д., Буряк А.К.**

*ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;  
e-mail: [shonastya@yandex.ru](mailto:shonastya@yandex.ru)*

В работе проведена идентификация продуктов трансформации НДМГ и озонированных продуктов пиролиза сочетанием методов газовой хромато-масс-спектрометрии с методами глубокого обучения. Показана высокая точность предсказания индексов удерживания с использованием методов глубокого обучения для различных типов неподвижных фаз.

The identification of UDMH transformation products and ozonized pyrolysis products by a combination of gas chromatography-mass spectrometry with deep learning methods was carried out in the work. High accuracy of prediction of retention indices using deep learning for various types of stationary phases has been shown.

Фундаментальной проблемой химии является нецелевой анализ сложных смесей низкомолекулярных органических соединений, то есть установление структуры компонентов смеси, в том числе ранее неизвестных. Одним из основных методов нецелевого анализа сложных смесей является газовая хромато-масс-спектрометрия. Этот метод позволяет быстро получить значительное количество информации о составе смеси. В последние годы активно разрабатываются методы интерпретации хромато-масс-спектрометрических данных для предварительного нецелевого анализа с применением машинного и глубокого обучения. Большая часть таких работ посвящена задачам метабомики. Для анализа объектов техногенного происхождения, таких как жидкие химические отходы, применение подобных методов разработано в меньшей степени, несмотря на то, что нецелевой анализ подобных смесей, включая выявление потенциально токсичных и опасных соединений, имеет большое практическое значение.

В данной работе применены методы масс-спектрометрии, газовой хроматографии, хемоинформатики и машинного обучения к анализу сложных смесей техногенного происхождения: продуктов пиролиза пластиковых бытовых отходов и продуктов трансформации промывных вод, содержащих несимметричный диметилгидразин (НДМГ), подвергнутых длительному неконтролируемому хранению. Эти смеси

имеют различный состав и поэтому являются хорошими модельными объектами для отработки методов идентификации.

Разработан наиболее точный на данный момент метод предсказания индексов удерживания с помощью машинного обучения и глубокого обучения. В качестве неподвижных фаз (НФ) рассмотрены стандартные полярные, неполярные фазы, а также среднеполярные НФ и НФ на основе ионных жидкостей (ИЖ). Для всех данных НФ показана высокая точность предсказания индексов удерживания. Кроме того, разработаны новые алгоритмы библиотечного поиска по базе данных масс-спектров.

При анализе смесей сравнение предсказанных и наблюдаемых индексов удерживания позволило отбросить ложные кандидаты (неверная идентификация с помощью библиотечного поиска) и выполнить предварительную идентификацию компонентов смеси. Показано, что использование индексов удерживания, предсказанных с помощью глубокого обучения, позволяет существенно повысить точность идентификации.

УДК 006.91:544.08

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЖИДКИХ СРЕД****Прокунин С.В.<sup>1</sup>, Добровольский В.И.<sup>1</sup>, Веньгина Д.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГУП «Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Физико-Технических и Радиотехнических Измерений (ФГУП «ВНИИФТРИ»),  
141570, Московская область, г. Солнечногорск, р.п. Менделеево;  
e-mail: [prokunin@vniiftri.ru](mailto:prokunin@vniiftri.ru)

Научная работа посвящена исследованию метрологических характеристик буферных растворов, рабочих эталонов рХ и стандартных образцов, для оценки пригодности их применения, при обеспечении единства измерений физико-химических методов анализа.

The scientific work is devoted to the study of the metrological characteristics of buffer solutions, рХ working standards and CRM, to assess the suitability of their use, while ensuring the uniformity of measurements of physicochemical methods of analysis.

Метрологическое обеспечение измерений физико-химического состава и свойств веществ, таких как, концентрация ионов водорода (рН), ионной концентрации (рХ) и содержания неорганических компонентов в жидких средах, является крайней важной и сложной задачей. Такие измерения широко применяют для анализа неорганических и органических веществ, пищевых продуктов, медикаментов, нефтепродуктов, для мониторинга и контроля состояния водных объектов окружающей среды, в том числе морских вод [1].

От правильности и точности проведения измерений зависит оценка качества поставляемой продукции и степень загрязнения водных акваторий. Если используемое средство измерений (СИ) не будет правильно откалибровано, то возникает риск получения ошибочного результата, что приведет к неизвестным последствиям, например мору рыбы.

Для метрологического обеспечения водородного показателя на территории Российской Федерации, в основном, используют рабочие эталоны рН в диапазоне от 1,2 до 12,45 рН. Рабочие эталоны рН 2-го разряда, представляют собой буферные растворы или стандарт-титры рН, которые имеют погрешность определения равную  $\pm 0,01$  при  $T=25$  °С. Для высокоточных измерений рН, например в научных исследованиях, применяют рабочие эталоны 1-го разряда, с погрешностью равной  $\pm 0,004$  при  $T=25$  °С. Метрологическая прослеживаемость мер рН изложена в документе [2], который в 2021 году будет пересмотрен с учетом последних достижений науки техники в области метрологии.

Ионный состав жидких сред, так же имеет важное значение, например, при создании стандартов рН морской воды [1,3,4], что в настоящее время крайне актуально. Для метрологического обеспечения ионного состава жидких сред во ФГУП «ВНИИФТРИ» были разработаны рабочие эталоны рХ, а также многоэлементные стандартные образцы для методов анализа с индуктивно связанной плазмой, которая представляет собой оптимальный метод анализа, прежде всего, водных растворов и проб, хорошо растворимых в воде или содержащих хорошо растворимые в водных растворах компоненты.

Работа посвящена особенностям применения стандартных образцов, для методов анализа с индуктивно связанной плазмой, мер рН и ионного состава (рХ), для метрологического обеспечения СИ, согласно государственным поверочным схемам средств измерений рН [1], рХ [5] и для средств измерений содержания неорганических компонентов в водных растворах [6].

#### **Литература**

1. *Шуваев, А. В., Зарубина С. А.* // Величины рН буферной системы: трис - HCl – морская вода при различных температурах и давлениях // Вестник СГУПС. - 2012. - № 28. - С. 238-249.
2. *ГОСТ 8.120* . Государственная поверочная схема для средств измерений рН. – М. : Стандартиформ, 2015. - 5 с.
3. *Yang, B.* Seawater pH measurements in the field: a diy photometer with 0.01 unit pH accuracy / *B. Yang, M. C. Patsavas, R. H. Byrne, J. Ma* // *J. Marine Chemistry*. – 2014. - Vol. 160. - P. 75-81.
4. *Waters, J. F.* The free proton concentration scale for seawater pH / *J. F. Waters, F. J. Millero* // *J. Marine Chemistry*. - 2013. – Vol. 149. – P. 8-22
5. *Приказ* Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2840 от 29 ноября 2019 г. «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрохимическими методами ионного состава водных растворов (средств измерений рХ)».
6. *Приказ* Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2605 от 01 ноября 2019 г. «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений содержания неорганических компонентов в водных растворах».

УДК 006.91:544.08

## СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ ВНИИФТРИ В ОБЛАСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Прокунин С.В.<sup>1</sup>, Добровольский В.И.<sup>1</sup>, Веньгина Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Физико-Технических и Радиотехнических Измерений (ФГУП «ВНИИФТРИ»), 141570, Московская область, г. Солнечногорск, р.п. Менделеево;  
e-mail: [prokunin@vniiftri.ru](mailto:prokunin@vniiftri.ru)

Статья посвящена докладу о достижениях действующих Государственных первичных эталонов в области физико-химических измерений находящихся во ВНИИФТРИ за последние 5 лет. Приведен план по совершенствованию и созданию новых первичных эталонов в области физико-химических измерений.

The article is devoted to the report on the achievements of the current State primary standards in the field of physico-chemical measurements located at VNIIFTRI over the past 5 years. The plan for improvement and creation of new primary standards in the field of physico-chemical measurements is given.

Для обеспечения единства физико-химических измерений во ВНИИФТРИ уже долгое время успешно эксплуатируются государственные первичные эталоны единиц рН (ГЭТ 54-2019), рХ (ГЭТ 171-2011), растворимости кислорода и водорода в жидких средах (ГЭТ 212-2014), измерения параметров аэрозолей (ГЭТ 163-2020), а так же массовой доли и массовой концентрации неорганических компонентов в водных растворах на основе гравиметрического и спектральных методов (ГЭТ 217-2018). Единицы передаваемые от этих эталонов метрологически обеспечивают рабочие эталоны и средства измерений (СИ), которые широко используют во всех отраслях промышленности и народного хозяйства, включая предприятия рыбного хозяйства и научных организациях, на всей территории России. Для контроля выпускаемой продукции существует несколько сотен нормативно-технических документов, описывающий порядок и методики выполнения этих измерений, обеспечивающих контроль качества.

Эквивалентность первичных эталонов подтверждается их постоянным участием в международных сличениях, между эталонами других стран [1-3], организуемых как евро-азиатскими метрологическими организациями, так и головной метрологической организацией мира – Международным Бюро Мер и Весов.

В настоящей работе приводятся основные достижения, а так же прогресс в расширении измерительных возможностей Государственных



первичных эталонов в области физико-химических измерений находящихся во ФГУП «ВНИИФТРИ» за последние 5 лет.

Приводится план совершенствования действующих и необходимости создания новых государственных эталонов, с учетом развития потребностей различных сфер науки и техники, а также экологического мониторинга водных объектов. Основным направлением будет развитие разработки стандартных образцов в морской воде, что является актуальным на сегодняшний день во всем мире.

### **Литература**

2. *Bastkowski, F.* Key comparison on pH of an unknown phosphate buffer / 399.F. Bastkowski, S. Prokunin [et. all] // *Metrologia*. – 2016. – Vol. 53. – P. 08007.
3. *Dobrovolskiy, V. I.* Participation of VNIIFTRI in international comparisons in the field of physical-chemical measurements / V. I. Dobrovolskiy, N. G. Oganyan, S. V. Prokunin, A. A. Stakheev // *Reference materials*. – 2018. – Vol. 14, No. 1-2. – P. 51–56.
4. *Wang J., et al.* Final report of the CCQM-K145: Toxic and essential elements in bovine liver. *Metrologia*. 2020. T. 57. № 1 A. С. 08013.

УДК 543.544

**ПРЯМОЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В МОРСКОЙ ВОДЕ.  
СТРОНЦИЙ ИЗ ФУКУСИМЫ, ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО  
ПОТЕПЛЕНИЯ НА КОРАЛЛОВЫЕ РИФЫ И ПРОЧЕЕ**

**Нестеренко П.Н.**

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр.3;  
e-mail: [p.nesterenko@phys.chem.msu.ru](mailto:p.nesterenko@phys.chem.msu.ru)*

Высокоэффективная комплексообразовательная хроматография ионов металлов (ВЭКХИ) является одним из немногих методов прямого анализа морской воды. Настоящая работа посвящена применению ВЭКХИ для экспрессного определения соотношения магния и кальция, микроколичеств стронция и алюминия в морской воде.

High-performance chelation ion chromatography (HPCIC) is one of the few methods for direct determination of alkaline-earth metal ions in seawater. This work is devoted to the application of HPCIC for the rapid determination of Mg/Ca ratio, trace amounts of strontium and aluminum in seawater.

В основе ВЭКХИ лежит способность хелатообразующих сорбентов удерживать и разделять ионы щелочноземельных и переходных металлов за счет образования поверхностных комплексов различной устойчивости [1]. Отличительной чертой комплексообразования является независимость констант устойчивости образующихся комплексов от ионной силы раствора. Данное свойство используется в ВЭКХИ для анализа растворов с высокой концентрацией солей щелочных металлов, например, технологических рассолов. В настоящей работе рассмотрены возможности ВЭКХИ для анализа морской воды [2-4]. Детектирование разделяемых металлов производится в виде окрашенных или флуоресцирующих комплексов металлов после проведения непрерывной постколонной реакции (ПКР) в потоке [1]. Важным достоинством ВЭКХИ является компактность хроматографического оборудования и нетоксичность используемых элюентов и реагентов, что позволяет успешно применять этот метод в варианте “on-board” во время морских экспедиций.

Одной из сложных и трудоемких задач при анализе морской воды является прямое определение щелочноземельных металлов. Глобальное потепление и увеличивающиеся выбросы углекислого газа влияют на pH морской воды, изменяют растворимость карбоната кальция и разрушают коралловые рифы [2]. В этом случае ВЭКХИ использовали для определения соотношения концентраций магния и кальция в поровых водах коралловых рифов в режиме реального времени с использованием

монолитных хроматографических колонок на основе силикагеля с привитой иминодиуксусной кислотой (ИДК).

Определение микроколичеств стронция в морской воде несомненно является важной задачей для жизнедеятельности кораллов, а также актуально в связи с радиационной катастрофой на атомной электростанции Фукусима и утечкой больших количеств радиоактивного стронция (462 триллиона Бк) в океан. Данная катастрофа инициировала интерес к разработке новых чувствительных методов определения стронция в присутствии больших избытков других щелочноземельных металлов ( $\text{Sr}^{2+}/\text{Mg}^{2+} \sim 1/140$  и  $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+} \sim 1/65$ ). В частности, был разработан метод прямого определения стронция в морской воде методом ВЭКХИ. Соответствующая хроматограмма представлена на рис. 1.

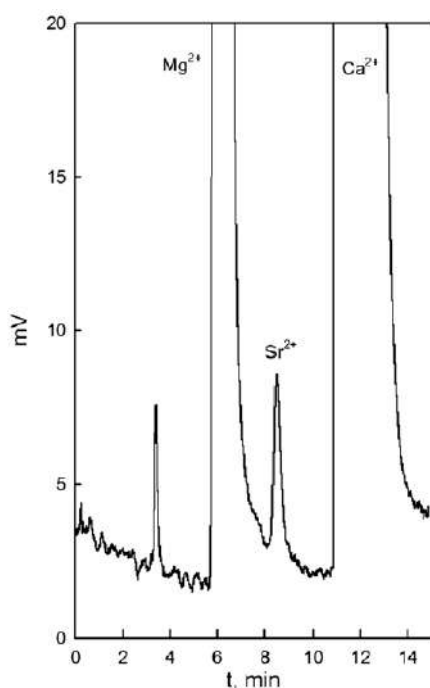


Рис. 1. Хроматограмма образца морской воды (стандарт IAPSO, партия P149). Колонка: 2 x 100 x 4,6 мм внутр. диам.). Элюент: 2 mM гликолевая кислота; 0,25 M NaCl; pH 11. Объем пробы: 4 мкл. Скорость потока элюента 1 мл/мин. Фотометрическое детектирование при 570 нм после ПКР с 0,4 mM раствором орто-крезолфталеинкомплексона в 0,25 M боратном буфере с pH 10,5, впрыскиваемом в поток с объемной скоростью 0,35 мл/мин. [2].

Еще одной важной задачей, решенной с помощью ВЭКХИ, стало определение микроколичеств алюминия в морской воде в рамках международной научной программы GEOTRACES [4]

## Литература

1. Нестеренко П.Н., Джонс Ф., Полл Б. Высокоэффективная комплексообразовательная хроматография металлов. Серия Мир химии; IV (16). Москва: Техносфера. 2013, 312с.
2. Nesterenko E.P., Nesterenko P.N., Paull B., Melendez M.O., Corredor J.E. // Microchem. J. 2013. V.111. P. 8-15.
3. Meléndez M., Nesterenko E.P., Nesterenko P.N., Corredor J.E. // Limnol. Oceanogr. Methods. 2013. V.11. P.466–474.
4. Remenyi T., Nesterenko P., Bowie A., Butler E., Haddad P. // Limnol. Oceanogr. Methods. 2012. V.10. P.832-839.

УДК 543.645.9

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ  
ПРИРОДНЫХ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
АНТИОКСИДАНТОВ**

**Дробь А.А.<sup>1</sup>, Васияров Г.Г.<sup>2</sup>, Титова Е.В.<sup>2</sup>, Староверов С.М.<sup>1,2</sup>**

*Химический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова, <sup>2</sup>АО «БиоХимМак СТ»,  
Россия 119234, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр.11;  
e-mail: [staroverov@conf.ru](mailto:staroverov@conf.ru)*

Найдены ВЭЖХ условия разделения всех 15 антоцианов черники. Разработан новый «кластерный» анализ антоцианов, обеспечивающий подтверждение подлинности соков. Показаны возможности HPLC-хроматографии и ОФ-ВЭЖХ в анализе красных вин. Реализована технология производства концентрата антоцианов.

HPLC conditions for the separation of all 15 bilberry anthocyanins are defined. A new "cluster" analysis of anthocyanins has been developed. The possibilities of HILIC and RP-HPLC in the red wines analysis are shown. The technology to produce anthocyanins concentrate has been implemented.

Отходы производства при переработке черники и винограда являются важным источником антоцианов, используемых как компоненты лекарственных препаратов и БАД, а также экологически чистых красителей пищевой промышленности.

Несмотря на значительное количество работ в области исследования растительного сырья на содержание антоцианов, в большинстве случаев не удавалось использовать хроматографию в полной мере для качественной и количественной оценки растительного сырья.

Нами предложен «кластерный метод» анализа, основанный на группировке компонентов в группы(кластеры), относящиеся к разным антоцианидинам. Такой подход позволяет оценить подлинность соков, а изократический метод разделения всех 15 антоцианов черники – создать метод количественного определения их в растительных продуктах.

ВЭЖХ-анализ антоцианового состава красных сухих вин, которые содержат лишь моно- и диглюкозиды антоцианидинов, а также кумароильные и ацетоильные производные и пираноантоцианы, показал возможность определения сортовой принадлежности вин и виноматериалов. Впервые предложено использование гидрофильной хроматографии (HILIC) для количественной оценки мальвидин диглюкозида - индикатора гибридных сортов винограда.

Разработана и реализована в пилотном масштабе на одном из отечественных предприятий оригинальная технология получения концентрированной смеси антоцианов из отходов переработки черники.

УДК 543.054: 542.61: 543.062: 543.51: 543.544

## ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАМИНАНТОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ<sup>1</sup>

**Федорова Н.Е.<sup>1</sup>, Ивченкова А.А.<sup>1</sup>, Бондарева Л.Г.<sup>1</sup>**

*ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора,  
Россия 141014, г. Мытищи, Московской области, ул. Семашко, д.2;  
e-mail: [bondarevalg@fferisman.ru](mailto:bondarevalg@fferisman.ru)*

Нами предложен эффективный метод определения концентрации вторичного алифатического амина в воде жидкостной хроматографией. Сопоставление с известными аттестованными методиками по определению диметиламина в воде показало высокую эффективность разработанной методики.

We have proposed an effective method for determining the concentration of secondary aliphatic amine in water by liquid chromatography. Comparison with known certified methods for the determination of dimethylamine in water showed the high efficiency of the developed method.

Короткоцепочечные алифатические амины повсеместно встречаются в водных средах из-за их широкого применения в качестве промежуточных соединений в химической и фармацевтической промышленности. Кроме того, алифатические амины являются распространенными компонентами биологических систем в качестве продуктов разложения органических материалов, таких как аминокислоты и белки. Помимо проблем гигиены, из-за резкого запаха указанные соединения представляют опасность для жизни человека, поскольку являются раздражителями кожи, глаз, слизистой оболочки и дыхательных путей. Алкиламины могут реагировать с определенными азотсодержащими соединениями с образованием нитрозоаминов, которые являются канцерогенами. Таким образом, существует необходимость определения алифатических аминов в различных матрицах. Содержание ряда органических аминов нормировано в питьевой воде централизованных систем питьевого водоснабжения согласно санитарным нормам (СанПиН 1.2.3685-21).

Цель исследования – валидировать метод хроматографического определения концентрации вторичного алифатического амина (диметиламина) в воде.

Диметиламин широко применяется в разных областях промышленности: в синтезе инсектицидов, гербицидов, моющих средств, растворителей и лекарственных средств. Служит сырьём для

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы «Обеспечение химической и биологической безопасности РФ на 2021-2024 г.»

производства гептила – ракетного топлива. Использовался в производстве химического оружия (табуна).

В системе контроля качества для воды в настоящее время действуют две методические разработки: МУК 4.1.008-13 Методика измерений массовой концентрации диметиламина в пробах питьевых, природных, очищенных сточных и талых (снег) вод фотометрическим методом (ФМБА) и МУК 4.1.1674-03 Измерение концентрации диметиламина в воде газохроматографическим методом (МинЗдрав России). Анализ данных методик выявил существенные недостатки, главным образом: 1) неселективное определение диметиламина фотометрическим методом, 2) плохая воспроизводимость результатов, и др.

Ранее специалистами ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора была разработана методика по определению глифосата в пробах воды и почвы методом жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Разработка данной методики показала эффективность применения дериватизации для определения аминов. Однако, диметиламин обладает малой молекулярной массой, что делает затруднительным его определение с помощью масс-детектора.

Учитывая собственный опыт и на базе проведенного информационного поиска, было принято решение о разработке методики на основе обращено-фазной жидкостной хроматографии, включающий дериватизацию с 9-флуоренилметилхлорформиатом и с использованием флуориметрического детектора (FLD). Предложена схема подготовки проб воды к определению диметиламина, включающая: фильтрование, дериватизацию раствором 9-флуоренилметилхлорформиата в среде тетрабората натрия. Подобраны условия детектирования образцов методом высокоэффективной хроматографией с флуориметрическим детектором.

Проведено сопоставление данных, полученных предлагаемой методикой, с использованием МУК 4.1.008-13 и 4.1.1674-03 определения диметиламина в модельных пробах воды с внесением диметиламина и в реальных пробах воды реки Яуза, а также центрального водоснабжения (холодная и горячая вода) г. Королев и Мытищи (Московская область) получено, что представляемый нами метод имеет наибольшую эффективность – до 97 %. При этом суммарная погрешность методики измерения концентраций диметиламина в воде методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с FLD не превышала 25 %.

Таким образом, валидированная методика устанавливает порядок применения метода высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектором для определения диметиламина в воде питьевой систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, в воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, в воде плавательных бассейнов и аквапарков с массовой концентрации диметиламина в диапазоне 0,005 – 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

УДК 544

**РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В  
ТОМСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ<sup>1</sup>****Слепченко Г.Б., Колпакова Н.А.**

*НИ ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30  
e-mail: [slepchenkogb@mail.ru](mailto:slepchenkogb@mail.ru)*

Рассмотрены основные направления развития Томской электрохимической школы за период с 2000-2020 годы. Основным направлением работы школы остается развитие теории и практики метода инверсионной вольтамперометрии. Практическое применение научных исследований широко представлено вольтамперометрическими методиками и анализаторами.

The main directions of development of the Tomsk electrochemical school for the period from 2000-2020 are considered. The main direction of the school's work is the development of the theory and practice of the method of stripping voltammetry. The practical application of scientific research is widely represented by voltammetric techniques and analyzers.

Вольтамперометрические методы (ВА) развиваются всесторонне уже в течение многих лет в научно-исследовательской группе Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета, которая отмечает свой шестидесятилетний юбилей в 2022 году.

Методы вольтамперометрического анализа (ВА), включая метод инверсионной вольтамперометрии (ИВ) развивались в следующих направлениях: моделирование аналитического сигнала и разделение налагающихся пиков, разработка математических моделей многостадийных электродных процессов на различных электродах и при разных условиях полярографирования; изучение физико-химических закономерностей поведения аналита; оценка термодинамических и кинетических констант анодных и катодных стадий электродных процессов; оценка состава интерметаллических соединений, образующихся на электроде в процессе электроконцентрирования осадка; разработка новых способов и приемов концентрирования и определения органических и неорганических веществ методами ВА, а также улучшение оптимальных условий их определения, разработка сенсоров и создание автоматизированных компьютеризированных анализаторов для концентрирования и определения различных неорганических элементов и органических веществ методами ВА.

---

<sup>1</sup> Работа поддержана Государственным заданием «Наука» (база) № 20.0025.GZB.2020. Исследования и экспериментальные расчеты выполнены в рамках гранта Программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.

На базе этих исследований разработаны методики определения элементов, которые не имеют собственных пиков электроокисления в рабочей области графитового электрода (платина и родий).

Уделяется большое внимание вопросам теории и практики применения этого метода для определения платиновых металлов в минеральном сырье и продуктах его переработки, определения неорганических элементов и органических веществ в различных объектах.

Большой интерес при разработке методик количественного химического анализа работе школы уделяется совершенствованию способов пробоподготовки с целью их интенсификации. Разработаны новые алгоритмы подготовки проб природных и минеральных вод, рудах, платиновых концентратах и катализаторах при определении серебра, золота, платины, палладия и родия методами вольтамперометрии. Проведены исследования электрохимического поведения широкого круга металлов, неметаллов и органических веществ при электроокислении и электровосстановлении их на индикаторных электродах, подбор условий пробоподготовки и ВА-измерений позволили разработать и аттестовать более 60 методик количественного химического анализа в различных экологических объектах, пищевых продуктах, биообъектах, товарах народного потребления.

Коллективом впервые поставлена работа по повышению экспрессности и точности определения водорастворимых витаминов и антибиотиков методами ВА. В общем можно сказать, что разработан комплекс ИВ-методик, который позволил значительно улучшить контроль в технологии производства приборов микроэлектроники, пищевых продуктов, экологических объектов и др. Сочетание высокой чувствительности, экспрессности и селективности ВА-методик анализа различных объектов обусловило их широкое распространение и внедрение в практику заводских, научно-исследовательских и контролирующих лабораторий.

Одновременно с развитием методов ВА, лаборатория, благодаря своей уникальной структуре и принципам работы, а также в связи с созданием в эти годы новых технических университетов в Сибири, внесла существенный вклад в подготовку кадров высшей квалификации по химии. За 50 лет на её базе подготовлено через аспирантуру кафедры ФАХ ТПУ 112 кандидатов химических и технических наук. Восемь из них защитили докторские диссертации по развитию теории и практики методов ВА, две по развитию сенсорных и измерительных устройств. Исследования, проводимые в рамках работы Томской электрохимической школы, имеют большое практическое значение. Так в настоящее время вольтамперометрическими комплексами СТА и ТА оснащены очень многие лаборатории и центры санэпиднадзора, ветеринарии, Ростехрегулирования и др. Они имеются во всех городах России и многих странах ближнего зарубежья.



УДК 551.464.679

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИВОГО И КОСНОГО ВЕЩЕСТВА С  
РАДИОАКТИВНЫМИ И ХИМИЧЕСКИМИ КОМПОНЕНТАМИ  
МОРСКОЙ СРЕДЫ**

**Егоров В.Н.**

*ФИЦ ИнБЮМ РАН, Россия, 299011, г. Севастополь, просп. Нахимова 2;  
e-mail: [malakh2003@list.ru](mailto:malakh2003@list.ru)*

Доклад посвящен обсуждению биогеохимических взаимодействий в системе «живое-косное вещество – радиоактивные и химические загрязнители в морской среде». В нем рассмотрено влияние биотических и абиотических факторов на формирование радиоизотопного и химического состава морских вод. Показано влияние концентрирующей функции гидробионтов на создание геохимических барьеров, ответственных за кондиционирование состояния морских экосистем. Определена роль седиментационных процессов в биогеохимических циклах оборота и элиминации загрязняющих веществ.

Показано, что основные биогеохимические механизмы миграции химических элементов и их изотопных и неизотопных носителей в водной среде обусловлены их сорбционным и метаболическим изъятием из растворенного в воде состояния и связыванием с живым и косным веществом. За счет гравитационных процессов они вовлекаются в биогеохимические циклы, которые в отличие от гидродинамических воздействий, направленных только на перемешивание вод, приводят к формированию градиентных потоков их переноса по акваториям и к поступлению в геологические депо.

Определено, что совокупное влияние биотических и абиотических взаимодействий направлено на поддержание гомеостаза экосистем в соответствии с принципом отрицательной обратной связи Ле Шателье – Брауна. Механизмы отрицательной обратной связи продемонстрированы на клеточном, организменном, популяционном и экологическом уровнях исследований. Установлено, что пределы устойчивости экосистем, зависят от климатических изменений, степени антропогенного пресса, от темпов загрязнения вод, от сорбционной способности живого и косного вещества и от метаболической активности гидробионтов. Потоки биогеохимического самоочищения вод на границах устойчивости биогеоценозов отражают их ассимиляционную способность и экологическую емкость в отношении загрязняющих веществ.

Установлено, что реакция морских экосистем на негативные воздействия сводится к перестройке их гомеостаза с резистентного на компенсационный. Он реализуется, в основном, за счет уменьшения

размерных спектров гидробионтов, обладающих более высокими сорбционными характеристиками и трофической активностью. При компенсационном режиме гомеостаза минеральный обмен в биогеоценозах может изменяться с первого на нулевой порядок метаболических реакций, а их ассимиляционная способность и экологическая емкость исчерпываться, приводя к их полной деградации и гибели.

На основе обобщения закономерностей взаимодействия живого и косного вещества с радиоактивными и химическими компонентами морской среды получено подтверждение гипотезы академика В.И. Вернадского, что в процессе воспроизводства живого вещества воспроизводятся и условия его обитания.

Предложены биохимические критерии для реализации устойчивого развития морских акваторий по факторам загрязнения морской среды посредством регулирования баланса между потреблением ресурсов качества вод и их воспроизводством в результате природных биохимических процессов.

# **СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

УДК 543.422.3

## СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ ПРОТОЛИЗА АЗОКРАСИТЕЛЕЙ

**Хальзова С.А.<sup>1</sup>, Зяблов А.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МУП «Очистные сооружения» Борисоглебского городского округа,  
397166, г. Борисоглебск, Воронежская область, ул.Привольная, 2;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,  
394018, г. Воронеж; Университетская пл., 1; e-mail: [ahalzov@mail.ru](mailto:ahalzov@mail.ru)

Спектрофотометрически определены константы протолиза функциональных групп азокрасителей. Установлено, что при  $\text{pH} < 7$  происходит протонирование атома азота азогрупп красителей. В зависимости от  $\text{pH}$  азокрасители находятся в водном растворе в виде 1 – 4-х зарядных анионов.

The protolysis constants of the functional groups of azo dyes were determined spectrophotometrically. It was found that at  $\text{pH} < 7$ , the nitrogen atom of the azogroups of the dyes is protonated. Depending on the  $\text{pH}$ , azo dyes are found in an aqueous solution in the form of 1 – 4 charged anions.

Азокрасители широко применяются в пищевой промышленности, поэтому при определении содержания пищевых красителей в продуктах питания необходимо определить значения  $\text{pK}$  протолиза, которые используются в различных химических и биохимических исследованиях. В литературе отсутствуют данные по величинам констант протолиза многих синтетических азокрасителей, поэтому их определение является актуальной задачей. Азокрасители имеют азогруппы ( $-\text{N}=\text{N}-$ ), которые относятся к хромофорным функциональным группам, поэтому для определения  $\text{pK}$  протолиза можно использовать спектрофотометрический метод [1, 2].

Целью работы было определение констант протолиза функциональных групп азокрасителей спектрофотометрическим методом.

В работе использовали красители: тартразин E102, желтый «солнечный закат» E110, азорубин E122, амарант E123, понсо 4R E124. Для определения спектральных характеристик использовали спектрофотометр «ПЭ-5300В» (г. Санкт-Петербург). Спектрофотометрический анализ водных растворов красителя показал, что при  $\text{pH} < 7$  происходит протонирование атома азота азогрупп красителей E102, E110, E122, E123, E124, которое практически не влияет на хромофорные свойства светопоглощающих частиц [3, 4]. Ионизация, в результате которой усиливаются донорные свойства электронодонорных заместителей, приводит к смещению полосы поглощения в сторону более коротких волн (гипсохромный сдвиг). Азокрасители в слабощелочной

среде переходят в хинонгидразонную форму. В интервале рН 8,5 – 12 наблюдается переход одной ионной формы в другую. Так, в результате протолиза функциональных групп, молекула красителя E102 может существовать в четырех равновесных ионных формах, E110 – в трех ионных формах, а красители E123 и E124 – в двух ионных формах.

Экспериментально установлены значения  $\lambda_{\max}$  и коэффициент молярного поглощения ( $\epsilon$ ) синтетических красителей при разных условиях и математически рассчитаны константы протолиза азокрасителей: E102 (2,42; 4,42; 10,12), E110 (2,90; 10,60), E122 (3,88; 8,33), E123 (11,01), E124 (12,16). На основании полученных рК построены диаграммы распределения ионных форм красителей. В зависимости от рН азокрасители находятся в водном растворе в виде 1 – 4-х зарядных анионов ( $H_2R^-$ ;  $HR^{2-}$ ,  $R^{3-}$ ,  $R^{4-}$ ) [5].

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что спектрофотометрия является подходящим методом для определения констант протолиза функциональных групп синтетических красителей.

## Литература

1. Альберт А. Константы ионизации кислот и оснований. Москва: Химия, 1964.
2. Зяблов А.Н. Основы аналитической химии. Практикум. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2019.
3. Зяблов А.Н., Хальзова С.А., Селеменев В.Ф. Сорбция красных пищевых красителей полимерами с молекулярными отпечатками // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2017. Т. 60. № 7. С. 42-47.
4. Свердлова О.В. Электронные спектры в органической химии. Ленинград: Химия, 1985.
5. Хальзова С.А., Зяблов А.Н., Дуванова О.В., Селеменев В.Ф., Козлов А.Т. Сорбция синтетических красителей полимерами с молекулярными отпечатками // Сорбционные и хроматографические процессы. 2017. Т. 17. № 1. С. 156-160.

УДК 543.062

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕФАЗОЛИНА В МОЛОКЕ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕНСОРАМИ

**Шаповалова А.А., Зяблов А.Н.**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,  
394018, г. Воронеж; Университетская пл., 1; e-mail: [alex-n-z@yandex.ru](mailto:alex-n-z@yandex.ru),*

Для мониторинга за остаточными количествами цефазолина в молоке разработан способ с использованием пьезоэлектрического сенсора, модифицированного ПМО-цефазолин. Данный сенсор апробирован на модельных растворах и молоке. Диапазон измеряемых концентраций –  $0,1-0,1 \cdot 10^{-4}$  г/дм<sup>3</sup>, а предел обнаружения –  $1,0 \cdot 10^{-5}$  г/дм<sup>3</sup>.

To monitor the residual amounts of cefazolin in milk, a method was developed using a piezoelectric sensor modified with PМО-cefazolin. This sensor has been tested on model solutions and milk. Range of measured concentrations –  $0,1-0,1 \cdot 10^{-4}$  g/dm<sup>3</sup>, and the detection limit is  $1,0 \cdot 10^{-5}$  g/dm<sup>3</sup>.

Антибиотики широко применяются в медицине, в сельском хозяйстве, в пищевой промышленности. Они играют важную роль для лечения и профилактики широкого спектра заболеваний у человека и животных, для сохранности продуктов питания и кормов для животных [1; 2; 3]. В то же время они являются потенциально опасными для здоровья человека и состояния окружающей среды. Остаточные количества антибиотиков в молоке могут оказывать негативное влияние на здоровье человека и нарушать технологические процессы при производстве кисломолочных продуктов [4].

Для определения антибиотиков в продуктах питания широко используются хроматографические, спектральные, микробиологические и иммунологические методы анализа [1; 3]. В настоящее время актуальна разработка экспресс-методов анализа антибиотиков во внелабораторных условиях. Для решения этой проблемы могут применяться пьезоэлектрические сенсоры. Они могут использоваться в широких интервалах температур, обладают высокой чувствительностью и быстрой реакцией. Для повышения селективности этих сенсоров поверхность их электродов необходимо модифицировать полимерами с молекулярными отпечатками [5].

Цель данной работы – синтез полимеров с молекулярными отпечатками цефалоспоринового антибиотика – цефазолина для модификации пьезоэлектрических сенсоров, и использование этих сенсоров для обнаружения остаточных количеств цефазолина в молоке. Одной из главных задач синтеза сенсоров с ПМО является выбор

распознающего материала, функционирующего в широком диапазоне концентраций.

В качестве объекта исследования выбран цефалоспориновый антибиотик первого поколения – цефазолин, широко применяемый в сельском хозяйстве и ветеринарии. Синтез ПМО проводили на основе сополимера 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты и 4,4'-диаминодифенилоксида производства ОАО МИПП НПО «Пластик», г. Москва. На его основе был получен сенсор ПМО-цефазолин. Для определения антибиотиков использовалась оригинальная установка, разработанная на кафедре аналитической химии Воронежского государственного университета [5].

В ходе работы установлено, что диапазон определяемых концентраций цефазолина в модельных растворах и в молоке на данном сенсоре составляет  $0,1-0,1 \cdot 10^{-4}$  г/дм<sup>3</sup>, а предел обнаружения –  $1,0 \cdot 10^{-5}$  г/дм<sup>3</sup>. Данные концентрации были подтверждены методом спектрофотометрии. При определении цефазолина в молоке промышленного и фермерского производства данный антибиотик обнаружен не был.

Таким образом, разработанные пьезоэлектрические сенсоры с отпечатком цефазолина могут успешно применяться для мониторинга остаточных количеств антибиотика в пищевых продуктах.

## Литература

1. Кулапина Е.Г., Баринаова О.В., Кулапина О.И. [и др.]. Современные методы определения антибиотиков в биологических и лекарственных средах // Антибиотики и химиотерапия. 2009. Т. 54, № 9-10. С. 53-60.
2. Папуниди Э.К., Выштакалюк А.Б. Изыскание альтернативных путей замены кормовых антибиотиков биологически активными добавками природного происхождения в рамках концепции органического сельского хозяйства // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2020. №22. С. 426-429.
3. Безъязычная А.А. Разработка методик анализа некоторых цефалоспоринов в традиционных и иммобилизованных формах и биологических объектах. Дис. канд. фарм. наук. Курск: ФГБУ ВО КГМУ, 2019.
4. Малинина З.Ю., Макеева И.А. Методы определения стрептомицина и левомицетина в молоке и молочных продуктах // Молочная промышленность. 2011. № 11. С. 42-43.
5. Зяблов А.Н., Говорухин С.И., Дуванова О.В. [и др.] Проточно-инжекционное определение валина пьезокварцевым сенсором, модифицированным полимером с молекулярными отпечатками // Аналитика и контроль. 2014. Т. 18, № 4. С. 438-441.

УДК 543.68

**ВНЕЛАБОРАТОРНЫЙ ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ  
КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТОВ****Рудаков Я.О., Хорохордин А.М., Рудаков О.Б., Садыков С.О.**

*Воронежский государственный технический университет, Россия 394006,  
г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д.84; e-mail: [robi57@mail.ru](mailto:robi57@mail.ru)*

Показана эффективность применения смартфонов для контроля содержания минеральных добавок, пигментов и устойчивости цвета портландцемента после предварительной тепловлажностной обработки и облучения ультрафиолетовой лампой. Для этих целей использовали цифровую цветометрию в цветовой системе RGB/ Смартфоны применимы для цветометрического контроля во внелабораторных (полевых) условиях.

The effectiveness of using smartphones to control the content of mineral additives, pigments and color stability of Portland cement after preliminary heat and moisture treatment and irradiation with an ultraviolet lamp is shown. For these purposes, we used digital colorimetry in the RGB color system. Smartphones are applicable for colorimetric control in out-of-laboratory (field) conditions.

В производстве цемента широко применяют различные минеральные добавки, а для обеспечения эстетических дизайнерских решений – окрашенные в различные цвета стройматериалы, например, цветные цементы. В СМИ обсуждается наличие масштабной фальсификации и контрафактной реализации цемента, в связи с этим злободневной является задача экспрессного определения подлинности его марки и выявления грубой фальсификации. Контрафактный цемент с большим содержанием неактивного минерального материала (мел, зола, шлак, известь и т.п.) не обладает стандартными характеристиками связующего, что приводит к тому, что бетон из него не достигает проектной прочности и долговечности, строительные конструкции из такого бетона могут разрушиться под техническими нагрузками. Дешевые органические пигменты, добавленные в цемент под действием света, тепла и влаги в бетоне также нестойки. Цифровая цветометрия (ЦЦМ) с использованием мобильных цветорегистрирующих устройств – смартфонов, стала перспективным тест-методом оперативного контроля качества строительной продукции, в том числе цемента, заменив собой визуальное сравнение с цветом эталона. ЦЦМ позволяет исключить субъективность оценки оператором, не требует от него высокой квалификации, возможен как качественный тест-анализ, так и количественный анализ содержания в цементе различных добавок [1-3].



Применение ЦЦМ экономит время и средства, необходимые для проведения анализа, отличается оперативностью получения, обработки и передачи информации, при этом отсутствуют проблемы, связанные с хранением и транспортировкой проб. Метрологическую обработку результатов измерений с помощью смартфона можно выполнять либо с применением облачных технологий, либо передавать первичные результаты по мобильному интернету в лабораторию. Из цветовых систем наиболее часто применяют систему *RGB*. Три базовых цвета – красный, зеленый и синий, в ней принимают значения в диапазоне 0÷255, что позволяет описать количественно до 16 млн цветов и оттенков. Цветовая система *RGB* аппаратно-зависима, но удобна для восприятия, благодаря сходству с человеческим зрением, и представлена во всем компьютерном софте по обработке цифровых изображений. Одной из проблем применения ЦЦМ во внелабораторных условиях являются разные условия съемки. Чтобы нивелировать систематические погрешности, обусловленные аппаратной зависимостью системы *RGB*, нами предложено использовать не абсолютные, а относительные интенсивности цветовых компонент  $F'_i$  при фоторегистрации проб  $F'_i = F_i / F_{i,e}$ , где  $F_{i,e}$  – интенсивности каналов цветности образца сравнения ( $\text{BaSO}_4$ ), полученные параллельно с  $F_i$  анализируемого образца. Как правило, градуировочные функции имеют линейный вид  $F'_i = a + bW$ , где  $W$  – массовая доля добавки, смесей цемента с пигментами чаще всего имеют вид полулогарифмических анаморфоз  $F'_i = a - b \ln W$ . Коэффициент детерминации для  $R^2 \geq 0.92$ . Погрешности определения типичные для оптических методов.

В ходе исследований получены цветометрические характеристики в цветовой системе *RGB* портландцемента, извести, мела, золы уноса, шлака, двойных и тройных смесей портландцемента с минеральными добавками, доля которых в системах варьировалась от 5 до 30 %. Показано, что только содержание шлака сложно контролировать из-за близких с портландцементом параметров цвета. Еще более надежным является контроль цвета и его устойчивости в бетонах после тепловлажностного воздействия и ультрафиолетового облучения. Были исследованы цветные цементы с 4 неорганическими и 3 органическими пигментами.

### Литература

1. Черноусова О.В., Рудаков О.Б. Цифровые изображения в аналитической химии для количественного и качественного анализа // Химия, физика и механика материалов. 2019. №2. С.55-125.
2. Черноусова О.В., Рудаков О.Б., Садыков С.О. Контроль содержания пигментов в цветных цементах с помощью мобильных устройств // Строительные материалы, 2020, №9. С. 21–26
3. Рудаков О.Б., Черноусова О.В., Черепихина Р.Г., Рудаков Я.О. Цветометрическое определение минеральных примесей в цементах мобильными устройствами // Аналитика и контроль, 2020, №2. С. 114-123.

УДК 543.68

**ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА  
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ****Селеменев В.Ф.<sup>1</sup>, Рудакова Л.В.<sup>2</sup>, Рудаков Я.О.<sup>3</sup>, Рудаков О.Б.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Воронежский государственный университет, Россия 394036, г. Воронеж,  
Университетская пл., 1*

<sup>2</sup>*Воронежский государственный медицинский университет, Россия 394036 г.  
Воронеж, ул. Студенческая д. 10*

<sup>3</sup>*Воронежский государственный технический университет, Россия 394006, г.  
Воронеж, ул. 20-летия Октября, д.84; e-mail: [robi57@mail.ru](mailto:robi57@mail.ru)*

В статье рассмотрены возможности применения цифровой цветометрии с применением мобильных цветорегистрирующих устройств – смартфонов в контроле качества пищевой продукции, лекарственных средств, состояния биологических сред. Цифровые цветометрические методики отличаются оперативностью, низкой стоимостью единичного анализа. Показана возможность применения смартфонов во внелабораторных условиях.

The article discusses the possibilities of using digital colorimetry with the use of mobile color-registering devices - smartphones in quality control of food products, medicines, and the state of biological media. Digital colorimetric techniques are distinguished by their efficiency and low cost of a single analysis. The possibility of using smartphones in out-of-laboratory conditions is shown.

В фармацевтической и пищевой промышленности в последние 15 лет цифровая цветометрия (ЦЦМ) получила признание и дальнейшее развитие. Наряду с цифровыми фотокамерами и планшетными сканерами стали использовать мобильные цветорегистрирующие устройства, а именно смартфоны [1,2]. Применение ЦЦМ для определения параметров цветности продукции, например, цветного числа растительных масел, или содержания натуральных красителей в экстрактах из растительного сырья, или их концентрации в окрашенных ими продуктах с применением смартфонов позволяет быстро оценить характерный цвет образца, обнаружить, идентифицировать и даже определить содержание анализируемых поглощающих в видимой части спектра веществ в пробе с использованием простых приспособлений и методик пробоподготовки, а также алгоритмов расчета результатов анализа на доступном программном обеспечении. Причем выполнение анализа можно реализовать во внелабораторных условиях. По своей сути смартфон – это миникомпьютер с большими возможностями, снабженный цифровой фотокамерой. В лабораторных условиях можно провести хромофорную реакцию на искомый компонент в лекарственном средстве или продукте, биологической жидкости – урине, крови, слезе. По изменению

интенсивности цветовых компонент качественно или количественно установить наличие аналита [3]. Важно обеспечить воспроизводимость условий регистрации видеосигнала. В целях стандартизации цифровой съемки, фотографирование необходимо проводить при фиксации смартфона на одинаковом расстоянии от лунок типового микропланшета *UniCell* (для твердых и непрозрачных проб), или кювет (для растворов) при одинаковом освещении. Так, цифровое изображение можно получать в боксе с искусственным освещением с креплением для смартфона [2]. Для идентификации образцов можно использовать не искусственные образцы сравнения, а заведомо подлинные продукты с характерными параметрами цветности. Градуировочные функции «параметр цветности – концентрация аналита» для его количественного определения с коэффициентами детерминации  $R^2 > 0.90$  нередко имеют линейный вид в диапазоне, более широком, чем в других оптических методах. Параметры цветности регистрировали с помощью смартфонов разных марок, для обработки цифровых изображений испытали несколько программ, совместимых с мобильными гаджетами: *RGB. Android 1.0.47*, *Pixel Picker 1.3.0.23*, *Color Grab 3.6.1* и др. Однофакторный анализ показал, что межприборные погрешности, воспроизводимость и сходимость результатов измерений не превышают нормированных значений для оптических методов анализа. Градуировочные функции «параметр цветности – концентрация цветного аналита» для его количественного определения зачастую с коэффициентами детерминации  $R^2 > 0.90$  имели линейный вид  $F'_i = a + bW$ , где  $W$  – массовая доля контролируемого компонента, %,  $a, b$  – эмпирические коэффициенты. Нелинейные зависимости в ряде измерений линеаризовались градуировочными функциями, которые имели вид полулогарифмических анаморфоз  $F'_i = a - b \ln W$ .

Таким образом, ЦЦМ с применением смартфонов является перспективным способом оперативного способа контроля качества фармацевтической и пищевой продукции в местах хранения, реализации на разных участках технологической линии производства продукции и в других внелабораторных условиях.

### **Литература**

1. Шульц Э.В., Моногарова О.В., Осолок К.В. Цифровая цветометрия: аналитические возможности и перспективы использования // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2019. Т. 60, № 2. С. 79-87.
2. Черноусова О.В., Рудаков О.Б. Цифровые изображения в аналитической химии для количественного и качественного анализа // Химия, физика и механика материалов. 2019. №2. С.55-125.
3. Рудакова Л.В., Россихина Е.Ю., Рудаков О.Б. и др. Усовершенствование экстракционно-инструментальных методик определения парацетамола с применением ВЭЖХ, ТСХ, фотоколориметрии и цифровой цветометрии // Сорбционные и хроматографические процессы, 2013, Т.13. №4. С. 482-491.

УДК 544.77.023.55

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО ЧИСЛА АГРЕГАЦИИ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ПО ДАННЫМ ДИНАМИЧЕСКОГО СВЕТОРАССЕЯНИЯ<sup>1</sup>

**Бучельников А.С.<sup>1</sup>, Евстигнеев М.П.<sup>1</sup>, Бондарь В.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Севастопольский государственный университет,  
Россия 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д.33;

<sup>2</sup> Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН,  
Россия 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр. 50;  
e-mail: [asbuchelnikov@sevsu.ru](mailto:asbuchelnikov@sevsu.ru)

В работе исследуется агрегация модифицированных детонационных нанодIAMAZOV в водном растворе. Проведен эксперимент по измерению гидродинамического размера частиц нанодIAMAZOV с использованием метода динамического светорассеяния. Полученное значение фрактального числа агрегации согласуется с известными литературными данными.

We investigated the aggregation of modified detonation nanodiamonds in aqueous colloid solution. The experiment was carried out to measure the hydrodynamic size of nanodiamond particles using the dynamic light scattering technique. The obtained value of the fractal aggregation number is consistent with the known literature data.

В последнее время нанодIAMAZOV детонационного синтеза привлекают внимание все большего числа исследователей и материаловедов. Объектом нашего исследования являлся водный коллоидный раствор модифицированных детонационных нанодIAMAZOV. Целью работы была количественная характеристика агрегации нанодIAMAZOV в растворе с помощью так называемого фрактального числа агрегации.

Для достижения этой цели был использован метод фотонной корреляционной спектроскопии (измерение средневзвешенного диаметра методом динамического светорассеяния), при помощи которого был получен ряд распределений по размеру частиц для нескольких концентраций. Полученные экспериментальные данные обрабатывались с помощью вычислительного алгоритма, основанного на статистико-термодинамической модели агрегации, также выведенной в рамках настоящей работы.

Результатом обработки явилось значение фрактального числа, равное  $1,99 \pm 0,11$ , что близко к известным из литературы значениям, однако существенно меньше 3. Это указывает на нерегулярную внутреннюю структуру кластеров нанодIAMAZOV либо их нешаровидную форму.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № FEFM-2020-0003.

УДК 543.552

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ КРАСИТЕЛЯ  
АЛИЗАРИНА КРАСНОГО S НА МОДИФИЦИРОВАННОМ  
ЭЛЕКТРОДЕ<sup>1</sup>**

**Липских О.И.<sup>1</sup>, Короткова Е.И.<sup>1</sup>, Петришина И.В.<sup>1</sup>, Павленко М.<sup>1</sup>,  
Воронова О.А.<sup>1</sup>, Дорожко Е.В.<sup>1</sup>, Липских М.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина 30*

<sup>2</sup> *ООО «НИОСТ», 634067 г. Томск Кузовлевский тракт 2 стр. 270;  
e-mail: [lipskih-olga@yandex.ru](mailto:lipskih-olga@yandex.ru)*

Работа посвящена исследованию закономерностей электроокисления красителя Ализарина Красного S методом вольтамперометрии. Показано, что модификация поверхности электрода углеродной пастой позволяет увеличить чувствительность определения. Методика может быть использована для определения красителя в сточных водах и природных объектах.

The work is devoted to the investigation of Alizarin Red S electro oxidation by voltammetry. It was shown that the modification of electrode surface by carbon paste make it possible to increase the LOD. The technique can be used for the dye determination in wastewater and natural objects.

Развитие индустрии синтетических красителей привело к увеличению количества окрашенных сточных вод. Это является причиной нарушения оксигенации водоёмов, блокировки солнечного света, нарушая тем самым биологическую активность водных организмов [1].

Ализариновый красный S ( $C_{14}H_7NaO_7S$ ) – водорастворимый и широко используемый антрахиноновый краситель, который принадлежит к группе наиболее стойких загрязнителей. Для мониторинга загрязнения красителями водных объектов окружающей среды существует немало методов. Электрохимические методы анализа занимают особое место благодаря своей доступности, экспрессности и возможности миниатюризации, что особенно важно при проведении анализа в полевых условиях [2].

В работе предлагается применение метода вольтамперометрии для определения Ализарина Красного S в модельных средах. В качестве рабочего электрода используется углеродсодержащий электрод с обновляемой поверхностью. Хлоридсеребряные электроды используются в качестве вспомогательного и электрода сравнения.

---

<sup>1</sup> Работа выведена при финансовой поддержке РФФИ и ЧНФ в рамках научного проекта № 19-53-26001

Съёмку вольтамперограмм проводят в буферном растворе Бриттона-Робинсона рН 2,0 в диапазоне потенциалов от 0 до 1,5 В. Для модификации электродной поверхности применяется углеродная паста, состоящая из графитового порошка и полистирола в соотношении 9:1 с добавлением 1,2-дихлорэтана в качестве растворителя.

Полученные циклические вольтамперограммы показали, что Ализариновый Красный S проявляет электрохимическую активность только в анодной области потенциалов, соответствующей окислению молекулы красителя. При этом на немодифицированном углеродсодержащем электроде сигнал выражен очень слабо. После модификации поверхности электрода происходит увеличение интенсивности сигнала электроокисления в 5 раз (Рис. 1).

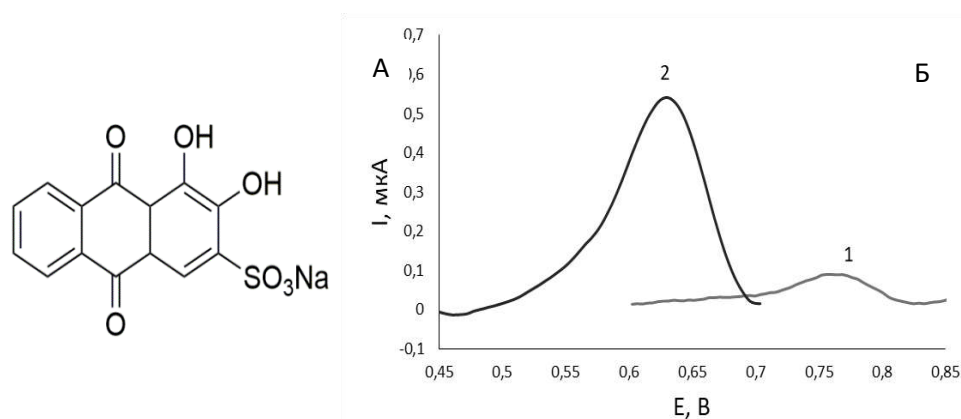


Рис. 1. А: Структурная формула красителя Ализарина Красного S; Б: Анодные вольтамперограммы Ализарина Красного S на немодифицированном (1) и модифицированном углеродной пастой электроде (2);  $C_{\text{красит}}=1 \mu\text{M}$ , буфер БР рН 2,0,  $w=80 \text{ мВ/с}$ .

При этом потенциал электроокисления изменяется от 0,77 до 0,63В после модификации, указывая на облегчение процесса окисления. Кроме того, детальное изучение механизма электроокисления красителя в модельных средах позволит предположить механизмы окисления красителя в природных объектах и сточных водах.

## Литература

1. *Ali N. et al.* Organically modified micron-sized vermiculite and silica for efficient removal of Alizarin Red S dye pollutant from aqueous solution // *Environmental Technology & Innovation*. 2020. V. 19. P. 101001.
2. *Brainina K.Z., Malakhova N.A., Stojko N.Y.* Stripping voltammetry in environmental and food analysis // *Fresenius' journal of analytical chemistry*. 2000. V. 368. No. 4. Pp. 307-325.

УДК 543.544.6::543.38

**ИОННАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ С ОНЛАЙН  
КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ В АНАЛИЗЕ БИСФЕНОЛА-А****Ананьева Г.С., Вагапова Р.С., Назипов М.Р.**

*ПАО «Казаньоргсинтез», Россия, 420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101;  
e-mail: [Marat\\_Nazipov@kos.ru](mailto:Marat_Nazipov@kos.ru)*

Найден способ отдельного измерения следовых количеств неорганических анионов при совместном присутствии в водном экстракте из Бисфенола-А методом ионной хроматографии с «онлайн» концентрированием.

Alternative variant of separate measurement of inorganic ions on trace level in aqueous solution from Bisphenol-A using ion chromatography with «on-line»-concentration is finding.

На сегодняшний день в ПАО «Казаньоргсинтез» производят большой ассортимент полимерной продукции и продукции органического синтеза. Одним из производимых продуктов является Бисфенол-А (БФА). По плану аналитического контроля, в каждой партии БФА необходимо контролировать кислые примеси – фториды, хлориды, бромиды, нитраты и сульфаты в водном экстракте из пробы БФА, их содержание регламентируется на уровне  $10 \div 30$  мкг/дм<sup>3</sup>; их присутствие может повлиять на качество синтезируемого поликарбоната.

Напрямую, задача не может быть решена методом ионной хроматографии (ИХ) с подавлением фоновой электропроводности элюента – метод обладает неплохой селективностью, однако, при прямом вводе анализируемой пробы в хроматограф предел обнаружения для указанных компонентов составляет 100 мкг/дм<sup>3</sup>. Для увеличения чувствительности можно воспользоваться предварительным концентрированием «кислотных компонентов» на концентрирующем патроне, однако это дополнительные материальные и временные затраты.

Для решения задачи было предложено воспользоваться «онлайн» концентрированием на концентрирующей колонке, установленной в кран-дозатор ионного хроматографа Metrohm 761 Compact IC вместо петли ввода пробы. Сорбент концентрирующей колонки должен быть той же марки, что и сорбент аналитической колонки (анионообменник малой емкости). С помощью шприца объем пробы 10 см<sup>3</sup> наносится на концентрирующую колонку, который при переводе крана дозатора в положение «Inject» переносится на аналитическую колонку. Предел обнаружения вышеуказанных анионов –  $(10 \div 30)$  мкг/дм<sup>3</sup>; время анализа 45 минут.

УДК 541.12

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АДСОРБЦИИ ЭНАНТИОМЕРОВ ГИСТИДИНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ В РАМКАХ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ АДСОРБЦИИ

Бутырская Е.В., Ле Д.Т.

ВГУ, Россия 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1;  
e-mail: [bev5105@yandex.ru](mailto:bev5105@yandex.ru), тел.: +7 (906) 581 75 93

Способность селективно адсорбировать энантиомеры сделала углеродные нанотрубки (УНТ) потенциальным объектом исследования в области фармацевтической химии. В настоящей работе предложена интерпретация адсорбции энантиомеров гистидина на углеродных нанотрубках из водного раствора на основе модели кластерной адсорбции.

The ability to selectively adsorb enantiomers has made CNTs a potential object of research in the field of pharmaceutical chemistry. In this thesis, we proposed an interpretation of the adsorption of histidine enantiomers on carbon nanotubes from an aqueous solution based on the cluster adsorption model.

Модель кластерной адсорбции разработана в работе [1] и описывает равновесную адсорбцию мономеров сорбтива внешнего раствора (А) с формированием на поверхности сорбента S кластеров различных размерностей в соответствии с уравнением  $S + nA = SA_n$ . Уравнение изотермы кластерной адсорбции имеет вид [1]:

$$q = q_m \frac{K_1 C_e + \frac{2}{m_2} K_2 C_e^2 + \dots + \frac{i}{m_i} K_i C_e^i + \dots + \frac{n}{m_n} K_n C_e^n}{1 + K_1 C_e + K_2 C_e^2 + \dots + K_i C_e^i + \dots + K_n C_e^n} \quad (1)$$

где  $q_m$  - емкость монослоя  $C_e$  - равновесная концентрация,  $K_i$  коэффициенты равновесия процессов  $S + nA = SA_n$ ,  $i=1,2,\dots,n$  - число мономеров гистидина в сорбированных кластерах, а  $m_i$  - число мономеров в первом слое кластера размерности  $i$ .

Экспериментальные изотермы адсорбции энантиомеров гистидина на УНТ представлены точками на рис.1 и 2. Метод наименьших квадратов для описания экспериментальных изотерм уравнением (1) приводит к следующим уравнениям изотерм адсорбции L- и D-гистидина на УНТ:

$$q = q_m \frac{K_1 C_e + \frac{13}{12} K_{13} C_e^{13}}{1 + K_1 C_e + K_n C_e^{13}} = q_1 + q_{13}, \quad R^2 = 0.999, \quad \text{L-гистидин}, \quad (2)$$

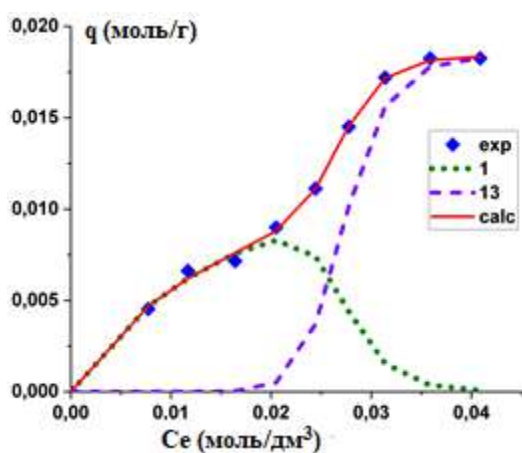
$$q_m = 1.70 \cdot 10^{-2} \text{ моль/г}; \quad K_1 = 49.29 \text{ (моль/дм}^3\text{)}^{-1}; \quad K_{13} = 5.03 \cdot 10^{20} \text{ (моль/дм}^3\text{)}^{-13}.$$

$$q = q_m \frac{K_1 C_e + K_9 C_e^9}{1 + K_1 C_e + K_9 C_e^9}, \quad R^2 = 0.996, \quad \text{D-гистидин}, \quad (3)$$

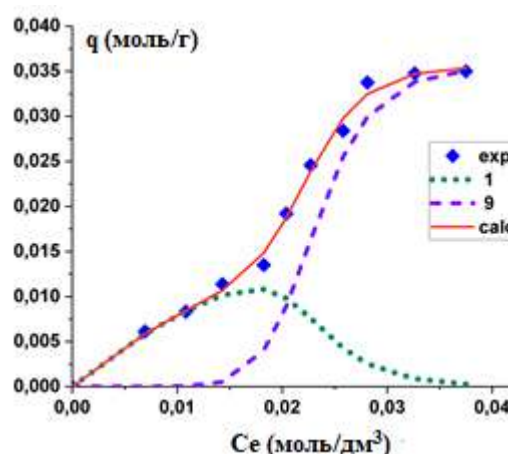
$$q_m = 3.56 \cdot 10^{-2} \text{ моль/г}; \quad K_1 = 28.46 \text{ (моль/дм}^3\text{)}^{-1}; \quad K_9 = 8.62 \cdot 10^{14} \text{ (моль/дм}^3\text{)}^{-9}.$$



Согласно физико-химическому смыслу параметров уравнения (1) степень, в которую возводится концентрация в уравнении изотермы означает число мономеров в сорбированном кластере. Таким образом, L-гистидин сорбируется на поверхности УНТ преимущественно в форме мономеров и кластеров размерности 13 (в первом слое данных кластеров содержится 12 мономеров, поскольку  $\frac{n}{m_n} = \frac{13}{12}$ ). D-гистидин сорбируется в основном в виде мономеров и кластеров размерности 9 (все 9 мономеров находятся в первом слое, поскольку  $\frac{n}{m_n} = \frac{9}{9} = 1$ ).



**Рис.1.** Экспериментальная (точки) и рассчитанная по уравнению (2) (сплошная линия) изотермы адсорбции L-гистидина на УНТ MKN-SWCNT-S1 из водного раствора: точечная и пунктирная кривые - вклады в адсорбцию мономеров и кластеров из 13 молекул L- гистидина, соответственно



**Рис.2.** Экспериментальная (точки) и рассчитанная по уравнению (3) (сплошная линия) изотермы адсорбции D-гистидина на УНТ MKN-SWCNT-S1 из водного раствора: точечная и пунктирная кривые - вклады в адсорбцию мономеров и кластеров из 9 молекул L- гистидина, соответственно

Экспериментальные изотермы изображены на рис. 1 и 2 точками, а теоретические (графики уравнений (2) и (3)) - сплошной кривой. Емкость монослоя нанотрубки  $q_m$  для L-гистидина (3) меньше, чем для D- изомера (2). Причиной этого различия является влияние аминокислот на диспергируемость УНТ в водных растворах. Несмотря на низкую диспергируемость УНТ в воде, данные наносорбенты образуют стабильные суспензии в водных растворах ряда аминокислот [2]. При этом, диспергируемость УНТ зависит от того, в водный раствор какой аминокислоты они добавлены. В работе также предложена интерпретация энергетической предпочтительности адсорбции в форме кластеров.

## Литература

1. Butyrskaya E.V., Zapryagaev S.A., Izmailova E.A. Cooperative model of the histidine and alanine adsorption on single-walled carbon nanotubes. Carbon.2019. V.143. P. 276-287.
2. Lingyu P., Quanrun L., Yongdan L. Interaction of Amino Acids and Single-Wall Carbon Nanotubes. J. Phys. Chem.2012. V. 116. № 2. P. 1724-1731.

УДК 628.315

**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА  
ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ПАО  
«КАЗАНЬОРГСИНТЕЗ»**

**Ананьева Г.С., Вагапова Р.С., Назипов М.Р.**

*ПАО «Казаньоргсинтез», 420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101;  
e-mail: [ananeva@kos.ru](mailto:ananeva@kos.ru)*

Использование современных физико-химических методов анализа для организации мониторинга объектов окружающей среды.

The use of modern physico-chemical analysis methods for organizing monitoring environmental objects.

ПАО «Казаньоргсинтез» является одним из базовых сегментов российской химической промышленности. Важнейшим приоритетом деятельности является эффективное функционирование системы экологического менеджмента и снижение экологических рисков за счет минимизации негативного воздействия на окружающую среду и проведение постоянного мониторинга воздушных выбросов и сточных вод.

Расширение состава контролируемых параметров, ужесточение требований к чувствительности и точности методов контроля обуславливает необходимость использования современных физико-химических методов анализа и разработки эффективных методик измерений.

Центральная лаборатория ПАО «Казаньоргсинтез» (ЦЛО) имеет современное приборное оснащение, позволяющее решать задачи экологического контроля – это газовая хроматография, хромато-масс спектрометрия и высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), спектральный анализ.

Задачи газовой хроматографии и хромато-масс спектрометрии в экологическом контроле – анализ летучих соединений, к которым относится большинство загрязняющих компонентов органического синтеза. Уникальной особенностью хроматографического метода является возможность идентификации и количественного определения компонентов смесей веществ. Особенно эффективным для эколого-аналитического мониторинга является использование капиллярной газовой хроматографии. Так, с использованием данного метода была решена задача контроля сточных вод производства фенола-ацетона на содержание

фенола, ацетона, изопропилбензола, ацетофенона, альфаметилстирола и других примесей на уровне 10 ppm.

Важнейшим преимуществом ВЭЖХ, по сравнению с газовой хроматографией, является возможность исследования термически нестойких молекул и высокомолекулярных соединений, обладающих пониженной летучестью, что в сочетании с высокой чувствительностью, эффективностью и селективностью делает метод одним из наиболее востребованных и перспективных. Еще одним преимуществом жидкостной хроматографии является возможность прямого анализа водных объектов (сточных и природных вод) с минимальной пробоподготовкой (только освобождение от нерастворимых примесей).

Для анализа неорганических анионов – фторидов, хлоридов, нитритов, нитратов, фосфатов, сульфатов в природных, хозяйственно-питьевых, технологических и сточных водах применяется ионная хроматография. Следовые количества фенола (0.5÷5) ppb в природных и питьевых водах измеряют обращено-фазовой распределительной хроматографией с вольт-амперометрическим детектированием. Метод распределительной ВЭЖХ со спектрофотометрическим детектированием позволяет контролировать содержание в воздухе рабочей зоны (после поглощения поглотительным раствором) и в сточных водах объединения содержание фенола и бисфенола-А. Еще одно применение ВЭЖХ – контроль формальдегида в воздухе рабочей зоны: для решения задачи применяется поглощение формальдегида специально подготовленным картриджем и перевод его в стабильное состояние, пригодное для анализа методом ВЭЖХ.

Из спектральных методов анализа в экологическом контроле задействована Фурье ИК-спектроскопия для измерения содержания нефтепродуктов (углеводородов) в сточных, природных и питьевых водах; атомно-абсорбционная спектроскопия для анализа содержания металлов, таких как барий, селен, молибден, стронций, свинец, кадмий в питьевых, природных и сточных водах, анализа шламов, отложений с технологического оборудования. Метод позволяет быстро, селективно, с высокой точностью и чувствительностью определять содержание неорганических соединений на уровне ppb. Кроме того, методом Фурье-ИК спектроскопии в сочетании с приставкой однократного НПВО, можно идентифицировать источник сброса в сточные воды полимерных гранул (практически без пробоподготовки, достаточно одной гранулы) – полиэтилен высокой, средней или низкой плотности, поликарбонат, сэвиплен.

УДК 628.315

**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА  
ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ  
ХИМЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВА  
ЭТИЛЕНА-ПРОПИЛЕНА**

**Ананьева Г.С., Вагапова Р.С., Назипов М.Р.**

*ПАО «Казаньоргсинтез», 420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101;  
e-mail: [vagapova@kos.ru](mailto:vagapova@kos.ru)*

Контроль показателей качества водных потоков производства этилена с использованием современных физико-химических методов анализа.

Monitoring the quality of water flows of ethylene production using modern physicochemical methods of analysis.

ПАО «Казаньоргсинтез» - одно из крупнейших предприятий химической отрасли. Являясь производителем продуктов органического синтеза и полимеров, процесс производства которых оказывает негативное воздействие на окружающую среду, ПАО «Казаньоргсинтез» проводит политику сокращения загрязнения окружающей среды за счет внедрения передовых технологий. Одним из основных источников образования загрязненных сточных вод является производство этилена-пропилена. Химзагрязненная вода образуется в процессе отмывки пирогаза от кокса и смол, при компримирования пирогаза, при отстаивании углеводородных конденсатов. В процессе переработки углеводородного сырья основной проблемой является присутствие углеводородной фазы в воде в диспергированном виде, то есть в виде эмульсии, что сильно затрудняет дальнейшую очистку химзагрязненной воды, приводит к возникновению таких проблем, как интенсивная коррозия, образование солевых отложений, полимерообразование на внутренних поверхностях оборудования. В результате снижается производительность технологического оборудования, ухудшается качество и увеличивается себестоимость продукции, возрастает удельный расход сырья и энергопотребление.

Для разделения воды, легких и тяжелых углеводородов, содержащихся в углеводородных конденсатах, может использоваться система механической очистки - фильтр коалесцер, или в сочетании с реагентной обработкой химзагрязненной воды.

В ПАО «Казаньоргсинтез» перед внедрением технологии реагентной обработки в производство проводится опытно-промышленная апробация и

экспериментальная проверка эффективности реагентов различных производителей. Были подобраны реагенты для стабилизации значения рН и уменьшения коррозионной активности среды в системе циркуляции водного контура, деэмульгаторы для снижения образования эмульсии, уменьшения полимернообразования в теплообменном оборудовании, контактных устройствах.

Эффективность применения реагентов оценивалась в процессе постоянного мониторинга качества химзагрязненной воды, отпаренных потоков, пара-разбавления по показателям: удельная электропроводность, рН, содержание железа, нефтепродуктов, взвешенных веществ, показатель общей окисляемости воды (ХПК).

Аналитический контроль осуществлялся с применением методов потенциометрии, ИК-спектроскопии, атомно-абсорбционной спектроскопии, кондуктометрии, классических аналитических методов. Для ускорения выполнения измерений показателя, характеризующего общую окисляемость воды, перспективным является определение общего органического углерода с использованием элементных анализаторов. Использование современных методов контроля ключевых показателей качества водных потоков позволило подобрать оптимальный режим и наиболее эффективные реагенты.

Применение реагентной обработки позволило сократить расход воды за счет повторного ее использования в виде пара-разбавления в печах пиролиза, привело к уменьшению коррозии оборудования, снижению образования эмульсии и тем самым к уменьшению попадания углеводородов в сточные воды.

УДК 544.732.2

## ОСОБЕННОСТИ АДСОРБЦИИ ГИДРАЗИНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТИРОВАННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ САЖИ

**Терентьев А.В., Варфоломеева В.В.**

<sup>1</sup> Самарский университет, Россия 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34;  
e-mail: [varf2@ssau.ru](mailto:varf2@ssau.ru)

Рассмотрена физическая адсорбция гидразина и его производных на поверхности графитированной термической сажи. С помощью газохроматографического эксперимента и квантово-химических расчётов показана роль водородных связей и неспецифических взаимодействий в удерживании исследуемых соединений.

The physical adsorption of hydrazine and its derivatives on the surface of graphitized thermal carbon black is considered. Using a gas chromatographic experiment and quantum-chemical calculations, the role of hydrogen bonds and nonspecific interactions in the retention of the compounds under study was shown.

Задачей настоящего исследования является изучение адсорбционных свойств гидразина и его производных на поверхности графитированной термической сажи (ГТС) с целью поиска новых более экологически безопасных процессов их разложения.

С помощью газохроматографического эксперимента были определены времена удерживания исследуемых соединений на ГТС марки Sterling MT при малых концентрациях в диапазоне температур 60–100 °С. Порядок выхода из колонки закономерное: соединения с большей молекулярной массой лучше удерживаются адсорбентом. Однако разница во временах удерживания гидразина и 1,1-диметилгидразина значительно меньше, чем для гомологов алифатических алканов, спиртов и аминов.

Квантово-химические расчёты методом B3LYP/aug-cc-pVDZ показали, что 1,1-диметилгидразин образует одну NH...π водородную связь с поверхностью ГТС, а гидразин и метилгидразин способны образовывать две NH...π водородные связи с адсорбентом. Энергия специфического взаимодействия частично компенсирует потерю дисперсионного взаимодействия при уменьшении числа CH<sub>3</sub>-групп. Для интерпретации наличия межмолекулярных водородных связей использовали критерии IUPAC и метод нековалентных взаимодействий NCI.

При адсорбции 1,1,4,4-тетраметилтетразена выгодны плоские конформеры без водородных связей с поверхностью ГТС, что создаёт предпосылки для хорошего удерживания за счёт неспецифических взаимодействий. Таким образом, вклад в удерживание производных гидразина вносят различные по природе силы.

УДК 544

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ГЕНОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ АДЕНОАССОЦИИРОВАННЫХ ВИРУСНЫХ ВЕКТОРОВ МЕТОДАМИ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ****Никитина Д.А.<sup>1,2</sup>, Кушакова А.С.<sup>2</sup>, Зенкевич И.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, Россия, 198504, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр., 26;

e-mail: [Daryanikitina@me.com](mailto:Daryanikitina@me.com)

<sup>2</sup> ЗАО БИОКАД, Россия, 198515, Санкт-Петербург, пос. Стрельна, ул. Связи, 34

Генная терапия – совокупность медицинских операций, основанная на внедрении нового генетического материала в клетки живого организма. В большинстве случаев в качестве способа целевой доставки генов применяют вирусные векторы, используя естественную способность вирусов внедрять и экспрессировать заданные геномы в клетках хозяина. Наиболее перспективными векторами являются рекомбинантные аденоассоциированные вирусы (рААВ), обладающие улучшенными характеристиками безопасности по сравнению с векторами, разработанными на основе ретровирусов, лентивирусов и др.

Использование вирусных векторов в клинической практике предъявляет особые требования к процессам очистки, производства и характеристики генотерапевтических препаратов. С ростом количества потенциальных лекарственных препаратов на основе ААВ-векторов, «доходящих» до стадии клинических испытаний, возникает потребность в разработке надежных методик анализа контроля их качества.

В процессе разработки первого российского генотерапевтического препарата для лечения спинальной мышечной атрофии – ANB-4 – создан ряд аналитических методик с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии.

При производстве препаратов типа рААВ, содержащих трансгены, часть вирусных частиц не может упаковать ДНК и остается пустой, либо не может полностью инкапсулировать ДНК, образуя капсиды, содержащие усеченные геномы. Поскольку подобные дефектные векторы не обладают терапевтическими эффектами, но потенциально могут вызвать нежелательные иммунные ответы, важно контролировать содержание пустых и заполненных капсидов. Использование принципов жидкостной хроматографии для решения данной задачи становится возможным за счет конформационных изменений белков капсида во время инкапсуляции

ДНК, что влечет за собой изменение общего поверхностного заряда капсида. Использование таких физико-химических различий в характеристиках пустых и заполненных капсидов позволяет проводить их ионообменное хроматографическое разделение. Нами разработана подобная методика, описание и хроматографические параметры которой приведены в Таблице 1.

**Таблица 1.** Основные характеристики методики ионообменного определения содержания пустых и заполненных капсидов

Хроматограф	Agilent 1100 (диодно-матричный детектор)
Колонка	TSK-gel G3000SWXL 7.8×300 мм, 5 мкм, 300 Å
Подвижная фаза	0.1M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> в 0,1M фосфатном буфере, pH = 6.7
Объём проб	30 мкл
Скорость потока	1 мл/мин
Температура колонки	35°C
Длины волн детектирования	260 нм, 280 нм
Режим элюирования	Изократический
Время анализа	15 мин

Кроме того, методы ВЭЖХ эффективны для контроля содержания посторонних примесей в генотерапевтических препаратах. Например, для очистки рААВ методом ультрацентрифугирования применяют среду с градиентом плотности, в роли которой чаще всего используют йодиксанол {5,5'[(2-гидрокси-1,3-пропандиил)бис(ацетилимино)бис(N,N'-бис(2,3-дигидроксипропил-2,4,6-триод-1,3-бензолдикарбоксамид)], C<sub>35</sub>H<sub>44</sub>I<sub>6</sub>N<sub>6</sub>O<sub>15</sub>, M = 1551.2. Нами разработана методика количественного определения остаточного содержания йодиксанола в генотерапевтических препаратах методом обращенно-фазовой ВЭЖХ, параметры которой приведены в Таблице 2.

**Таблица 2.** Основные характеристики методики ОФ ВЭЖХ определения остаточного содержания йодиксанола в генотерапевтическом препарате на основе ААV.

Хроматограф	Agilent 1260 Infinity (диодно-матричный детектор)
Колонка	ZORBAX SB-CN, 4.6×150 мм, 3.5 мкм
Подвижная фаза А	0.1% HCO <sub>2</sub> H / H <sub>2</sub> O
Подвижная фаза В	0.1% HCO <sub>2</sub> H / CH <sub>3</sub> CN
Объём проб	20 мкл
Скорость потока	1 мл/мин
Температура колонки	40°C
Длина волны детектирования	246 нм
Режим элюирования	Градиентный

Таким образом, методы жидкостной хроматографии, включающие обращенно-фазовую ВЭЖХ, ионообменную, эксклюзионную и хроматографию гидрофобных взаимодействий, эффективны при разработке и контроле качества генотерапевтических препаратов.



УДК 543.5:543.9

**ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
АНТИБИОТИКОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ<sup>1</sup>****Бизина Е.В., Фарафонова О.В., Ермолаева Т.Н.***ЛГТУ, 398055 Россия, г. Липецк, ул. Московская, стр. 30  
e-mail: [katarina.bizina1821@mail.ru](mailto:katarina.bizina1821@mail.ru)*

Разработаны пьезоэлектрические сенсоры на основе магнитных углеродных наноматериалов для определения в водных средах ряда антибиотиков. Показано, что применение пьезоэлектрических иммуносенсоров позволяет проводить определение пенициллина G и ципрофлоксацина на уровне МДУ и ниже. Диапазон определяемых содержаний и предел обнаружения пенициллина G составляет 5-380 нг/мл и 1,5 нг/мл, ципрофлоксацина - 5-400 нг/мл и 2 нг/мл соответственно.

Piezoelectric sensors based on magnetic carbon nanomaterials have been developed for the determination of a number of antibiotics in aqueous media. It has been shown that the use of piezoelectric immunosensors allows the determination of penicillin G and ciprofloxacin at the MRL level and below. The range of determined contents and the detection limit for penicillin G is 5-380 ng / ml and 1.5 ng / ml, for ciprofloxacin - 5-400 ng / ml and 2 ng / ml, respectively.

Пьезоэлектрические иммуносенсоры уже положительно зарекомендовали себя как чувствительные и селективные инструменты, позволяющие проводить определение остаточных концентраций антибиотиков в мясе, молоке, меде. Бесконтрольное применение препаратов привело к резкому увеличению антибиотикорезистентности микроорганизмов, поэтому в настоящее время ряд международных организаций (ВОЗ, ООН) признали антибиотики опасными загрязнителями окружающей среды [1]. Антибиотики попадают в природные объекты вместе со сточными водами фармацевтических и пищевых предприятия, отходами жизнедеятельности людей и животных, а также в результате их прямого применения в сельском хозяйстве. Интенсификация производства и увеличение объемов продукции аквакультуры приводят к загрязнению водной среды продуктами метаболизма рыб и остатками корма, содержащими антибиотики, и представляет собой растущую проблему, которой до сих пор не уделяется достаточно внимания [2]. Поэтому важнейшей задачей является разработка чувствительных, экспрессных и недорогих методов определения антибиотиков в объектах окружающей среды.

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта № 20-43-480001.

Ранее нами были разработаны пьезоэлектрические иммуносенсоры для определения в водных объектах окружающей среды ряда противомикробных препаратов (сульфометоксозола [3], хлорамфеникола [4], бэта-лактамов [5] и др.). Поскольку чувствительность пьезоэлектрического гравиметрического сенсора зависит от поверхностной концентрации и доступности «сайтов» распознавания, она может быть увеличена за счет применения углеродных наноматериалов. Были разработаны сенсоры с распознающим слоем на основе углеродных нанотрубок, способствующих увеличению чувствительности определения аминогликозидных антибиотиков, тетрациклинов, фторхинолонов [6]. Недостатком таких сенсоров является длительность формирования распознающего слоя, а также разрушение поверхности золотого электрода сенсора при замене распознающего слоя, что снижает срок службы сенсора.

Разработаны пьезоэлектрические иммуносенсоры для определения пенициллина G и ципрофлоксацина на основе магнитных углеродных нанокомпозитов (МУНК), позволяющих формировать распознающий слой под действием внешнего магнитного поля. Описаны условия синтеза МУНК путем иммобилизации на поверхности углеродных нанотрубок предварительно полученных наносфер  $Fe_3O_4$  или с помощью непосредственного синтеза частиц  $Fe_2O_3$  на внешней стенке углеродных наноструктур. Оценено влияние размера наночастиц и плотности их распределения на поверхности углеродных нанотрубок на массу и устойчивость распознающего слоя сенсора. В качестве распознающих молекул применялись белковые конъюгаты определяемых соединений. Определение антибиотиков проводилось в конкурентном формате иммуноанализа. Диапазон определяемых содержаний и предел обнаружения пенициллина G составляет 5-380 нг/мл и 1,5 нг/мл, ципрофлоксацина - 5-400 нг/мл и 2 нг/мл соответственно. Продолжительность анализа не превышает 15 мин. Разработанные сенсоры апробированы при определении антибиотиков в природной воде.

### Литература

1. Ананян А.С. // Национальная ассоциация ученых. 2021. Т. 1. № 66. С. 9-13.
2. Шульгина Л.В., Якуш Е.В., Шульгин Ю.П., Шендерюк В.В., Чукалова Н.Н., Бахолдина Л.П. // Известия ТИНРО. 2015. Т. 181. С. 216-230.
3. Мелихова Е.В., Калмыкова Е.Н., Еремин С.А., Ермолаева Т.Н. // Журнал аналитической химии. 2006. Т. 61. № 7. С. 744-750.
4. Karaseva N.A., Ermolaeva T.N. // Talanta. 2012. Vol. 93. P. 44-48.
5. Karaseva N.A., Ermolaeva T.N. // Talanta // 2014. Vol. 120. P. 312-317.
6. Шукшина Е.И., Фарафонова О.В., Шанин И.А., Гражулене С.С., Еремин С.А., Ермолаева Т.Н. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. Т. 18. № 3. С. 394-403.

УДК 543.544.33

**ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ  
СОЕДИНЕНИЙ НА НОВОМ УГЛЕРОДНОМ СОРБЕНТЕ НА  
ОСНОВЕ ГРАФЕНА МЕТОДОМ ТДС/ГХ/МС <sup>1</sup>****Маркова Е.С., Пирогов А.В., Садовникова А.А., Лагутин А.А.,  
Попик М.В., Шпигун О.А.**

*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Химический  
факультет, Ленинские горы, ГСП-1, 119991, Москва, Россия;  
e-mail: [kate.s.markova@yandex.ru](mailto:kate.s.markova@yandex.ru)*

В работе продемонстрирована возможность определения n-алканов (геохимических маркеров) с помощью нового монолитного материала методом ТДС/ГХ/МС на примере модельной смеси. Проведена оптимизация хроматографических и термодесорбционных условий анализа для увеличения чувствительности определения.

The possibility of determination of n-alkanes (geochemical markers) in model mixture by the TD-GC-MS method using the new monolithic material is shown. Optimization of chromatographic and thermal desorption conditions for analysis was carried out to increase the sensitivity of determination.

Материалы, которые могут использоваться в качестве сорбентов, весьма разнообразны. По составу и структуре выделяют органические (кора, торф, опилки, бумажная масса, т.д.), неорганические (вермикулит, пемза) и синтетические (полипропилен и другие полимеры) материалы [1]. Их также классифицируют по форме: рассыпные несвязанные сорбенты; заключенные в сетчатый материал; сплошные или монолитные; сорбенты в виде разрыхленных волокон, объединенных в форме петли или трала) [2]. Актуальной областью применения сорбентов является площадная геохимическая съемка с целью поиска новых нефтяных месторождений. Метод основан на регистрации углеводородов, поглощенных специальным материалом из объектов окружающей среды и последующим его анализом методом газовой хроматографии с масс-детектированием и термодесорбционным вводом пробы [3]. Для прогноза нефтегазоносности территории наиболее информативными являются летучие органические соединения в диапазоне C<sub>8</sub>–C<sub>20</sub> [4].

На кафедре химтехнологии МГУ имени М. В. Ломоносова разработан новый монолитный материал для преимущественной сорбции углеводородов на основе вспененного графита.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90073.

Целью настоящей работы является изучение закономерностей сорбции-десорбции летучих органических соединений этим сорбентом (на примере смеси *n*-алканов – потенциальных маркеров нефтяных месторождений).



Рис. 1. Внешний вид сорбента на основе графена.

Полученные данные позволят в дальнейшем разработать новые методики для площадной геохимической съемки.

В рамках данной работы проведен анализ модельной смеси *n*-алканов, содержащей соединения от октана до эйкозана с концентрацией каждого вещества 40 мкг/л. На хроматограммах наблюдается уменьшение интенсивности пиков алканов с увеличением их массы. Такое явление связано с необратимой сорбцией тяжелых углеводородов (начиная с тетрадекана) на исследуемом сорбенте. Для дальнейшей оптимизации хроматографических условий выбран наиболее интенсивный пик смеси, а именно – *n*-декана.

Проведен эксперимент с одновременным варьированием концентрации декана и величины деления потока (split). Значения подобраны таким образом, чтобы в колонку каждый раз поступало одно и тоже количество вещества. Однако, вместо одинаковых площадей пиков наблюдается увеличение интенсивности при переходе от 10 мкг/мл с делением потока 1:10 к 100 мкг/мл при делении потока 1:100.

Исследована зависимость площади пика от времени продувки и скорости продувочного газа (гелия) в процессе термодесорбции. В первом случае зависимость имеет максимум в точке  $t = 30$  мин, а во втором график функции возрастает на всем диапазоне значений, то есть максимальная площадь наблюдается при наибольшем значении скорости потока гелия (150 мл/мин). Реализовать значение скорости еще выше не представляется возможным технически на используемом приборе (GCMS-QP2010 Ultra с термодесорбером TD-20, Shimadzu, Япония).

## Литература

1. *Фонарева К.А.* Сорбция нефтепродуктов полиэтилентерефталатным волокном и его регенерация центробежным способом. Дис. ...канд. техн. наук. Ижевск: ИГТУ им. М.Т. Калашникова, 2017.
2. Применение сорбентов при ликвидации разливов нефти. Технический информационный документ 8 (ИТОРФ). 2012. 12 с.
3. *Алексеев А., Авдеев М., Удалова Т.* Оптимальная разведка // Сибирская нефть. 2019. Т. 1. № 158. С. 44.
4. *Бадикова А.Д., Рулло А.В., Аблеев Р.И., Бейгул Н.А., Парамонов Е.А., Алехина И.Е.* Сорбция углеводородных сорбатов, типичных для нефтяных месторождений, на поверхности полимерного адсорбента Tenax // Вестник Башкирского университета. 2018. Т. 23. № 4. С. 1074.

УДК 543.054

## ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В МАТРИЦЕ ВОЛОС ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С ФЛУОРИМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

**Крестьянникова Е.В.<sup>1,2</sup>, Ларина Н.С.<sup>1</sup>, Канюкова А.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО ТюмГУ, Россия 625003, г. Тюмень, Володарского, д.6;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО ТюмГМУ Минздрава России, Россия 625023, г. Тюмень, Одесская, д.54;

e-mail: [li3452@yandex.ru](mailto:li3452@yandex.ru)

Здоровье человека во многом зависит от состояния окружающей среды, оказывая прямое воздействие на его организм. Оценка этого влияния становится все более актуальной задачей, совершенствуются методы анализа опасных веществ и растет количество потенциальных загрязнителей, к которым относятся как неорганические (тяжелые металлы), так и органические вещества. Загрязняющие вещества попадают в организм человека через вдыхаемый воздух, питьевую воду, пищу. Для оценки этого воздействия следует проводить комплексный анализ природных объектов: воды, почвы, воздуха, растительного покрова и биосубстратов человека: биологических жидкостей, ногтей и волос. В данной работе описываются способы определения самого канцерогенного из ПАУ – бенз(а)пирена в матрице волос методом ВЭЖХ с целью связи здоровья и состояния окружающей среды.

Human health largely depends on the state of the environment, having a direct impact on his body. Assessment of this influence is becoming an increasingly urgent task, since methods of analysis of hazardous substances are being improved and the number of potential pollutants, which include both inorganic (heavy metals) and organic substances, is growing. Pollutants enter the human body through inhaled air, drinking water, food. To assess this impact, a comprehensive analysis of natural objects should be carried out: water, soil, air, vegetation and human biosubstrates: biological fluids, nails and hair. This paper describes methods for determining the most carcinogenic of PAHs, benzo (a) pyrene, in a hair matrix by HPLC in order to link health and the environment.

В последнее время вырос интерес к волосам как к матрице для проведения анализа. Из категории «альтернативных матриц» переходят в категорию «классических матриц» наравне с кровью и мочой [1]. Волосы имеют преимущества перед биожидкостями: с помощью них можно обнаруживать токсиканты в организме человека спустя недели, месяцы или даже годы. Химический состав волоса зависит от происхождения, возраста и пола человека. В химической структуре белков присутствует множество функциональных групп, обеспечивающих связывание белков с различными веществами [2]. Пептидные и аминокислотные группировки, дисульфидные и карбоксильные группы, а также ароматические и гетероциклические фрагменты образуют связи с инородными соединениями, что позволяет им внедриться в протеиновую матрицу [3]. Загрязняющие вещества попадают в волосы тремя путями: поступать из организма (эндогенные), из окружающей среды (экзогенные) или из пота и выделений жировых желез (псевдоэкзогенные). Несмотря на все преимущества данной матрицы, у неё есть и свои недостатки. Основной –

определяемые вещества находятся в следовых количествах, требуя методы с высокой чувствительностью, а также возникают проблемы с прободготовкой волос [3]. На данный момент отсутствует нормативно регламентированная официальная методика для работы с определением ПАУ в волосах, в отличие от определения неорганических токсикантов [4].

Бенз(а)пирен относится к группе полициклических ароматических углеводородов, образуется по большей мере в результате технической деятельности человека, почти всегда осаждается на частицах, содержащихся в воздухе. Бенз(а)пирен с передвигающимися массами воздуха разносится по большой площади, а затем выпадает вместе с твердыми частицами из воздуха, попадая в почвенные слои, водоемы, на поверхности зданий, после чего вновь может попасть в воздух при процессах испарениях. Такое легкое «включение» бенз(а)пирена в круговорот приводит к тому, что его содержание может быть высоким даже в местах, в которых отсутствует мощный источник бенз(а)пирена [5].

В организм человека ПАУ могут попадать через вдыхание воздуха, употребление воды и пищи, в которых есть ПАУ: обработка продуктов питания, включающая сушку и копчение, и приготовление еды при высоких температурах, курение сигарет, вдыхание дыма, а также при контакте ПАУ с кожей. Особенно подвержены воздействию ПАУ люди, чья работа связана с выхлопными газами, а также люди, работающие в горнодобывающей, нефтеперерабатывающей или металлургической промышленности. Механизм токсичности ПАУ заключается в том, что эти вещества нарушают функции клеточных мембран и ферментных систем, связанных с мембраной [6]. При попадании в организм человека ПАУ провоцируют развитие рака легких и кожи, сильно раздражают слизистые оболочки дыхательной системы, вызывая одышку, сухой кашель и даже астму. ПАУ могут влиять на репродуктивную систему человека. Существуют исследования, связывающие высокое пренатальное воздействие ПАУ со снижением IQ. Хроническое воздействия ПАУ на здоровье человека могут включать снижение иммунной функции, возникновение катаракты, повреждение почек и печени [7].

Ключевым этапом работы с биосубстратами является пробоподготовка, от качества ее выполнения будет напрямую зависеть результат анализа. Особенно при работе с такими низкоконцентрируемыми загрязнителями, как ПАУ. Стадия отбора волос и их первичной подготовки включает в себя очистку и измельчение. Промывание необходимо для удаления внешних загрязнений для удаления жировых и потовых выделений. Максимальное измельчение волос увеличивает дальнейшую эффективность извлечения определяемого вещества. В исследовании [8] указывается на риск пропустить наркотические вещества при анализе волос при использовании фрагментов волос, а не волос, растертых до порошкообразного состояния. Анализ проводился согласно методике [9]. Примерно 1 г волос срезался с концов, некоторые образцы были срезаны в затылочной области около кожи головы. Для очистки от жировых и потовых выделений использовался ацетон, в котором два раза промывался каждый образец. После чего образцы были промыты три раза дистиллированной водой, а затем высушены на открытом воздухе. После полного высыхания образцы волос были разрезаны на кусочки примерно по 2–3 мм. Далее происходило экстрагирование бенз(а)пирена из волос с помощью хлористого метилена в течение 40 минут. С дальнейшим

упариванием до объема 1-2 см<sup>3</sup> при температуре 30-40 °С, с добавлением 3-5 см<sup>3</sup> гексана и упаривание до объема менее 0,5 см<sup>3</sup> при температуре 40-50 °С. Последующее элюирование бенз(а)пирена на оксиде алюминия гексаном. Повторное упаривание полученного элюата в вакууме при 40-50 °С. Растворение сухих остатков в 2 см<sup>3</sup> подвижной фазы гексана. Измерение бенз(а)пирена в волосах производилось методом ВЭЖХ с флуориметрическим детектированием в двух параллелях на жидкостном хроматографе UltiMate 3000

**Обсуждение результатов.** В работе описан второй этап измерений с изменением исходной массы биосубстрата. Изначально по методике [9] требуется 0,5-1 г образца почвы. При такой массе в случае биосубстратов определения бенз(а)пирена оказалось невозможным. Все хроматограммы вышли ниже предела обнаружения. Для проведения анализа было отобрано других 8 образцов волос, масса навески была увеличена в 10 раз.

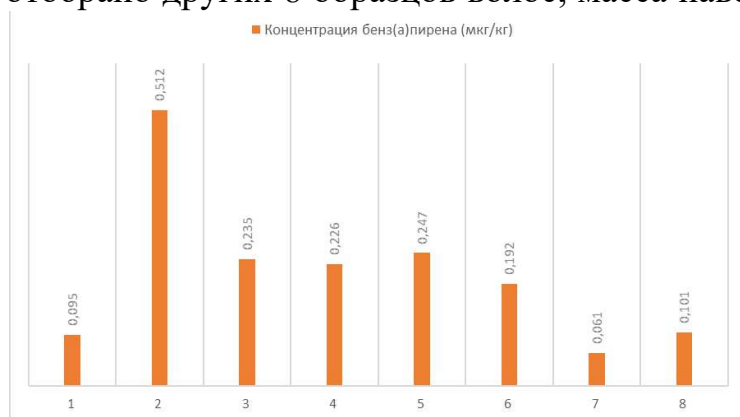


Рис. 1. Содержание бенз(а)пирена в образцах волос

По каждому добровольцу, сдавшему образцы волос, была собрана информация путем анкетирования, результаты определения содержания бенз(а)пирена в образцах волос приведены на рисунке 1. Полученные значения оказались сопоставимы с литературными

данными.

Больше всего бенз(а)пирена в образце №2. Он принадлежит самому старшему добровольцу, поэтому можно предположить, что с течением жизни бенз(а)пирен накапливается в организме, что отражается на химическом составе волос. У курящих добровольцев не было выявлено значимых увлечений по сравнению с некурящими. Однако здесь также трудно установить связи – из курящих добровольцев больше всего бенз(а)пирена было у добровольца №3, хотя курить этот человек начал недавно. А доброволец №8 курит не сигареты, а электронное устройство, поэтому можно предположить, что электронные устройства меньше влияют на содержание бенз(а)пирена в волосах, чем сигареты.

Место жительства является значимым фактором, т.к. с воздухом происходит экзогенное проникновение ПАУ в организм. Добровольцы №1,2,3, 6 всю жизнь проживали в Тюмени, а остальные добровольцы приехали из других городов около двух лет назад. В 2019 году средняя за год концентрация бенз(а)пирена в воздухе не превышала ПДК, но было зафиксировано превышение разовой концентрации, максимальное превышение составило 2,2 ПДК [10], более ранние данные, например за 2016 год, указывают на то, что максимальная концентрация бенз(а)пирена превысила ПДК в 2,4 раза, а в среднем за год не было превышения ПДК [11]. В Омске, откуда доброволец №5 в 2019 не наблюдалось превышения ПДК средней за год концентрации бенз(а)пирена, а максимальная из средних за месяц превысила ПДК в 3,6 раз [12]. В 2016 году также не наблюдалось превышения ПДК, максимальная из средних за месяц

превысила ПДК в 3,4 раза [13]. В Нижнем Тагиле в городе находившимся недалеко от города Качканар, откуда добровольец №4, в 2019 году концентрация бенз(а)пирена оценивалась как высокая [14]. В Новом Уренгое, откуда добровольец №8, в 2019 году не было зафиксировано превышения ПДК ароматических углеводородов, в 2017 году также не было зафиксировано превышения ПДК [15]. Можно сделать вывод, что состояние атмосферного воздуха оказывает достаточно сильное воздействие на концентрацию бенз(а)пирена, так как у добровольцев из городов, в которых были зафиксированы случаи превышения ПДК, содержание бенз(а)пирена выше (добровольцы №3, 4, 5). Однако у добровольцев № 1 и 6, которые, как и добровольец №3 из Тюмени, содержание бенз(а)пирена сравнительно небольшое.

**Заключение.** В ходе выполнения работы было определено содержание бенз(а)пирена в образцах волос человека методом ВЭЖХ с флуориметрическим детектированием. Установлена связь между возрастом добровольца и концентрацией бенз(а)пирена в его волосах, выявлена потенциальная зависимость между загрязнением атмосферного воздуха в месте жительства добровольца и содержанием бенз(а)пирена в его волосах.

#### **Литература**

1. Appenzellera B. M. R. u Tsatsakisb A. M. Hair analysis for biomonitoring of environmental and occupational exposure to organic pollutants: State of the art, critical review and future needs // *Toxicology Letters*, 2012 г. - 2: Т. 210. – с. 119-140.
2. Слустовская Ю. В. и Стрелова О. Ю. Волосы как объект химико-токсикологического анализа // *Токсикологический вестник*, 2015 г. - 5(134). - с. 13-20.
3. Маруценко И. В. Определение органических ксенобиотиков в волосах человека методом высокоэффективной тонкослойной хроматографии, 2004.
4. МУК 4.1.1482-03 «Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, поливитаминных препаратах с микроэлементами, в биологически активных добавках к пище и в сырье для их изготовления методом атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной аргоновой плазмой», 2003.
5. Сеитов М. С., Гречкина В. В. Состояние почвы и воды по содержанию бензапирена на территории Илекского района Оренбургской области // *Евразийский союз ученых*, 2014 г. - Т. 6-4 (6). - с. 145-146.
6. Sources, distribution, and health effect of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) – current knowledge and future directions / Vaneet Kumar [and other] // *Journal of the Chinese Advanced Materials Society*, 2016 г. 4: V. 4. – p. 302-321.
7. Hussein I. Abdel-Shafy, Mona S.M. Mansour. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation // *Egyptian Journal of Petroleum*, 2016 г. - 1: V. 25. - p. 107-123.
8. Hans P. Eser Lucia Pötsch, Gisela Skopp, Manfred R. Moeller Influence of sample preparation on analytical results: drug analysis [GC/MS] on hair snippets versus hair powder using various extraction methods // *Forensic Science International*. - 1997. - 1-3: V. 84. - p. 271-279.
9. МУК 4.1.1274-03 Методы контроля. Химические факторы. Измерение массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, донных отложений и твердых отходов методом ВЭЖХ с использованием флуориметрического детектора, 2003.
10. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2019 году, 2020. с. 211.
11. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2016 году, 2017. с. 243.
12. Доклад об экологической ситуации в Омской области в 2019 году, 2020. с. 302.
13. Доклад об экологической ситуации в Омской области в 2016 году, 2017. с. 318.
14. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2019 году", 2020. с. 347.
15. Доклад об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2019 году, 2020. с. 381.



УДК 613.5:546.296

**МОНИТОРИНГ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА В ДЕТСКИХ  
УЧРЕЖДЕНИЯХ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО РАДОНООПАСНОЙ  
ТЕРРИТОРИИ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ <sup>1</sup>****Кайгородов Е.И. <sup>1,2</sup>, Карл Л.Э. <sup>1,2</sup>, Губанова Ю.К. <sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Российский университет дружбы народов (РУДН),  
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6*

<sup>2</sup> *ФГУП «Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и  
гигиены» ФМБА России, 123182, г. Москва, ул. Щукинская, д. 40*

Провели мониторинг объёмной активности газа радона-222 в зданиях детских учреждений г. Пятигорск. Для проведения измерений использовали интегральный метод. Обследовали 33 детских сада, 24 школы, 1 колледж и 1 филиал ВУЗа. Рассчитали дозовые нагрузки на население.

The volumetric activity of radon-222 gas in the buildings of children's institutions in Pyatigorsk was monitored. The measurements were made using the integral method. Surveys were conducted in 33 kindergartens, 24 schools, 1 college, and 1 branch of a university. Dose burden on the population was calculated.

Наибольший вклад в суммарную годовую эффективную дозу облучения населения вносят природные источники ионизирующего излучения, основным из которых является газ радон ( $^{222}\text{Rn}$ ) и его дочерние продукты распада (ДПР).  $^{222}\text{Rn}$  поступает в здания, накапливается в помещениях и ингаляционным путем воздействует на человека, легкие являются критическим органом при облучении. Наиболее подверженным облучению  $^{222}\text{Rn}$  является детское население, для которого относительный риск значительно выше, чем для взрослых [1]. Поэтому важной и актуальной задачей является контроль объёмной активности радона ( $\text{OARn}$ ) в детских учреждениях [2]. Предварительные исследования в России выявили потенциально радоноопасные территории (Кавказ, Забайкалье, Алтайский край и др.), и там необходимо осуществлять постоянный контроль  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе [3], к таким объектам относится город Пятигорск.

**Целью настоящей работы** является мониторинг  $\text{OARn}$  в воздухе помещений детских образовательных учреждений г. Пятигорск Ставропольского края.

**Методы и материалы.** Для проведения мониторинга  $\text{OARn}$  использовали интегральный метод. Суть метода заключается в регистрации альфа-частиц  $^{222}\text{Rn}$  и его ДПР с помощью твердотельных трековых детекторов типа LR 115–2. Альфа-частицы, попадая на материал

---

<sup>1</sup> Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке ФМБА России, а также РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90291

детектора, оставляют на нём следы (треки). Для обнаружения треков детекторы подвергались химическому травлению, для подсчёта треков использовался автоматический искровой счетчик треков АИСТ-4. Для отбора проб воздуха детекторы помещались в пробоотборные камеры (экспозиметры) РЭИ-4 и экспонировались в помещениях зданий г. Пятигорск. Отбор проб проводился пассивно, на протяжении двух месяцев на каждый период.

**Результаты.** Отобрали пробы воздуха в детских учреждениях города Пятигорск. Провели 1190 измерений в 59 зданиях, из которых 33 детских сада, 24 школы, 1 колледж и 1 филиал ВУЗа. Статистическая обработка полученных результатов показала, что все значения СГ, СА и медианы меняются от 43 до 63 Бк/м<sup>3</sup> и не превышают 200 Бк/м<sup>3</sup>. Медиана составляет 53 Бк/м<sup>3</sup>, в этом случае индивидуальная среднегодовая эффективная доза облучения (СГЭД) населения в исследованных зданиях составляет 3,2 мЗв/год, которая не превышает установленное НРБ-99/2009 ограничение для населения в 5 мЗв/год. Границы доверительного интервала между тёплым и отопительным периодом пересекаются, следовательно различие ЭРОА<sub>Rn</sub> между периодами не имеет статистической значимости. В зданиях в 12% от всех помещений выявлено превышение ЭРОА<sub>Rn</sub>. Максимальное ЭРОА<sub>Rn</sub> зафиксировано в летний период и составило 4141 Бк/м<sup>3</sup>, которое в 20 раз выше 200 Бк/м<sup>3</sup>, СГЭД достигает 241 мЗв/год. А в отопительный период - 999 Бк/м<sup>3</sup>, которое в 5 раз выше, СГЭД 58 мЗв/год. Такие существенные превышения в помещениях выявились в двух зданиях, для нормализации обстановки в них разработан комплекс мероприятий, которые позволят урегулировать ситуацию.

**Выводы.** Мониторинг объемной активности радона в детских учреждениях на потенциально радоноопасной территории в Ставропольском крае показал, что ситуация в целом стабильная, но есть здания, которые нуждаются в реабилитации. Необходимо проводить мониторинг для выявления превышений.

### Литература

1. ICRP Publication 115. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon / ed. С.Н. Clement // Annals of the ICRP — 2010. — Vol. 40 (1). — 64 p.
2. Доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации [Электронный ресурс]/ Генеральная Ассамблея ООН.-Электрон. текстовые дан. -Нью-Йорк, 2016. – Режим доступа: <https://undocs.org/pdf?symbol=ru/A/71/46>. Дата обращения: 21.03.2021
3. Нормы и правила. Нормы радиационной безопасности: НРБ-99/2009: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07.07.2009 № 47: ввод в действие с 01.09.2009. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009, – 100 с.

УДК 544

## СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕЗО-МАКРОПОРИСТЫХ КРЕМНЕЗЕМОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМ ВЕЩЕСТВАМ<sup>1</sup>

Синяева Л.А.<sup>1</sup>, Карпов С.И.<sup>1</sup>, Беланова Н.А.<sup>1</sup>, Селеменев В.Ф.<sup>1</sup>,  
Roessner F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж;

<sup>2</sup>Industrial Chemistry 2, Carl von Ossietzky University, Oldenburg, Germany;

e-mail: [sinyaeva@vsu.ru](mailto:sinyaeva@vsu.ru)

Развитие теоретических основ сорбционных процессов является одним из актуальных направлений современной физической химии. Сорбционные методы активно используются при извлечении физиологически активных веществ (ФАВ) из растительного сырья, а также при анализе физиологических жидкостей, веществ широко используемых в производстве лекарств, функциональных продуктов, пищевых добавок и других областях.

Особого внимания заслуживают мезопористые материалы (ММ). Появление наноструктурированных ММ, одним из которых является синтетический кремнезем МСМ-41, положило начало широкому спектру исследований, связанных с получением материалов с удельной площадью поверхности ( $S_{уд}$ ) более 1000 м<sup>2</sup>/г и узким распределением пор по размеру (рис. 1) и изучением их свойств, в том числе и сорбционных.

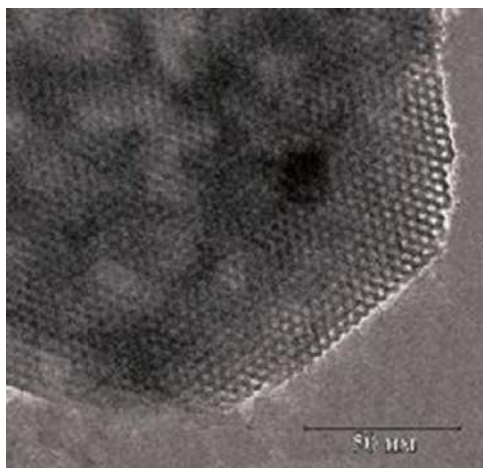


Рис. 1. Фотография силиката, обладающего структурой МСМ-41

Упорядоченность сорбентов с гексагональной структурой мезопор дает основания предполагать большую доступность сорбционных центров, в том числе для молекул ФАВ, т.е. улучшение кинетики сорбции по сравнению с неупорядоченными силикагелями и полимерными сорбентами. Для увеличения эффективности использования сорбентов особо перспективно получение материалов с каркасной ненабухающей структурой, размер полостей которых лежит в нанометровом диапазоне, обладающих

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2020-2022 годы, проект № FZGU-2020-0044.

представления о взаимосвязи структуры упорядоченных аналогов МСМ-41 и их сорбционных свойств недостаточно сформированы.

Целью работы являлось изучение сорбционных характеристик мезопористых наноструктурированных материалов для извлечения, концентрирования ФАВ и их хроматографического разделения в многокомпонентных смесях при экстракции из растительного сырья.

Узкое распределение пор по размеру и энергетическая однородность сорбционных центров наноструктурированного сорбента МСМ-41 и его аналогов обуславливают улучшение сорбционных свойств по сравнению с неструктурированными традиционными силикагелями. При сорбции ФАВ большая удельная площадь поверхности ММ (более  $1000 \text{ м}^2/\text{г}$ ) способствует многократному (в 3-15 раз) увеличению сорбционной емкости мезопористых аналогов МСМ-41 по сравнению с неупорядоченными кремнеземами и полимерными сорбентами. Гексагональная структура мезопор МСМ-41 обуславливает преимущества в кинетике сорбции ФАВ по сравнению с неупорядоченными кремнеземами (силикагелями). Упорядоченность кремнезема МСМ-41 способствует более быстрому установлению равновесия сорбции флавоноидов. Большая доступность поверхности мезопор упорядоченного мезопористого материала и более быстрый массоперенос ФАВ в сорбционной системе (рис. 2) при размере частиц сорбента  $d=0.10-0.25 \text{ м}$  характеризуется коэффициентами диффузии кверцетина в мезопорах МСМ-41 ( $10^{-7}-10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$ ) на 1-2 порядка более высокими по сравнению с полимерными ионообменниками и силикагелем ( $10^{-9}-10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$ ).

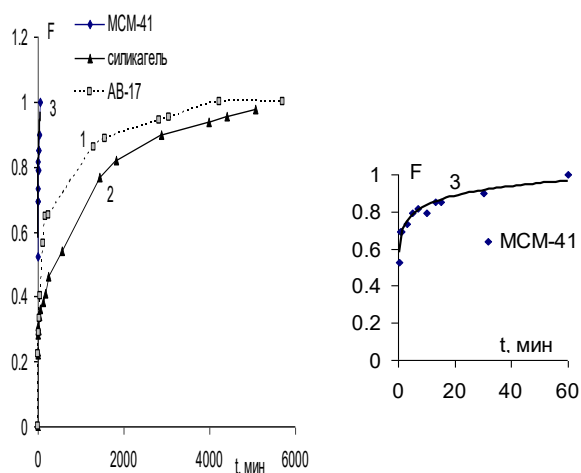


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции кверцетина анионитом АВ-17-8 (1), силикагелем (2), мезопористым материалом МСМ-41 (3);  $m=0.50 \text{ г}$ , фракция гранул сорбента с  $d=0.10-0.25 \text{ м}$

на новых наноконкомпозитах. Для упорядоченных кремнезёмов обоснован эффект существенного увеличения эффективности сорбционного концентрирования  $SE$  (от 3 до 10 раз) и эффективности хроматографии полифенольных веществ (более чем 100-кратный рост числа теоретических тарелок) по сравнению с неструктурированными силикагелями и полимерными ионообменниками.

Сорбционное равновесие в системе "упорядоченный материал – раствор ФАВ" устанавливается в течение нескольких минут (рис. 2, кривая 3).

Модификация матрицы кремнезема неионогенными органосиланами обеспечивает рост сорбционной емкости при подавлении конкурентной адсорбции растворителя и увеличение кинетических коэффициентов сорбции ФАВ.

Моделирование сорбции с учетом смешанно-диффузионного режима кинетики дает возможность оптимизировать динамическое сорбционное концентрирование ФАВ

УДК 543.544

**ОСОБЕННОСТИ СОРБЦИИ АЛКОКСИПРОИЗВОДНЫХ ХИНОЛИНА  
В УСЛОВИЯХ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ <sup>1</sup>****Рыжкин С.А., Финкельштейн Е.Е., Курбатова С.В.**

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.  
Королева 443011, г. Самара, у. Акад Павлова, 1;  
e-mail: [curbatsv@gmail.com](mailto:curbatsv@gmail.com)*

Исследована сорбция некоторых производных хинолина в условиях обращенно-фазового варианта жидкостной хроматографии на сверхсшитом полистироле из водноацетонитрильных растворов. Установлено влияние гидроксид-, карбоксид- и алкоксигрупп, а также состава элюента на величины характеристик удерживания соответствующих производных хинолина.

Sorption of some quinoline derivatives under conditions of reverse-phase liquid chromatography on hypercrosslinked polystyrene from aqueous acetonitrile solutions has been studied. The effect of hydroxy, carboxy and alkoxy groups, as well as the composition of the eluent, on the retention characteristics of the corresponding quinoline derivatives has been established.

Установление взаимосвязи между строением соединений и их удерживанием остается одной из наиболее актуальных задач в жидкостной хроматографии, поскольку позволяет одновременно решать проблемы прогнозирования удерживания на основании данных о структуре сорбатов и определять физико-химические параметры веществ по сорбционным характеристикам. При этом наиболее полную картину, описывающую закономерности протекания сорбционных процессов, предоставляет использование совокупности экспериментального и теоретического подходов к описанию механизмов сорбции в условиях жидкостной хроматографии. Интересными объектами, исследованию которых посвящено значительное число публикаций, являются производные хинолина, проявляемое внимание к которым обусловлено, прежде всего, их высокой биологической активностью. Разнообразие строения подобных соединений связано с наличием в их структуре восстановленного и/или ароматического гетероциклических фрагментов, функциональных групп и заместителей различной химической природы, что, в свою очередь, способствует реализации этими объектами широкого диапазона межмолекулярных взаимодействий с компонентами жидкостнохроматографической системы.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSSS-2020-0016.

В настоящей работе продолжено исследование особенностей сорбции производных хинолина из водноорганических растворов на сорбентах различной химической природы. Полученные нами ранее результаты свидетельствуют о существенной роли основного хинолинового фрагмента в удерживании соединений подобного строения [1, 2]. Присутствие заместителей и функциональных групп приводит, прежде всего, к изменению стереометрии молекул производных хинолина и, как следствие, изменению положения сорбируемых молекул по отношению к сорбенту, что, естественно, существенно изменяет характеристики удерживания. Нами исследовано хроматографическое удерживание неизученных ранее алкоксипроизводных хинолина в условиях жидкостной хроматографии с использованием сверхсшитого полистирола в качестве сорбента. При этом для уточнения влияния алкоксигруппы на сорбцию нами для сравнения в качестве объектов исследования были взяты также гидрокси- и карбоксипроизводные хинолина. Из полученных данных следуют существенные различия в величинах удерживания разных типов производных хинолина. Очевидно, что присутствие гидроксильной группы способствует усилению взаимодействия гидроксипроизводных хинолина с компонентами подвижной фазы, значения фактора удерживания этих соединений оказываются минимальными. Нестабильность данных по удерживанию карбоксипроизводных свидетельствует о необходимости использования буферных смесей при хроматографировании этих соединений. Ранее нами показано, что добавление буферных смесей с различными значениями рН к элюенту приводит к смещению равновесия в водно-ацетонитрильных растворах и изменению характеристик удерживания, вероятно, за счет существования различных форм сорбирующихся веществ [2]. При этом добавление буферных смесей к элюенту позволяет получать хорошо оформленные пики на хроматограммах и, соответственно, воспроизводимые значения величин удерживания. В удерживании алкоксипроизводных, вероятно, не последнюю роль играет стерический фактор или, по крайней мере, ориентация молекул сорбата относительно поверхности сорбента, поскольку полученные экспериментально характеристики удерживания этих соединений не всегда соответствуют известным закономерностям обращенно-фазового варианта жидкостной хроматографии. При этом графики зависимости фактора удерживания от состава элюента не являются линейными и, таким образом, не могут быть аппроксимированы моделью Снайдера – Сочевинского.

#### **Литература**

1. *Nekrasova N.A., Kurbatova S.V.* // J. Chrom. Sci. 2019. Vol. 57. No. 4. P. 369–380.
2. *Савченкова А. С., Буряк А. К., Курбатова С. В.* // Журн. физич. химии. 2015. Т. 89. №9. С. 1450-1454.

УДК 543.544

**УСТАНОВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ УДЕРЖИВАНИЯ НУКЛЕОЗИДОВ И АЗОТИСТЫХ ОСНОВАНИЙ В РЕЖИМЕ ГИДРОФИЛЬНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ НА СИЛИКАГЕЛЕ, МОДИФИЦИРОВАННОМ ПО РЕАКЦИИ УГИ<sup>1</sup>****Шемякина А.О., Чикурова Н.Ю., Чернобровкина А.В.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, Россия 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, с. 3;  
e-mail: [a.o.shemyakina@yandex.ru](mailto:a.o.shemyakina@yandex.ru)*

В работе получен сорбент с новым функциональным гидрофильным слоем модифицированием матрицы 3-аминопропилсиликагеля по реакции Уги. Проведено изучение влияния температуры колонки и механизмов удерживания для азотистых оснований и нуклеозидов на новом сорбенте в режиме гидрофильной хроматографии.

An adsorbent with a new hydrophilic layer created on 3-aminopropyl silica using the Ugi reaction was obtained in this work. Column temperature effects and the retention mechanisms study for nucleosides and nucleobases in HILIC was performed for the novel stationary phase.

Теоретические представления об удерживании соединений в режиме гидрофильной хроматографии (ГИХ) предполагают возможность одновременной реализации нескольких механизмов удерживания: распределительного и адсорбционного, в том числе электростатического. Вклад каждого из них в конкретной хроматографической системе зависит от природы аналита, типа и функциональности неподвижной фазы, состава подвижной фазы. Неподвижной фазой является слой воды, который адсорбируется на поверхности сорбента, в котором происходит распределение полярных аналитов. Кроме того, функциональные группы сорбента обеспечивают специфические взаимодействия с определяемыми веществами, в том числе притяжение или отталкивание в случае заряженных аналитов. Характер и комбинация этих взаимодействий обуславливают сложный механизм удерживания компонентов.

Оценка вклада каждого из возможных механизмов в удерживание является важным этапом в разработке новых подходов к разделению и определению отдельных классов соединений. Температура также может существенно влиять на вязкость подвижной фазы, коэффициенты диффузии аналитов, энтальпию распределения вещества между подвижной и неподвижной фазой, что, как следствие, сказывается на эффективности и селективности разделения [1,2].

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 20-13-00140.

В работе изучали вклад распределительного, адсорбционного и электростатического механизма, а также температуры колонки в режиме ГИХ в удерживание нуклеозидов и азотистых оснований (аденозина, гуанозина, цитидина, уридина, тимидина, аденина, гуанина, тимина, цитозина, урацила, ксантина), которые играют важную роль как структурные единицы нуклеиновых кислот, коферменты в биохимических процессах. В качестве неподвижной фазы использовали сорбент, впервые полученный в лаборатории по реакции Уги путём ковалентного модифицирования матрицы 3-аминопропилсиликагеля (диаметр частиц 5 мкм) с использованием гликолевой кислоты, ацетона и 2-морфолиноэтилизоцианида в присутствии катализатора хлорида аммония. Условия хроматографирования: подвижная фаза ацетонитрил / аммонийно-ацетатный буферный раствор (рН 4,7); скорость потока 1 мл/мин; спектрофотометрическое детектирование при 254 нм (размеры колонки 100×3 мм).

Вклад распределительного и адсорбционного механизмов в удерживание аналитов устанавливали путём получения зависимостей факторов удерживания от доли водной составляющей в подвижной фазе, вклад ионообменного механизма – зависимостей фактора удерживания от концентрации элюирующего иона. Установлено, что для всех рассматриваемых нуклеозидов и азотистых оснований наряду с распределительным механизмом удерживания реализуется адсорбционный, а в удерживание ксантина вносит значительный вклад ионообменный механизм.

На основании уравнения Вант-Гоффа в работе были получены стандартные энтальпии и энтропии удерживания цитозина, ксантина, гуанина, цитидина, гуанозина (интервал температур 30 – 65 °С) при разной доле водной части в подвижной фазе с постоянной ионной силой. С помощью модифицированного уравнения Вант-Гоффа была установлена независимость термодинамических величин от температуры. Положительная величина энтальпии удерживания ксантина позволила подтвердить преимущественное влияние электростатических взаимодействий на его удерживание.

Установление механизмов удерживания азотистых оснований и нуклеозидов позволяет определить способы регулирования их взаимодействий с гидрофильными неподвижными фазами и выбрать условия их разделения и определения в режиме гидрофильной хроматографии.

#### **Литература**

1. Greco G., Letzel T. Main interactions and influences of the chromatographic parameters in HILIC separations // *J. Chromatogr. Sci.* 2013. Vol. 51, № 7. P. 684–693.
2. Chester T.L., Coym J.W. Effect of phase ratio on van't Hoff analysis in reversed-phase liquid chromatography, and phase-ratio-independent estimation of transfer enthalpy // *J. Chromatogr. A.* 2003. Vol. 1003, № 1–2. P. 101–111.



УДК 535.37;535.34;543.544.43

**ОЦЕНКА ПОЛЯРНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ ЖИДКИХ ФАЗ ДЛЯ  
ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ И СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ  
ИНДИКАТОРОВ <sup>1</sup>****Бекетов В.И. <sup>1</sup>, Бельков М.В. <sup>2</sup>, Зоров Н.Б. <sup>1</sup>, Ланин С.Н. <sup>1</sup>,  
Нестеренко П.Н. <sup>1</sup>, Першукевич П.П. <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр.3;*

<sup>2</sup> *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
Беларусь, 220072, г. Минск, проспект Незалежности, д. 68, стр.2;  
e-mail: [bv-msu@yandex.ru](mailto:bv-msu@yandex.ru)*

Предложен новый эмпирический метод оценки полярности неподвижных жидких фаз, основанный на измерении спектральных характеристик флуоресцентных и спектрофотометрических индикаторов в их растворах. Оценено влияние адсорбции индикаторов на твердых носителях на точность метода.

A new empirical method for assessing the polarity of stationary liquid phases is proposed, based on measuring the spectral characteristics of fluorescent and spectrophotometric indicators in their solutions. The influence of the adsorption of indicators on solid carriers on the accuracy of the method is estimated.

Разнообразие решаемых газо-жидкостной хроматографией (ГЖХ) задач ставит перед хроматографистами непростую задачу по разработке селективных и эффективных методик разделения многокомпонентных смесей. Селективность разделения многокомпонентной пробы определяется свойствами используемой неподвижной жидкой фазой (НЖФ). К настоящему времени известно о применении более тысячи отличающихся по селективности НЖФ. Такое разнообразие связано со сложной природой взаимодействия разделяемых соединений и жидкой фазы, при этом для каждой НЖФ характерно свое соотношение вкладов различных типов взаимодействия в удерживание молекул сорбата.

Обычно, выбор НЖФ хроматографической колонки основан на оценке полярности неподвижной фазы. Существует два основных подхода к количественному измерению полярности жидких фаз. Первая, наиболее распространенная шкала оценки полярности НЖФ Мак Рейнольдса [1], основана на расчете суммы усредненных вкладов в удерживание десяти

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-53-0025 Bel-а и БРФФИ-РФФИ, проект № Ф20Р-190.

разных по химической природе модельных соединений при фиксированной температуре хроматографической колонки.

Второй подход (шкала Новака) состоит в измерении гидрофобности или инкрементов метиленовых групп в удерживание гомологов соединений, в молекулах которых имеется линейный алкильный заместитель переменной длины [2].

Ранее авторами предложено использовать сольватохромный эффект для оценки полярности НЖФ [3]. Метод заключается в изменении спектральных характеристик индикаторных соединений в зависимости от полярности органического растворителя. Произведена оценка применимости и осуществлен выбор шкалы количественной однопараметрической оценки полярности НЖФ для ГЖХ. Получены спектры поглощения и люминесценции растворов при комнатной температуре четырех флуоресцентных индикаторов с неразрешенной колебательной структурой (преимущественно однополосных), включая кумарин 153, кумарин 314, DCM, 3-аминофталимид, а также краситель Райхарда (2,6-дифенил-4-(2,4,6-трифенилпиридинио-1) феноксид) и индикатор с разрешенной колебательной структурой (линейчатый), коронен. В качестве растворяющих сред использованы органические растворители с различной полярностью и некоторые распространенные фазы для ГЖХ (сквалан, полидиметилсилоксан ПМС-100, 2-этилгексилсебацинат, полипропиленгликоль 250, 3,3'-оксидипропионитрил и др.). Для однополосных индикаторов оценена зависимость длин волн максимумов флуоресценции и поглощения от полярности среды. Аналогичная зависимость для соотношения интенсивности колебательных полос ( $I_1/I_3$ ) получена для коронена. Проведено сравнение различных спектроскопических шкал полярности, показана их корреляция с параметрами НЖФ по шкалам Мак Рейнольдса и Новака. Для уточнения параметров модели полярности исследовалась зависимость длины волны максимума испускания флуоресценции кумарина 153 от длины волны возбуждающего света.

В тонких слоях НЖФ, нанесенных на твердые носители – мезопористый силикагель и диатомит, изучены изменения спектральных характеристик и искажения, вносимые в спектры флуоресценции индикаторов при взаимодействии с твердой неоднородной поверхностью. Показана перспективность сорбционного спектрально-люминесцентного метода определения полярности, особенно при использовании коронена, для предварительного выбора хроматографических колонок для ГЖХ.

### Литература

1. Сакодынский К.И., Бражников В.В., Волков С.А., Зельведенский В.Ю., Ганкина Э.С., Шатиц В.Д. Аналитическая хроматография. М.:Химия, 1993.
2. Головня Р.В., Мишарина Т.А. // Известия АН СССР. 1977. Сер. Хим. № 7. С.1492-1494.
3. Бекетов В.И., Бельков М.В., Зоров Н.Б., Ланин С.Н., Нестеренко П.Н., Першукевич П.П. // Журнал прикладной спектроскопии. 2021. Т. 88. № 4. С. 569-575.

УДК 543.552

**ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАРБОФУРАНА  
НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМ  
СОРБЕНТОМ ЭЛЕКТРОДЕ <sup>1</sup>****Соломоненко А.Н., Дорожко Е.В., Короткова Е.И.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия 634050, г. Томск, пр. Ленина 30;  
e-mail: [ans51@tpu.ru](mailto:ans51@tpu.ru)*

Работа посвящена разработке методики вольтамперометрического определения карбофурана на электроде, модифицированном углеродными чернилами с добавлением хроматографического сорбента. Использование сорбентов в качестве модифицирующих агентов электродов для определения карбофурана демонстрирует хорошую чувствительность и селективность, а также открывает возможности для “зеленой” электроаналитической химии.

The work is devoted to the development of a method for the voltammetric determination of carbofuran on an electrode modified with carbon ink with the addition of a chromatographic sorbent. The use of sorbents as modifying agents of electrodes for the determination of carbofuran demonstrates good sensitivity and selectivity, and also opens up opportunities for "green" electroanalytical chemistry.

Карбаматные пестициды, в состав которых входит карбофуран (КБФ), как экотоксиканты, с каждым годом оказывают все более значительное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. КБФ используется в качестве активного вещества гранулированных препаратов для борьбы с почвенными вредителями. Механизм действия КБФ основан на ингибирование ферментативной активности, следовательно, это может привести к репродуктивным, цитотоксическим и генотоксическим нарушениям [1]. Поэтому в настоящее время важно разработать метод определения КБФ для мониторинга экологической и пищевой безопасности. Разработка электрохимических сенсоров на основе химически модифицированных электродов для определения КБФ в последние годы вызвала активный интерес ученых [2].

В данной работе определение КБФ было разработано с использованием в качестве рабочего электрода – углеродсодержащего электрода (УСЭ), модифицированного углеродными чернилами (УЧ), с добавлением хроматографического сорбента (ХС) на основе хроматона, полиэтиленгликоля (ПЭГ) и ацетилацетоната железа (Fe(AA)<sub>3</sub>).

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и ЧНФ в рамках научного проекта № 19-53-26001 и ГЗ «Наука» № FSWW-2020-0022.

Морфологию поверхности Хроматон/ПЭГ/Fe(AA)<sub>3</sub>/УЧ/УСЭ исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в режиме обратного рассеяния электронов (рис. 1). Электрохимическое поведение КБФ было изучено с помощью циклической вольтамперометрии и электрохимической импедансной спектроскопии.

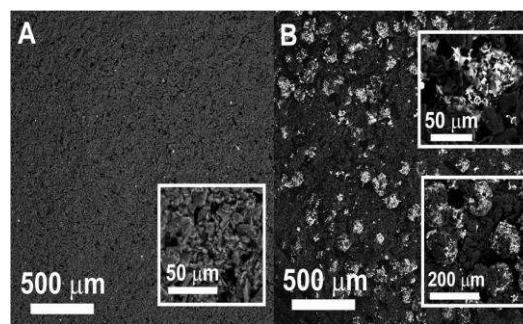


Рис. 1. Изображение СЭМ поверхностей УЧ/УСЭ (А) и Хр/ПЭГ/Fe(AA)<sub>3</sub>/УЧ/УСЭ (В) электродов

Аналитический сигнал КБФ после гидролиза регистрировали методом вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала в фоновом электролите 0,1 М фосфатного буферного раствора (ФБР, рН 6,86), при следующих условиях: потенциал накопления +0,3 В, время накопления 100 с, скорость сканирования 100 мВ/с, хлоридсеребряные электроды – вспомогательный и электрод сравнения.

При оптимальных условиях для модельных растворов КБФ предел обнаружения (*LOD*) составлял 0,08 мкмоль/л с линейной зависимостью концентрации в диапазоне от 0,25 до 10 мкмоль/л (рис. 2).

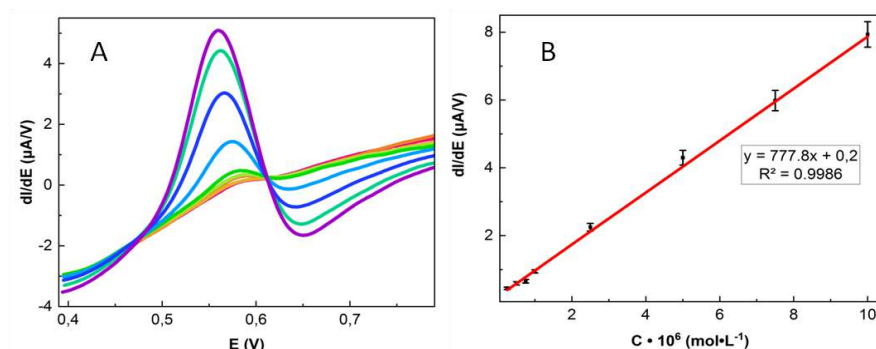


Рис. 2. А) Вольтамперограммы окисления КБФ на модифицированных УСЭ в диапазоне 0,25-10 мкмоль/л в ФБР рН 6,86, w – 100 мВ/с. В) Калибровочный график

Предложенный модифицированный электрод был успешно применен для определения КБФ в лекарственных травах, а именно в ромашке аптечной и зверобое.

Таким образом, включение хроматографического сорбента в модифицирующую смесь открывает новые пути как для определения КБФ в природных объектах, так и для вторичного использования переработанных сорбентов.

## Литература

1. Mishra S., Zhang W., Lin Z., Pang S., Huang Y., Bhatt P., Chen S. Carbofuran toxicity and its microbial degradation in contaminated environments // *Chemosphere*. 2020. 259. 127419.
2. Oliveira T.M.B.F., Ribeiro F.W.P., Sousa C.P., Salazar-Banda G.R., Lima-Neto P., Current overview and perspectives on carbon-based (bio)sensors for carbamate pesticides electroanalysis // *Trends in Analytical Chemistry*. 2020. 124. 115779.

УДК 543.552

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 1,4-НАФТОХИНОНА МЕТОДОМ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ<sup>1</sup>

**Асеева Н.В., Короткова Е.И.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина 30;  
e-mail: [natali.shkuratova@mail.ru](mailto:natali.shkuratova@mail.ru)*

Работа посвящена разработке методики вольтамперометрического определения производных 1,4 – нафтохинона на импрегнированном графитовом электроде.

The work is connection with development of a method for voltammetric determination of 1,4 - naphthoquinone derivatives on an impregnated graphite electrode.

Нафтохиноны, а также их производные обладают разнообразными фармакологическими свойствами. В частности, им присуще антимикробное, противовоспалительное, противовирусное и противоопухолевое действие [1]. Производные нафтохинона являются перспективными веществами для создания абсолютно новых противораковых агентов, так как обладают широким спектром биологической активности, а именно проявляют цитотоксическую активность [2].

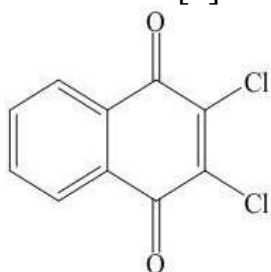


Рисунок 1 – Структурная формула 2,3-дихлор-1,4-нафтохинона (NQ)

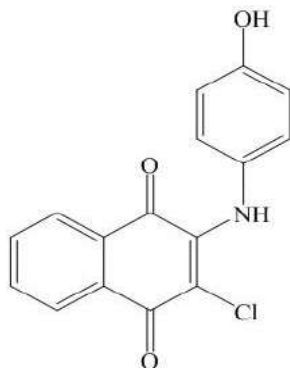


Рисунок 2 – Структурная формула 2-хлор-3 - ((4-гидроксифенил) амино) - 1,4-нафтохинона (NQ1)

2,3-Дихлор-1,4-нафтохинон (рис. 1) был выбран в качестве исходного материала для изучения электрохимических свойств нафтохинонов, поскольку он достаточно стабилен, легкодоступен и известен как ключевой синтетический промежуточный продукт в органической, медицинской и промышленной химии. 2-Хлор-3-((4-гидроксифенил) амино) -1,4-нафтохинон (рис. 2) соединение синтезированное непосредственно из 2,3-дихлор-1,4-нафтохинона,

предположительно обладающее цитотоксическими свойствами.

В данной работе были исследованы электрохимические свойства NQ и NQ1 методом вольтамперометрии на импрегнированном графитовом электроде (ИМГЭ). Исходные растворы 0,1 М NQ и NQ1 были приготовлены в ДМФА. В качестве фонового электролита использовали предварительно подкисленный 0,1 М соляной кислотой спиртовой раствор

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ «Наука» № FSWW-2020-0022 и РФФИ в рамках научного проекта № 19-53-26001.

0,1 М NaClO<sub>4</sub>.

После получения циклических вольтамперограмм NQ (рис. 3 (а)) была исследована концентрационная зависимость методом катодной вольтамперометрии в режиме первой производной (рис. 3 (б)). По увеличению тока пика электровосстановления NQ при E=0,06 В от увеличения концентрации вещества в растворе построена градуировочная зависимость  $y = 3,14x + 0,35$  с коэффициентом корреляции 0,9992.

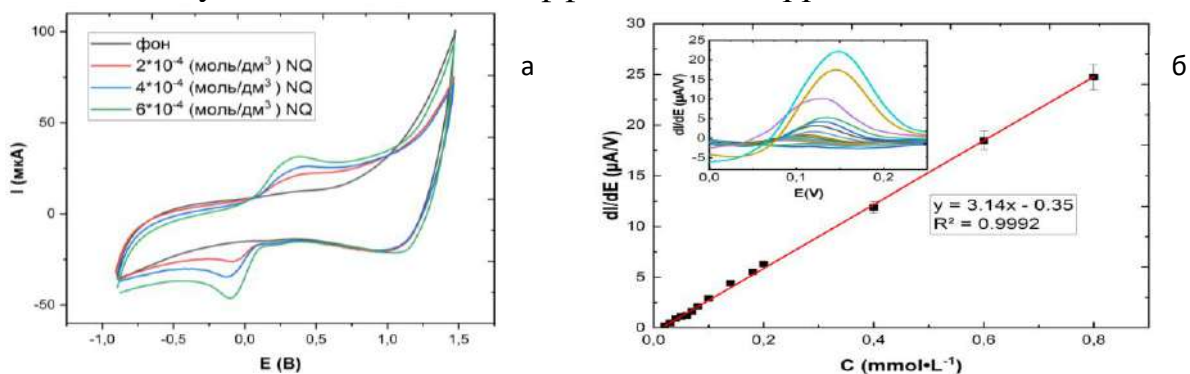


Рисунок 3 (а) – Циклические вольтамперограммы 2,3-дихлор-1,4-нафтохинона в спиртовом растворе 0,1 М NaClO<sub>4</sub> (рН 2,0) на ИМГЭ относительно ХСЭ (1 моль/дм<sup>3</sup> KCl); скорость сканирования потенциала 100 мВ/с. (б) – Зависимость тока электровосстановления 2,3-дихлор-1,4-нафтохинона от концентрации в спиртовом растворе 0,1 М NaClO<sub>4</sub> (рН 2,0) на ИМГЭ относительно ХСЭ (1 моль/дм<sup>3</sup> KCl); скорость сканирования потенциала 100 мВ/с, потенциал накопления 1 В, время накопления 50 сек.

Также для вещества NQ1 была исследована концентрационная зависимость методом анодной вольтамперометрии в режиме первой производной (рис. 4 (б)). По увеличению тока пика электроокисления NQ1 при E= -0,6 В от увеличения концентрации вещества в растворе построена градуировочная зависимость  $y=37,21x + 0,48$  с коэффициентом корреляции 0,9931.

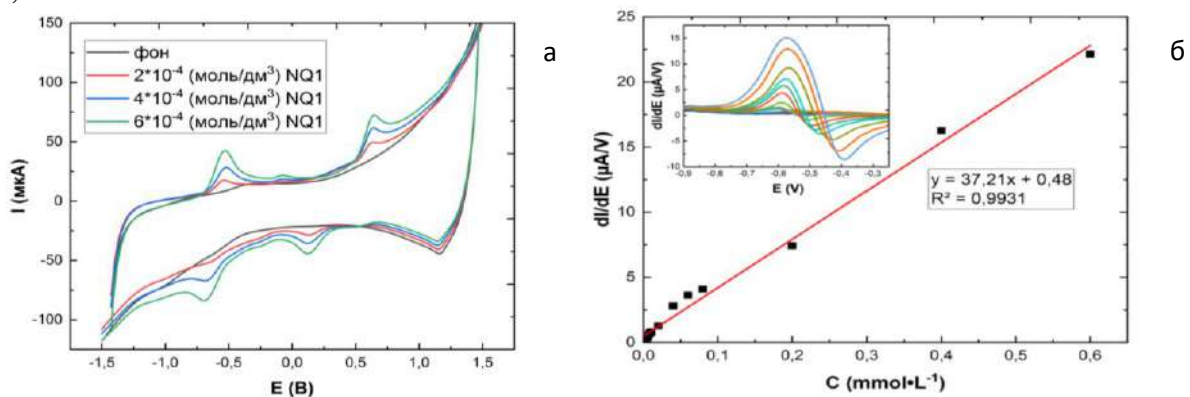


Рисунок 4 (а) – Циклические вольтамперограммы 2-хлор-3 - ((4-гидроксифенил) амино) -1,4-нафтохинона в спиртовом растворе 0,1 М NaClO<sub>4</sub> (рН 6,0) на ИМГЭ относительно ХСЭ (1 моль/дм<sup>3</sup> KCl); скорость сканирования потенциала 100 мВ/с. (б) – Зависимость тока электроокисления 2-хлор-3 - ((4-гидроксифенил) амино) -1,4-нафтохинона от концентрации в спиртовом растворе 0,1 М NaClO<sub>4</sub> (рН 6,0) на ИМГЭ относительно ХСЭ (1 моль/дм<sup>3</sup> KCl); скорость сканирования потенциала 100 мВ/с, потенциал накопления – 1,4 В.

#### Литература

1. Bhasin D., Chettiar S.N., Etter J.P., Mok M., Li P.K. // Anticancer activity and SAR studies of substituted 1,4-naphthoquinones, Biorg. Med. Chem. 2013. 21. 4662-4669.
2. Brezak M.C., Kasprzyk P.G., Galcera M.O., Lavergne O., Prevost G.P. // CDC25 Inhibitors as Anticancer Agents Are Moving Forward, Anticancer Agents Med. Chem. 2008. 8. 857-862.

УДК 551.464.6:504.05(269.4)

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И АНТРОПОГЕННЫЕ РАДИОИЗОТОПЫ В АТЛАНТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ АНТАРКТИКИ<sup>1</sup>

**Параскив А.А., Проскурнин В.Ю., Сидоров И.Г., Мирзоева Н.Ю., Терещенко Н.Н.**

*ФИЦ ИнБЮМ, Россия 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2;  
e-mail: [paraskiv@ibss-ras.ru](mailto:paraskiv@ibss-ras.ru)*

Получены новые данные по уровням и пространственному распределению 13 микроэлементов и основных современных дозообразующих антропогенных радиоизотопов в Атлантическом секторе Антарктики.

New data on the levels and spatial distribution of 13 trace elements and the main modern dose-forming anthropogenic radioisotopes in the Atlantic sector of the Antarctic were obtained.

В рамках проведения современной оценки качества морской среды для принятия ответственных решений по сохранению морских биоресурсов одного из самых продуктивных регионов Мирового океана – Атлантического сектора Антарктики, актуальной задачей являются мониторинговые исследования содержания тяжелых металлов и антропогенных радиоизотопов в воде этих акваторий [1]. Цель проводимых исследований – получить новые данные об уровнях концентрации микроэлементов, преимущественно тяжелых металлов, их пространственном и глубинном распределении, а также об уровнях удельной активности основных дозообразующих антропогенных радиоизотопов в морской воде.

Отбор проб морской воды и их первичная обработка были выполнены в 3-ем этапе антарктической экспедиции 79-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в феврале 2020 г. в районе проливов Дрейка, Брансфилда, Антарктика, в морях Уэдделла и Скотия. Отбирали пробы поверхностной и глубоководной воды для определения содержания тяжелых металлов и микроэлементов (Be, V, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Mo, Cd, Sb, Tl, Pb), а также антропогенных радиоизотопов <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs и <sup>239+240</sup>Pu. Определение изучаемых элементов проводили по стандартным методикам [2].

Анализ полученных результатов свидетельствует об относительно низких уровнях концентраций тяжелых металлов и микроэлементов в поверхностной морской воде Антарктического региона. Однако стоит отметить, что для большинства изучавшихся элементов (Pb, Cd, Zn, Cu, Be,

---

<sup>1</sup> Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Комплексные исследования современного состояния экосистемы атлантического сектора Антарктики» (регистрационный номер АААА-А19-119100290162-0)

Mo, Co, V) наблюдались концентрации выше таковых, характерных для вод открытого океана, а для отдельных элементов превышали их в несколько раз: для Se до 2,3 раза, для Zn до 211,3 раза.

Для изучения вертикального распределения тяжелых металлов и микроэлементов в толще воды были выбраны станции, отличающиеся по термохалинным характеристикам – прибрежная, в проливе Антарктика (глубина 187 м) и глубоководная, в северо-западной части моря Уэдделла (глубина 2766 м). Анализ полученных данных показал, что в прибрежной акватории пролива Антарктика в толще вод концентрации микроэлементов и тяжелых металлов были выше, чем в глубоководной части моря Уэдделла. Этот факт, вероятно, может служить подтверждением ранее высказанных предположений о том, что увеличение концентрации тяжелых металлов в водах близ Антарктиды может быть вызвано и природными процессами, к которым относят смыв элементов тектонического происхождения с материка в результате таяния ледового покрова [4]. Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  как в поверхностных водах, так и до глубины 1000 м была ниже предела детектирования ( $0,04 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ). Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в районе Антарктического полуострова изменялась в пределах значений  $0,17\text{--}0,88 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , а для  $^{239+240}\text{Pu}$  она составляла  $0,23 \text{ мБк}\cdot\text{м}^{-3}$  в северо-западной части моря Уэдделла.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены новые данные по уровням и пространственному распределению 13 микроэлементов и основных современных дозообразующих антропогенных радиоизотопов в Атлантическом секторе Антарктики. Наблюдавшиеся уровни концентраций микроэлементов в морской воде Антарктического региона свидетельствуют о наличии повышенных концентраций отдельных тяжелых металлов, несмотря на ограниченный режим антропогенной нагрузки на данный регион Южного океана. По уровням удельной активности антропогенных радиоизотопов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  воды Антарктики, как и ранее, относятся к наиболее чистым акваториям Мирового океана.

### Литература

1. Быкова В.М., Быков В.П., Кривошеина Л.И., Радакова Т.Н., Гройсман М.Я., Глазунов О.И. Основные направления комплексного использования криля // Труды ВНИРО. 2004. Т. 143, С.17–32.
2. Мирзоева Н.Ю., Терещенко Н.Н., Параскив А.А., Проскурнин В.Ю., Морозов Е.Г. Тяжёлые металлы в поверхностной воде Атлантического сектора Антарктики в 79-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» // Морской биологический журнал. 2020. Т. 5, № 4. С. 56-68. DOI: 10.21072/mbj.2020.05.4.05
3. Samyushev E.Z., Minkina N.I. Coastal Ecosystem Contamination by Heavy Metals as an Indicator of Climate Change in Antarctica // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2019. Vol. 16. No. 1. P. 228-236. DOI: 10.1166/jctn.2019.7729



УДК 543.544

**ИЗУЧЕНИЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ  
АЛКИЛФОСФОНОВЫХ КИСЛОТ В РЕЖИМЕ  
ГИДРОФИЛЬНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ НА НОВОМ  
ДИОЛЬНОМ СОРБЕНТЕ, ПОЛУЧЕННОМ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИСТИРОЛ-ДИВИНИЛБЕНЗОЛА <sup>1</sup>**

**Попов А.С., Васильев Ф.А., Шпигун О.А., Чернобровкина А.В.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, Россия 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, с. 3;  
e-mail: [aspopov.anchem.msu@mail.ru](mailto:aspopov.anchem.msu@mail.ru)*

Разработан и синтезирован новый сорбент на основе аминированного полистирол-дивинилбензола путем ковалентного присоединения полиглицидола. В работе представлено изучение хроматографического поведения алкилфосфоновых кислот на новой диольной неподвижной фазе. Путем варьирования хроматографических условий установлена реализация гидрофильного режима удерживания вплоть до 30% водной составляющей в элюенте. Изучен вклад адсорбционного и распределительного механизмов, а также ионного обмена в удерживание фосфоновых кислот на новом сорбенте.

A novel adsorbent based on aminated polystyrene-divinylbenzene copolymer was developed and synthesized via covalent addition of polyglycidol. This work presents a study of the chromatographic behavior of alkyl phosphonic acids on the novel diol stationary phase. HILIC separation mode was established for the analytes for up to 30% of water content in mobile phase. Adsorption, partitioning, and ion exchange mechanisms contribution to the phosphonic acids retention on the obtained adsorbent was studied.

На сегодняшний день алкилфосфоновые кислоты нашли широкое применение в агропромышленной сфере как эффективные гербициды и пестициды, обладая рядом преимуществ в сравнении с синтетическими пиретроидами: широкий диапазон персистентности соединений, разложение которых в большинстве случаев происходит с образованием малотоксичных для человека и животных соединений; быстрое разложение в почве; быстрое протекание метаболизма в организме беспозвоночных и отсутствие способности накапливаться в тканях млекопитающих. Однако современные требования сферы пищевого производства декларируют высокие требования к качеству продуктов питания. Таким образом, обнаружение гербицидов и пестицидов является важной задачей контроля качества продукции сельского хозяйства.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета, и при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 20-13-00140.

Традиционно такие задачи решали методом обращенно-фазовой ВЭЖХ. В конце XX века границы применимости жидкостной хроматографии расширились благодаря развитию гидрофильного режима [1]. Гидрофильная хроматография – современный метод определения полярных и высокополярных соединений с использованием водно-органической смеси в качестве подвижной фазы и полярных неподвижных фаз. Такой подход обеспечивает альтернативную селективность по сравнению с ОФ ВЭЖХ, благодаря чему ГИХ применяется во многих областях: контроль качества в пищевой и фармацевтической промышленности, экомониторинг, выявление фальсификатов и метаболомика.

В работе изучали механизмы удерживания семи алкилфосфоновых кислот (бутил- и *трет*-бутилфосфоновых, 3-метилфосфино-пропионовой, аминометилфосфоновой кислот, этефона, глифосата и глюфосината) в режиме гидрофильной хроматографии. Для работы была синтезирована новая диольная неподвижная фаза на основе аминированного сополимера стирола и дивинилбензола (размер частиц  $5.5 \pm 0.5$  мкм, степень сшивки 55%) путем ковалентного присоединения полиглицидола. Хроматографическое поведение алкилфосфоновых кислот изучали в следующих условиях: подвижная фаза – ацетонитрил / 20-200 мМ аммонийно-формиатный буферный раствор с рН 3.0, скорость потока 1 мл/мин, рефрактометрическое детектирование, размер колонки 100×3 мм.

Вклад адсорбционного и распределительного механизмов, а также электростатических взаимодействий в удерживание аналитов оценивали согласно полученным зависимостям их факторов удерживания от состава подвижной фазы [2]. Показано, что для большинства кислот, за исключением бутилфосфоновой кислоты и этефона, наряду с распределительным механизмом реализуется и адсорбционный. Для всех аналитов, кроме аминометилфосфоновой кислоты, установлен существенный вклад электростатических взаимодействий в удерживание в режиме ГИХ.

Оценку применимости нового сорбента для гидрофильного режима проводили на примере разделения модельных смесей углеводов, аминокислот, азотистых оснований и нуклеозидов, водорастворимых витаминов, а также с использованием теста Танака для гидрофильных неподвижных фаз.

#### Литература

1. *Alpert A.J.* Hydrophilic-interaction chromatography for separation of peptides, nucleic acids and other polar compounds // *J. Chromatogr. A.* 1990. Vol. 499. P. 177-196.
2. *Greco G., Letzel T.* Main interactions and influences of the chromatographic parameters in HILIC separations // *J. Chromatogr. Sci.* 2013. Vol. 51. P. 684-693.

УДК 535.8; 535.14; 678.745.842; 541.182.644

**ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ СЕНСОР, СОДЕРЖАЩИЙ  
ОДНОВРЕМЕННО ДВЕ ГОЛОГРАММЫ РАЗНЫХ ЦВЕТОВ  
ОДИНАКОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ОДНОМ ПОЛИМЕРНОМ  
НОСИТЕЛЕ<sup>1</sup>****Постников В.А.<sup>1</sup>, Крайский А.В.<sup>2</sup>, Умралиева А.Н.<sup>1</sup>, Иванов А.В.<sup>1</sup>**<sup>1</sup> ИОНХ РАН, Россия 119991, Москва, Ленинский проспект, 31;<sup>2</sup> ФИАН РАН, Россия 119333, Москва, Ленинский проспект, 53с4;e-mail: [vladpostnikov@mail.ru](mailto:vladpostnikov@mail.ru)

Разработана методика получения сенсора, содержащего одновременно две голограммы разных цветов на одном полимерном носителе, который позволяет расширить диапазон детекции анализируемого вещества в видимой области спектра. Проведена экспериментальная оценка отклика сенсоров на основе  $\epsilon$ -N-метакрилоил-L-лизина, чувствительных к pH раствора и ионам  $\text{Cu}^{2+}$ , в видимой области спектра

A technique has been developed for obtaining a sensor containing simultaneously two holograms different colors on one polymer layer, which makes it possible to expand the detection range of an analyte in the visible region of the spectrum. An experimental evaluation of the sensor response based on  $\epsilon$ -N-methacryloyl-L-lysine, sensitive to pH solution and  $\text{Cu}^{2+}$  ions, in the visible region of the spectrum has been carried out.

Голографические сенсоры являются аналитическими устройствами, которые отражают узкополосное излучение в диапазоне от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного диапазона и применяются для обнаружения и количественной оценки анализируемых веществ и/или физических параметров [1,2], благодаря изменению оптических характеристик при взаимодействии с анализируемым веществом.

Для получения высокоинтенсивной голограммы при использовании зеленого светодиодного лазера, достаточно 5 секунд, а применение красного He-Ne лазера, обладающего меньшей мощностью, приводит к увеличению времени экспозиции до 20 минут. Оптимальная методика получения голограмм делает возможным записать две голограммы (зеленую и красную) на одном полимерном носителе голограмм (2% KBr с эритрозином и фталоцианином Al), что позволяет расширить диапазон измерения с помощью голографического сенсора (рис. 1). Интенсивность отраженного света зависит от интенсивности широкополосного излучения лампы (рис. 1б), а положение максимума спектра отражения определяется изменениями сенсора под действием определяемого вещества. Применение двойной голограммы (рис. 1а) позволяет расширить область детекции приблизительно на 200 нм (рис. 1в).

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда, проект №

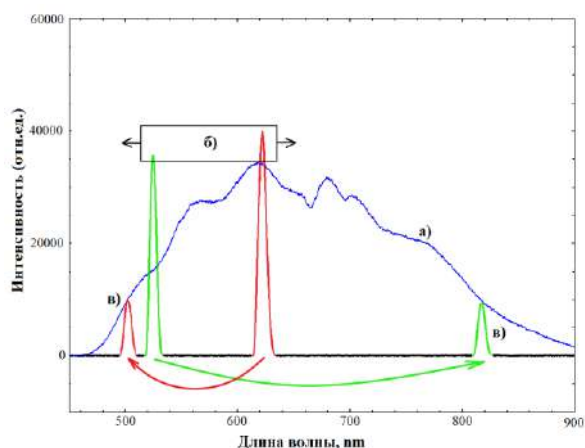


Рис. 1 Спектр отражения двойной голограммы сенсора, созданной с помощью зеленого и красного лазеров (а); спектр лампы накаливания (б) и конечное положение приборно определяемых максимумов спектра при набухании и сжатии полимерного носителя (в)

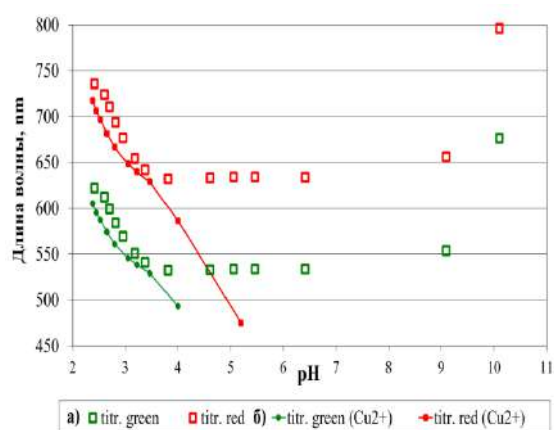


Рис.2 Титрование 0,1н раствора HCl (а) и 0,1н раствора HCl в присутствии ионов меди ( $5 \cdot 10^{-4} \text{M}$ ) (б) в присутствии сенсора ионов водорода с двойной голограммой на основе лизина

На рис. 2 представлены кривые титрования 0.1н раствора HCl (а) и 0,1н раствора HCl в присутствии ионов меди ( $5 \cdot 10^{-4} \text{M}$ ) (б) раствором 0,01н NaOH в присутствии сенсора ионов водорода с двойной голограммой на основе полимерного носителя, содержащего сополимер акриламида с  $\epsilon$ -N-метакрилоиллизинном. При высоких и низких значениях рН преобладают катионная или анионная форма, что приводит к набуханию матрицы гидрогеля и сопровождается красным сдвигом дифракционного спектра. При средних значениях рН наблюдается изоэлектрическая точка и матрица сжимается. Комплексообразование ионов меди с лизином приводит к сжатию полимерного носителя и смещению максимумов в спектре отражения сенсора.

### Литература

1. Yetisen A. K., Naydenova I., Vasconcellos F. da C., Blyth J., and Lowe C.R. Holographic Sensors: Three-Dimensional Analyte-Sensitive Nanostructures and Their Applications// Chemical Reviews – 2014. – 114, 10654-10696
2. А. В. Крайский, В. А. Постников, А. В. Хамидулин, Т. Т. Султанов, Голографические сенсоры для диагностики водных растворов// Квант. электрон. 2010, том 40, номер 2, 178–182

УДК 541.182.4.004.

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

**Дзарданов Д.В., Полунина И.А.**

*ИФХЭ РАН, Россия, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4;  
e-mail: [polunira@mail.ru](mailto:polunira@mail.ru)*

Проведено исследование эмульсий феноксапроп-П-этил с различными ПАВ. Обнаружена корреляция между биологической эффективностью, адгезионными свойствами и количеством гербицида на поверхности листьев, а также структурой его седиментов.

It was found the correlation between the biological efficiency of herbicide emulsions of fenoxaprop-P-ethyl with different surfactants and their adhesion properties as well as the amount and structure of sediments formed on the targeting foliage.

Химическая защита зерновых культур от сорных растений, болезней и вредных насекомых входит в обязательный комплекс агротехнических мероприятий, проводимых для предотвращения потерь урожая зерна и сохранения его качества. Феноксапроп-П-этил – эффективный гербицид, применяемый для защиты ячменя и пшеницы от таких злаковых сорных растений, как различные виды щетинника, проса, овсюга и метлицы.

Основной способ внесения агрохимикатов заключается в опрыскивании сельскохозяйственных культур водными эмульсиями, растворами и суспензиями рабочих жидкостей гербицида. Наличие адьювантов (ПАВ) существенно влияет на смачивание рабочим раствором поверхности листьев, растекание и удерживание капель на листьях.

Исследованы эмульсии рабочих растворов гербицидов на основе феноксапроп-П-этила («Ластик Экстра КЭ», АО «Август», РФ). В состав опытного препарата G-I кроме того добавляли липофильные ПАВ и растительные масла, в состав G-II – гидрофильные ПАВ.

Поверхностное натяжение эмульсий рабочих растворов гербицидов определялось методом висячей капли (OCA 15, Data Physics GmbH, ФРГ). Динамический угол натекания определяли посредством подачи жидкости с постоянной скоростью через иглу с фиксированным внешним и внутренним диаметром (Nordson EFD, США) для капель объемом 7–10 мкл. Динамический угол оттекания определяли путем отбора жидкости из капли диаметром 4–6 мм. Гистерезис краевых углов смачивания, характеризующий способность капель гербицида к фиксации на

гидрофобной поверхности листа, моделировали с помощью гидрофобной пленки Parafilm M (Benis NA, США).

Обнаружено, что препарат G-I лучше смачивает гидрофобную поверхность, чем другие рабочие растворы, а гистерезис краевых углов натекания и оттекания для него существенно выше. Это должно обеспечивать более сильное удерживание G-I на поверхности листьев. Анализ методом ОФ ВЭЖХ количества феноксапроп-II-этила, обнаруженного в водных смывах с поверхности листьев проса после их опрыскивания рабочими растворами гербицидов (табл.), подтвердил, что препарат G-I сохраняется на поверхности листьев в значительно больших количествах, чем другие гербициды, за счет уменьшения потерь от стекания препарата.

Таблица. Количество феноксапроп-II-этила (ppm), обнаруженного методом ВЭЖХ на поверхности листьев проса после их опрыскивания гербицидами

«Ластик Экстра, КЭ», л/га	G-I (0.5% ПАВ <sub>1</sub> )	G-II (0.3% ПАВ <sub>2</sub> )
1.72	4.25	0.80

Непосредственное взаимодействие осадка гербицидов с поверхностью растения приводит к абсорбции действующего вещества в кутикулу листьев с последующим перераспределением в тканях и метаболизмом действующих веществ. Структурная форма осадка, образуемого после высыхания рабочего раствора гербицида на поверхности растения, позволяет судить о биодоступности действующих веществ гербицида и оценить оптимальность выбора компонентов рецептуры. Исследование текстуры поверхности листьев и структуры осадков эмульсий, оставшихся на листьях после испарения капель, проводили с помощью растрового электронного микроскопа (Quanta 650 FEG, FEI, Нидерланды). Показано, что структура осадков эмульсий G-I и G-II кардинально отличается друг от друга. Осадок G-I распределен равномерно. Такие остатки легко сорбируются кутикулой сорного растения. В структуре осадка G-II наблюдается существенная кристаллизация гербицида, что переводит действующее вещество в труднодоступную форму, уменьшает его сорбцию поверхностью листьев и снижает биологическую эффективность.

Биохимические методы исследования позволили установить, что для обработки проса эффективная доза ED<sub>50</sub> препаратов G-I, G-II и «Ластик Экстра КЭ» составляет 0.0065, 0.0096 и 0.0088 л/га, соответственно, т.е. препарат G-I обладает максимальной биологической активностью. Этот результат хорошо коррелирует с результатами исследования смачивающей способности рабочих растворов гербицидов, количеством действующего вещества, обнаруженного на поверхности листьев исследуемых растений и структурой осадков.

Таким образом, скрининг адгезионно-когезионных свойств гербицидов и структурной формы осадков, образуемых после высыхания рабочих растворов на поверхности растения, позволяет научно обоснованно прогнозировать биологическую эффективность разрабатываемых препаратов.

УДК 543.544

**СИНТЕЗ, ИЗУЧЕНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ  
СОРБЕНТОВ ДЛЯ ГИДРОФИЛЬНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С  
НОВЫМИ ТИПАМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ <sup>1</sup>****Чикурова Н.Ю., Беляева А.А., Чернобровкина А.В.,  
Смоленков А.Д., Шпигун О.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, Россия 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1, стр. 3;  
e-mail: [chikurova.nu@yandex.ru](mailto:chikurova.nu@yandex.ru)*

Работа посвящена получению новых гидрофильных неподвижных фаз на основе силикагеля, а также изучению механизмов удерживания различных классов полярных веществ на синтезированных сорбентах и их практическому применению. Обсуждаются подходы к модифицированию поверхности сорбентов и способы формирования новых гидрофильных функциональных слоев. Описаны выявленные закономерности удерживания разных классов гидрофильных соединений на полученных неподвижных фазах.

The work is devoted to the synthesis of novel hydrophilic silica-based stationary phases, as well as the study of the retention mechanisms for various classes of polar substances on the synthesized adsorbents, and their application. Approaches to the surface modification and methods for new hydrophilic functional layers construction are discussed. The revealed retention patterns for different hydrophilic compounds on the obtained stationary phases are described.

В настоящее время для определения полярных соединений все чаще применяют гидрофильную хроматографию (ГИХ). Поскольку селективность и эффективность разделения в ГИХ зависят в большей степени от структуры неподвижной фазы, ключевым направлением развития этого метода остается синтез новых сорбентов наряду с изучением реализуемых на них механизмов удерживания.

Перспективным направлением в синтезе новых сорбентов является введение амидных функциональных групп как наиболее гидрофильных, потенциально позволяющих расширить круг разделяемых и определяемых полярных веществ. В работе предложены два пути ковалентного модифицирования матрицы на основе силикагеля с введением амидных групп: использование гликопептидного антибиотика эремомицина, а также многокомпонентной реакции Уги, характеризующейся мягкими условиями проведения и возможностью управления селективностью получаемых сорбентов путем варьирования исходных реагентов. Также получены сорбенты с пространственным удалением предложенных функциональных

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 20-13-00140.

слоев с помощью спейсера — 1,4-бутандиолдиглицидилового эфира. Установление хроматографических свойств новых сорбентов и механизмов удерживания различных полярных веществ позволит определить способы управления селективностью и эффективностью новых сорбентов, а также установить и в дальнейшем прогнозировать условия разделения аналитов конкретных химических классов.

Для получения сорбентов по реакции Уги использовали матрицу 3-аминопропилсиликагеля (диаметр частиц 5 мкм), ацетон, гликолевую кислоту и различные изоцианиды: морфолиноэтил изоцианид, п-толуолсульфонилметил изоцианид и этиловый эфир изоциануксусной кислоты. Показано, что введение полярных групп в функциональный слой неподвижных фаз без пространственного удаления приводит к увеличению их гидрофильности. На наиболее гидрофильном сорбенте, полученном при использовании морфолиноэтил изоцианида, установлен адсорбционный механизм для цвиттер-ионных аминокислот, а также получены зависимости факторов их удерживания от концентрации буферного раствора. На сорбенте, полученном при использовании этилового эфира изоциануксусной кислоты, достигнуто разделение 10 сахаров за 20 мин при использовании градиентного элюирования.

Для водорастворимых витаминов на всех фазах установлен смешанный механизм удерживания, для органических кислот — адсорбционный с преобладанием электростатических взаимодействий. Показано, что сорбенты обладают хорошей селективностью и эффективностью до 55000 тт/м по витаминам, которая увеличивается по сравнению с аминопилсиликагелем. Достигнуто разделение 12 органических кислот с эффективностью до 45000 тт/м. Использование в реакции Уги п-толуолсульфонилметил изоцианида позволило реализовать дополнительный тип гидрофобных взаимодействий аналитов с поверхностью сорбента и таким образом разделить фосфоновые кислоты и пестициды. Модифицирование сорбентов по реакции Уги позволило также уменьшить время уравнивания колонок после градиентного элюирования.

Показано изменение механизма удерживания тиамин и уменьшение вклада электростатических взаимодействий с неподвижной фазой при модифицировании силикагеля эремомицином. Применение гликопептидных антибиотиков для создания новых функциональных слоев привело к увеличению гидрофильности сорбентов и позволило экранировать отрицательный заряд матрицы на основе силикагеля.

Показана применимость синтезированных сорбентов для анализа реальных объектов: сладких напитков, кофе, вина и лекарственных препаратов на содержание сахаров, органических кислот и витаминов.



УДК 543.544

## НОВЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ С ПОЛИМЕРНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СЛОЯМИ ДЛЯ ИОННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ И ИХ АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ <sup>1</sup>

**Горбовская А.В., Петрова Е.К., Ужель А.С., Шпигун О.А., Затираха А.В.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, Россия 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1, стр. 3; e-  
mail: [gorbovsкая\\_av@mail.ru](mailto:gorbovsкая_av@mail.ru)*

В данной работе описаны новые сорбенты на основе полимерной матрицы для ионной хроматографии: анионообменники с ковалентно привитыми полиэлектролитами и с привитым полиэтиленимином, кватернизованным глицидолом. Предложено несколько способов управления селективностью сорбентов и степенью гидрофилизации функциональных слоев: за счет варьирования условий синтеза, структуры используемого амина, полимеризации глицидола в ионообменном слое. Перспективность предложенных подходов для повышения степени гидрофилизации подтверждена путем установления механизма удерживания сильнополяризуемых анионов и оценки эффективности анионообменников.

This work describes novel polymer-based anion exchangers for ion chromatography: anion exchangers with covalently grafted polyelectrolytes and with grafted polyethyleneimine quaternized with glycidol. Several methods have been proposed for controlling the selectivity of phases and hydrophilization degree of functional layers: by varying the synthesis conditions, the structure of used amine, and the glycidol polymerization in the ion-exchange layer. The potential of the proposed approaches for increasing the hydrophilization degree was confirmed by establishing the mechanism of highly polarizable anions retention and evaluating the efficiency of anion exchangers.

Ионная хроматография (ИХ) с подавлением фоновой электропроводности и кондуктометрическим детектированием с использованием гидроксидных элюентов активно используется в различных областях науки и промышленности для определения соединений ионного характера. В связи с этим, актуальной задачей современной ИХ является разработка селективных и эффективных анионообменных сорбентов на основе полимеров, устойчивых во всем диапазоне рН, таких как сополимеры стирола или этилвинилбензола с дивинилбензолом. Однако существенным недостатком анионообменников на основе ароматических матриц является наличие неионообменных взаимодействий между гидрофобной основой и поляризуемыми анионами, что приводит к сильному удерживанию и размыванию пиков таких анионов, а также невысокой эффективности. В связи с этим интерес

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках гранта № 20-03-00909.

представляет поиск новых способов экранирования матрицы анионообменными функциональными слоями и гидрофилизации ее поверхности.

В данной работе рассмотрен ряд сорбентов на основе аминированного сополимера стирола и дивинилбензола с различной структурой полимерного функционального слоя: фазы с ковалентно привитыми полиэлектролитными цепями, сформированными из вторичного амина и диэпоксида, а также анионообменники с привитым полиэтиленимином (ПЭИ), кватернизованным глицидолом. Показана возможность управления селективностью и степенью гидрофилизации таких сорбентов за счет выбора условий синтеза (температуры, продолжительности, количества реагентов), варьирования структуры аминогрупп и проведения дополнительной стадии модифицирования глицидолом с возможностью его полимеризации в функциональном слое в щелочной среде. Перспективность использования предложенных подходов для повышения степени гидрофилизации сорбентов и устранения неионообменных взаимодействий анионов с полимерной матрицей оценена путем установления механизма удерживания сильнополяризуемых анионов ( $\Gamma^-$ ,  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ) на синтезированных неподвижных фазах. Установлено, что для этих анионов на анионообменниках с повышенной гидрофильностью доминирующим механизмом удерживания является ионный обмен. Впервые изучено влияние температуры на удерживание анионов органических кислот и поляризуемых анионов на сорбентах с ковалентно привитыми полиэлектролитами и анионообменниках с привитым ПЭИ, кватернизованным глицидолом. Показано, что характер удерживания (экзотермический или эндотермический) в первую очередь определяется свойствами аналитов.

Создание новых гидрофильных полимерных покрытий для гидрофобной полимерной матрицы делает разработанные сорбенты перспективными для использования в режиме гидрофильной хроматографии (ГИХ) для разделения и определения полярных аналитов. Показано, что полиэлектролитные сорбенты обеспечивают разделение 11 азотистых оснований и нуклеозидов за 11 мин с эффективностью до 20500 ТТ/м, а также 9 аминокислот менее чем за 13 мин с эффективностью до 18500 ТТ/м.

Установленные зависимости удерживания аналитов различных классов в режимах ИХ и ГИХ на полученных сорбентах позволили оптимизировать структуру функционального слоя и выбрать оптимальные условия разделения для обеспечения наилучшей селективности. В работе продемонстрирована применимость полученных сорбентов для анализа реальных объектов.

УДК 544

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО НОСА ДЛЯ  
АНАЛИЗА ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В  
ВОЗДУХЕ****Чучина В.А., Кононов А.С., Губаль А.Р., Лялькин Е.А., Ганеев А.А.**

*СПбГУ, Санкт-Петербург, 198504, Университетский пр., 26;  
e-mail: [v.chuchina@spbu.ru](mailto:v.chuchina@spbu.ru)*

Система электронного носа апробирована при анализе различных классов летучих органических соединений и их смесей. Был проведен перенос градуировки между двумя системами электронного носа с последующей хемометрической обработкой данных. Показана возможность определения органических соединений в воздухе.

The electronic nose system has been applied for the analysis of various classes of volatile organic compounds and their mixtures. The calibration of two electronic systems was provided. Chemometric data processing was carried out. The possibility of determining organic compounds in air was shown.

Проблема загрязнения окружающей среды приобретает все более угрожающее влияние в связи с антропогенной деятельностью. С одной стороны, индустриализация является ключевым фактором экономического роста, с другой - остро стал стоять вопрос здоровья человека и сохранения благоприятной окружающей среды, поскольку токсичные отходы и загрязнения попадают в экосистему.

В атмосфере наблюдаются тысячи различных ЛОС и неорганических загрязнителей. Время жизни ЛОС варьируется от нескольких минут до нескольких лет, в результате чего образуются кислородсодержащие соединения, такие как альдегиды, кетоны, пероксиды и кислоты.

Существующие методы мониторинга качества воздуха не в полной мере отвечают требованиям аналитического контроля. В частности, наиболее часто используемый метод газовой хроматографии предполагает дополнительные промежуточные этапы в процессе пробоподготовки, что может отрицательно повлиять на результаты анализа: потеря аналита или появление артефактов, деградация адсорбированных аналитов и материала сорбента и другое.

В связи с этим, целью данной работы является исследование возможностей компактной и относительно недорогой системы электронного носа для определения ЛОС в воздухе.

В данной работе разработанная нами ранее система электронного носа [1], состоящая из ячейки из 6 газочувствительных металлооксидных сенсоров, была апробирована для онлайн-анализа летучих органических

соединений. Была показана возможность прямого определения органических соединений различных классов (включая этилбензол, н-гептан, пропанол-1) в окружающем воздухе, как отдельно, так и в смеси. Модельные смеси летучих органических соединений вводились с помощью пакетов Tedlar.

Отдельно были разработаны методические подходы к стандартизации сенсорных систем с идентичными сенсорами с помощью метода переноса градуировки, что позволяет использовать единую систему базы данных соединений.

Была проведена хемометрическая обработка данных. В качестве визуальной интерпретации результата переноса градуировки был применен метод главных компонент.

Было показано, что разработанный метод имеет перспективы для широкого применения в области экологического мониторинга, поскольку система сочетает в себе онлайн-измерение и временное интегрирование сигнала, высокую скорость продувки, и, как следствие, высокое быстродействие с минимизацией эффектов памяти, а также возможность создания одной базы данных необходимых соединений на двух и более созданных системах с использованием метода переноса градуировки.

## **Литература**

1. Kononov A., Korotetsky B., Jahatspanian I., Gubal A., Vasiliev A., Arsenjev A., Nefedov A., Barchuk A., Gorbunov I., Kozyrev K., Rassadina A., Iakovleva E., Sillanpää M., Safaei Z., Ivanenko N., Stolyarova N., Chuchina V., Ganeev A. Analysis using metal oxide semiconductor sensors (electronic nose) for diagnosis of lung cancer // *Online breath J Breath Res.* 2019. №14. С. 016004.

УДК 544.2

**ИОНИЗАЦИЯ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОЙ  
ДЕСОРБЦИИ/ИОНИЗАЦИИ****Боровикова С.А., Шолохова А.Ю., Буряк А.К.**

*ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;  
e-mail: [borovikova7@mail.ru](mailto:borovikova7@mail.ru)*

В работе проанализированы ионные жидкости на основе замещенного катиона имидазолия. Впервые показано влияние аниона и катиона в структуре ИЖ для получения высокоинтенсивных МАЛДИ-спектров аминокислот. Три аминокислоты использованы в качестве тестовых соединений для оценки эффективности ИЖ.

Ion liquids based on substituted cation imidazolium in combination with different types of anions by laser desorption/ionization were analysed in the paper. For the first time, the effect of anion and cation in the structure of IL was shown to obtain high-intensity MALDI spectra of amino acids. Three amino acids were used as test compounds to evaluate the effectiveness of IL.

Метод масс-спектрометрии с матричной лазерной десорбцией / ионизацией (МАЛДИ) широко используется в аналитической и физической химии. Успех МАЛДИ-МС связан со способностью матрицы кристаллизоваться с аналитом и передавать энергию лазерного излучения термолабильным и нелетучим компонентам. Матрицы различной химической природы используются в анализе. В последнее время для решения проблем, характерных для классических матриц, используют ионные жидкости (ИЖ).

В работе проанализированы десять ионных жидкостей на основе замещенного катиона имидазолия в сочетании с различными типами анионов методом лазерной десорбции/ионизации. Во всех масс-спектрах ионных жидкостей, полученных в режиме регистрации положительных ионов, катион генерировал основной пик и его фрагментные ионы. Зарегистрированы гомологические ряды, характеризующиеся потерей метильной группы.

В соответствии с большей стабильностью связи углерод – углерод или азот, находящиеся в гетероциклической системе, по сравнению со связью углерод – углерод в алифатической, в масс-спектрах наблюдаются пики ионов, характерные для потери метильных фрагментов из алифатической цепи.

Для установления влияния размера аниона на способность ИЖ генерировать интенсивный масс-спектр для рассмотренной тестовой смеси (серин, аланин, гистидин) рассматривали ИЖ с катионом 1-бутил-3-метилимидазолий с анионами  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{BF}_4^-$ ,  $\text{PF}_6^-$ ,  $\text{C}_6\text{F}_5\text{BF}_3^-$ .

Для усиления стерических взаимодействий была использована новая ИЖ с плоским бензольным кольцом и повышенным положительным зарядом в его центре (2,3,5,6-tetrafluorophenyltrifluoroborates), что должно усиливать межмолекулярные взаимодействия с карбоксильными и гетероциклическими фрагментами аналита. Для аланина и серина наблюдаются сходные зависимости, спектры для гистидина, содержащего имидазольный фрагмент, гораздо интенсивнее, что связано с дополнительным межмолекулярным взаимодействием между структурными фрагментами ИЖ и аналита.

Предложенная нами в качестве матрицы новая ионная жидкость показала лучшие характеристики по сравнению с уже существующими. Следует отметить, что помимо кулоновских (электростатических) взаимодействий, которые считаются основным источником притяжения в ионных жидкостях, также присутствуют дополнительные взаимодействия, такие как ван-дер-ваальсовы взаимодействия между алкильными цепями,  $\pi$ - $\pi$ -взаимодействия и водородные связи между полярными группами.

Очевидно, что такие взаимодействия могут возникать и между молекулами ИЖ и аналитов, имеющих соответствующие функциональные группы. Это открывает широкие возможности для регулирования эффективности ионизации аналитов разных классов, используя соответствующие ионные жидкости.

Влияние длины углеводородного радикала для разных анионов имеет неоднозначный характер. Отсутствие простых зависимостей ограничивает предсказательные возможности при варьировании длины углеводородных радикалов рассмотренных ионных жидкостей.

Таким образом, получены информативные масс-спектры ИЖ, которые можно использовать для идентификации аналитов. Анализируемые ИЖ могут быть использованы в качестве матриц МАЛДИ, поскольку они не образуют димеров, ассоциатов, характеризуются отсутствием аддуктов с ионами металлов, что важно для их дальнейшего использования в качестве матриц.

Установлено влияние катиона и аниона в структуре ИЖ на способность генерировать интенсивный масс-спектр в условиях ЛДИ.

УДК 543

**ОЦЕНКА ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА РЕКИ ИШИМ<sup>1</sup>****Ларина Н.С.<sup>1</sup>, Шуплецова П.А.<sup>1</sup>, Белоусова Ю.О.<sup>1</sup>, Ларин С.И.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Тюменский государственный университет,**Россия 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, д.6;*<sup>2</sup>*Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, 620026, Тюмень, ул. Малыгина, д.86;**e-mail: [nslarina@yandex.ru](mailto:nslarina@yandex.ru)*

В работе дана оценка экологического состояния малых рек (на примере р. Карасуль) по результатам комплексного химического анализа вод, взвешенных веществ и донных отложений, отобранных вблизи населенных пунктов, расположенных на реке и ее притоках, оценена информативность разных объектов анализа и степень антропогенного воздействия.

The paper provides an assessment of the ecological state of small rivers (on the example of the Karasul river) based on the results of a complex chemical analysis of waters, suspended solids and bottom sediments sampled near settlements located on the river and its tributaries. The information content of various objects of analysis and the degree of anthropogenic impact were assessed.

Малые реки представляют собой начальное звено в формировании крупной реки, а также во многом определяют гидроэкологическую ситуацию крупных рек, регулируют водный режим ландшафтов, осуществляют распределение влаги [1]. Они отличаются высокой уязвимостью к загрязнениям, интенсивная хозяйственная деятельность им наносит значительный вред. Для оценки антропогенного воздействия на речные экосистемы необходимо иметь информацию о качестве вод, наличии источников загрязнения и степень их воздействия на водотоки, о концентрации и формах нахождения основных токсикантов в водной толще и донных отложениях [2-4]. Поэтому целью данного исследования являлось определение основных геохимических показателей качества вод, донных отложений и взвешенных частиц реки Карасуль и ее притоков с использованием комплекса методов химического анализа для оценки экологического состояния малой реки и ее притоков.

Пробы воды и донных отложений р. Карасуль и ее притоков (реки Мергенька, Черемшанка и Таловка) были отобраны в августе 2020г. (рис.1) в соответствии с нормативными требованиями [5]. Пробы воды фильтровались и проводился отдельно анализ фильтрованной воды и взвешенных веществ, а также донных отложений в каждой точке отбора, приуроченных к населенным пунктам, расположенным на берегах рек.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00734А, проекта №АААА-А17-117051850064-0 (Госзадание) на оборудовании ЦКП ТюмГУ (Министерство науки и высшего образования РФ, контракт 05.594.21.0019).

Ионный состав определялся методом капиллярного электрофореза («Капель»), металлы – методами РФА, АЭС с ИСП, ААС, остальные показатели традиционными химическими и физико-химическими методами.

Изучение гидрохимического состава вод позволило выделить на реке 2 участка, значительно различающихся по составу (рис.2). Диаграммы наглядно показывают существенное изменение типа воды от сульфатно-хлоридного (у истоков реки) до гидрокарбонатно-хлоридного. Это свидетельствует о значительной антропогенной нагрузке на реку, причем населенные пункты, расположенные на реке вносят различный вклад в загрязнение рек.

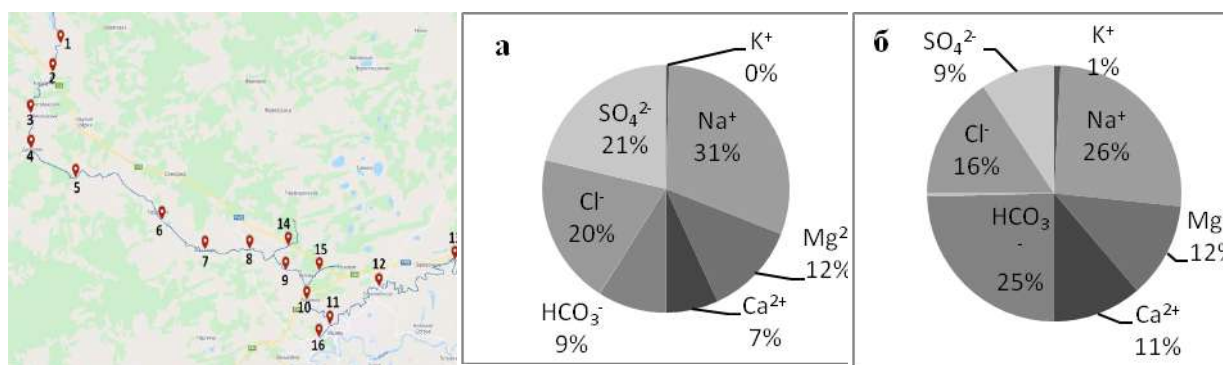


Рис. 1 Места отбора проб воды и донных отложений на р. Карасуль и ее притоках  
 Рис.2. Диаграммы Толстихина гидрохимического состава воды в верхней (а - точки 1-4) и нижней (б) частях р. Курасуль

Взвешенные частицы играют важную роль в миграции органического вещества, фосфатов и тяжелых металлов. Практически на всех реках имеется большое количество плотин и мостов, которые затрудняют движение воды, а порой прерывают сток реки. Из-за этого взвешенные частицы, содержащие органические вещества, фосфат-ионы и тяжелые металлы накапливаются в местах застоя и оседают на дно. Поэтому содержание исследуемых элементов на протяжении рек весьма неоднородно и в ряде случаев критично. Также не исключено влияние антропогенного загрязнения в населенных пунктах, что сказывается не только на качестве вод, но и, отлагаясь в донных отложениях, является возможным источником вторичного загрязнения рек. Комплексный анализ малых рек позволяет проводить мониторинг их изменения со временем, оценивать наличие и степень воздействия источников загрязнения.

#### Литература

1. Черняев А. М. Вода России. Малые реки. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2001.
2. Viers J., Dupré B., Gaillardet J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database //Science of the total Environment. 2009. №. 2 (407). С. 853-868.
3. Ларина Н.С., Катанаева В.Г., Шелтакова Н.А. Техногенное загрязнение природных вод. Тюмень: Мандр-Ика, 2004.
4. Калинин В. М., Ларин С. И., Романова И. М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия (на примере Восточного Зауралья). Тюмень: Тюменский государственный университет, 1998.
5. Ларина Н. С., Катанаева В. Г., Ларина Н. В. Практикум по химико-экологическому мониторингу окружающей среды. Шадринск: Шадринский Дом Печати, 2007.



УДК 543.54

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ  
РАЗДЕЛЕНИЯ САХАРОВ В УСЛОВИЯХ ГИДРОФИЛЬНОЙ  
ХРОМАТОГРАФИИ****Лаптев А.Ю., Шеболкина О.А., Крашенинина С.В.,  
Рожманова Н.Б., Нестеренко П.Н.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Химический факультет, 119991 Москва, Россия;  
e-mail: [andrey.u.l@mail.ru](mailto:andrey.u.l@mail.ru)*

Изучено хроматографическое поведение углеводов на комплексообразующем сорбенте в свободной форме ( $H^+$ - форме) и в форме комплексов с ионами металла ( $Pb^{2+}$  и  $La^{3+}$ ) в условиях гидрофильной хроматографии при различных температурах и соотношениях ацетонитрил - вода в подвижной фазе. Установлено, что сорбент в форме комплексов с ионами металла показывает более высокие коэффициенты удерживания и селективности по сравнению с сорбентом в свободной форме. Наилучшее разделение было достигнуто при использовании смеси состава 80:20 об.% ацетонитрил – вода в подвижной фазе.

The chromatographic behavior of carbohydrates on a complexing sorbent in free form ( $H^+$  form) and the form of complexes with metal ions ( $Pb^{2+}$  and  $La^{3+}$ ) under hydrophilic chromatography at different temperatures and acetonitrile-water ratios in the mobile phase was studied. It was shown that the sorbent in the form of complexes with metal ions shows higher retention and selectivity coefficients compared to the sorbent in free form. The best separation was achieved at a ratio of mobile phase components of 80:20 acetonitrile – water.

Гидрофильная хроматография - современный аналитический метод, который сочетает в себе использование неподвижных фаз, характерных для НФ ВЭЖХ, и подвижных фаз, используемых в ОФ ВЭЖХ, и может с успехом применяться для разделения и определения разнообразных полярных и ионных соединений. В основе механизма удерживания в гидрофильной хроматографии лежат различные типы взаимодействий, включая донорно-акцепторные, ван-дер-ваальсовы, гидрофобные, электростатические, образование водородных связей и др. Селективность разделения в этом случае определяется соотношением вкладов этих взаимодействий в удерживание, что в первую очередь зависит от свойств сорбента. Среди неподвижных фаз, используемых в гидрофильной хроматографии, наиболее распространенными являются немодифицированный силикагель и силикагель, модифицированный амино- [1], диольными-, амидными или цвиттер-ионными группами. Однако до сих пор не синтезирован универсальный сорбент, подобный октадецилсиликагелю в ОФ ВЭЖХ. К настоящему времени в гидрофильной хроматографии не используются комплексообразующие

сорбенты, реализующие механизм координационных взаимодействий аналогично лигандообменной хроматографии, поэтому важной проблемой является поиск новых сорбентов.

В данной работе изучен комплексообразующий сорбент на основе силикагеля с размером частиц 6 мкм и привитыми группами иминодиуксусной кислоты в свободной форме ( $H^+$ - форме) [2] и в форме комплексов с ионами металла ( $Pb^{2+}$  и  $La^{3+}$ ) в условиях гидрофильной ВЭЖХ при разделении моно-, ди-, и трисахаридов. Данный сорбент подходит для использования в гидрофильной хроматографии, так как содержит гидрофильные заряженные карбоксильные и имино- группы.

Определены термодинамические характеристики адсорбции данного сорбента. Построены линейные зависимости логарифма удерживания от обратной температуры. Полученные значения энтальпии и энтропии адсорбции по уравнению Вант-Гоффа являются отрицательными, следовательно, адсорбция в условиях гидрофильной ВЭЖХ является экзотермическим процессом.

Показана возможность разделения аномерных форм сахаров на комплексообразующем сорбенте в свободной форме при температуре  $30^{\circ}C$ , однако селективность их разделения снижается с повышением температуры. При высокой температуре взаимное превращение аномеров ускоряется, и пики сливаются в один. Использование сорбента с ионами переходного металла позволило изменить формы пиков за счет ускорения равновесного процесса образования аномеров углеводов.

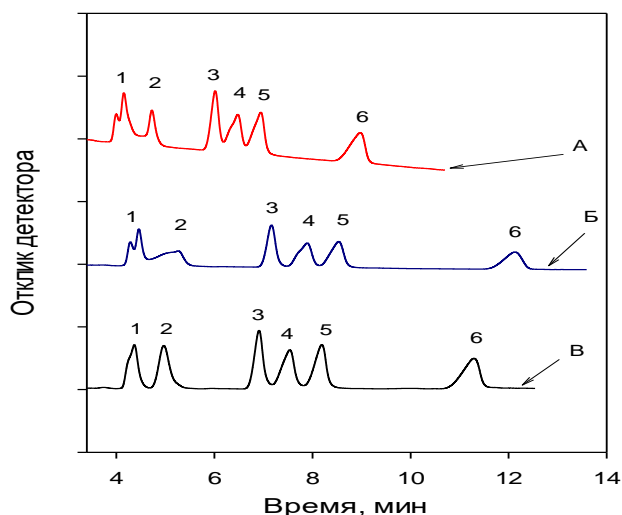


Рис. Хроматограмма модельной смеси углеводов. Сорбент: А - немодифицированный, Б - модифицированный ионами металла  $Pb^{2+}$  и В -  $La^{3+}$ . Элюент: ацетонитрил-вода (80:20). Колонка: 250 x 4,00 мм; 1 мл/мин,  $T=30^{\circ}C$ . 1 - Ксилоза, 2 - Фруктоза, 3 - Сахароза, 4 - Мальтоза, 5 - Лактоза, 6 - Мальтотриоза.

## Литература

1. Нестеренко П.Н., Савельев В.И. Высокоэффективная жидкостная хроматография смеси моно-, ди- и трисахаридов с использованием в качестве подвижной фазы смеси ацетон-этилацетат-вода. // Журн. аналит. химии. 1990, Т. 45. № 6. С. 1134-1139.
2. Нестеренко П.Н., Шпигун О.А. Высокоэффективная комплексообразовательная хроматография ионов металлов на сорбентах с привитой иминодиуксусной кислотой. // Координационная химия. 2002. Т.28. № 10. С.772-782.

УДК 541. 182.7

**ПРИРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ (КЛИНОПТИЛОЛИТСОДЕРЖАЩИЕ  
ТУФЫ) КАК СРЕДСТВО ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

**Никашина В.А.**

*ГЕОХИ РАН, Россия, 119991, Москва, ул. Косыгина 19;  
e-mail: [nikashina\\_v@mail.ru](mailto:nikashina_v@mail.ru)*

Цель сообщения – представить информацию о сорбционных свойствах клиноптилолитсодержащих туфов (КЛТ) различных месторождений на примере сорбции ионов Cs и Sr из растворов различной минерализации. Отметить кинетические особенности КЛТ (2-х стадийность кинетики), показать необходимость и возможность математического моделирования процесса очистки вод на КЛТ как геохимическом барьере с учетом его кинетических особенностей.

The purpose of the communication is to present the data on the study of the sorption properties of clinoptilolite-containing tuffs (CLTs) from various deposits using the example of the sorption of Cs and Sr ions from solutions of various mineralization. Show the kinetic features of this sorbents (2-stage kinetics), the possibility of mathematical modeling of the process of water purification from Cs and Sr on CLT as a geochemical barrier.

Как известно, к недорогим, доступным и весьма эффективным природным сорбентам относятся цеолитсодержащие породы вулканогенного, вулканогенно-осадочного и осадочного происхождения (туфы, трепела и др.), значительные месторождения которых находятся в разных регионах мира, в том числе и в России. Регулярные Международные конференции по природным цеолитам в течение более 40 лет проводятся в самых разных странах мира, что свидетельствуют о большой практической важности этого природного сорбента. Новые результаты, представленные на 10-ой Международной конференции (Zeolites - 2018) в Кракове (Польша), указывают на устойчивое будущее науки о природных цеолитах. В СССР до 1991 г. существовала Госпрограмма «Природные цеолиты России», проводились Всесоюзные конференции по результатам исследования и использованию природных цеолитсодержащих туфов в народном хозяйстве. В настоящее время уровень исследований природных сорбентов, в том числе и КЛТ, которые можно было бы использовать для решения экологических проблем, заметно снизился. Это явилось основанием для представления на Симпозиуме результатов исследований природных КЛТ, полученных в лаборатории сорбционных методов ГЕОХИ РАН. Обоснованный выбор природных сорбентов, в том числе и КЛТ является одним из важнейших этапов при решении различных, в том числе и экологических задач.

В лаборатории сорбционных методов ГЕОХИ РАН в течение 40 лет исследовались КЛТ различных месторождений и их особенности. Изучены кинетические особенности КЛТ. Основным компонентом туфа является клиноптилолит, обладающий уникальными ионообменными свойствами, связанными с особенностями его структуры, превращающей этот материал в природный наноструктурированный сорбент. Особенности его структуры являются причиной более медленной (двухстадийной) кинетики процесса, но после достижения равновесия КЛТ обеспечивает устойчивое сохранение сорбированного загрязнения (например, р/а Sr как наименее сорбированного иона в паре Sr-Cs). Это свойство послужило основанием для оценки возможности использования КЛТ в качестве геохимического барьера. В связи с этим **1-ый шаг** при исследовании природных сорбентов – количественное определение минералогического и химического состава исследуемой породы.. **2-ой шаг** – исследование кинетики сорбции исследуемых ионов-загрязнителей для определения времени установления равновесия. **3-ий шаг** – на основе полученных равновесных и кинетических данных расчет времени защитного действия барьера с использованием разработанных программ по математическому моделированию динамического сорбционного процесса на КЛТ.

Эти этапы исследования были нами реализованы при решении 2-х практически важных задач. 1-ая задача – дезактивация природных вод, загрязненных в результате аварии в Якутии (объект «Кратон») на КЛТ месторождения Хонгуруу (Якутия) от радиоактивных  $Sr^{2+}$  и  $Cs^+$ , и 2-ая задача – дезактивация загрязненных грунтовых вод в Казахстане при использовании местного КЛТ месторождения Чанканай. На основе детального исследования природных образцов КЛТ, равновесных и кинетических характеристик математиками физфака МГУ было осуществлено математическое моделирование динамического процесса сорбции и решены задачи по расчету размеров геохимических барьеров в зависимости от свойств конкретного природного КЛТ и природных условий (например, скорости фильтрации природной воды). Результаты опубликованы.[1,2].

В лаборатории также синтезированы и изучены свойства модифицированных КЛТ, которые также могут быть использованы в качестве проницаемых геохимических барьеров.

#### **Литература**

1. Никашина В.А., Серова И.Б., Кац Э.М., Тихонов Н.А., Токмачев М.Г., Новгородов П.Г., Сорбционные и хроматографические процессы //т.10, вып.6, с.949-958 (2010).
2. V.A. Nikashina, I.V. Serova, E.M. Kats, M.G. Tokmachev, E.S. Toropchenova, A.V. Zhilkina, T.G.Kuz'mina, and K.Bulnova , *Geochemistry International*, Vol.55, issue 1, p.p.36-46 (2017).

УДК 543; 543.6; 544; 674.81

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШПОНА БЕРЁЗЫ И УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ФОРМАЛЬДЕГИДА И МЕТАНОЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ШПОНА МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

**Хабаров В.Б.**

*ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;  
e-mail: [victor.khabarov2013@yandex.ru](mailto:victor.khabarov2013@yandex.ru)*

Приведены результаты газохроматографического анализа санитарно-химических характеристик шпона при гидротермической обработке заготовок берёзы при температуре 40-45°C в течение 4, 12, 48 ч и удельных выбросов формальдегида и метанола в окружающую среду при высушивании шпона в газовой сушилке в промышленных условиях.

The results of gas chromatographic analysis of sanitary and chemical characteristics of veneer during hydrothermal treatment of birch blanks at a temperature of 40-45°C for 4, 12, 48 hours and specific emissions of formaldehyde and methanol into the environment during drying of veneer in a gas dryer under industrial conditions are presented.

Для проведения работ по охране окружающей среды целесообразно определять методом газовой хроматографии санитарно-химические характеристики древесных композиционных материалов [1-3] и удельные выбросы органических веществ при производстве композиционных материалов [4].

В [4] определены методом газовой хроматографии удельные выбросы органических веществ, выделяющихся из ПВХ-пластизолей, в промышленных и моделированных условиях. Удельные выбросы дибутил-, бутилбензил- и диоктилфталата, выделяющихся из ПВХ-пластизолей, в промышленных условиях ниже в 4,2 раза по сравнению с величинами удельных выбросов в моделированных условиях.

Санитарно-химические характеристики шпона, изготовленного на лущильном станке в промышленных условиях при гидротермической обработке заготовок берёзы при температуре 40-45°C в течение 4, 12 и 48 ч (табл. 1), определяли методом газовой хроматографии с помощью устройства для парофазного анализа [1].

Результаты санитарно-химических исследований шпона берёзы (табл. 1) использовали для определения удельных выбросов формальдегида и метанола в окружающую среду из шпона в газовой сушилке в промышленных условиях (табл. 2).

Из табл. 1 следует, что режим гидротермической обработки древесины берёзы при температуре 40-45°C в течение 4 ч является

оптимальным, содержание в шпоне формальдегида больше в 2 раза и метанола в 1,5 раз по сравнению с древесиной берёзы не подвергнутой гидротермической обработке. При производстве шпон не рвется и равномерен по толщине. Увеличение режима гидротермической обработки заготовок берёзы при температуре 40-45°C до 12 и 48 ч приводит к увеличению содержания в шпоне формальдегида в 2 и 2,5 раза, и метанола 2,5 и 3,6 раза по сравнению с режимом гидротермической обработки заготовок берёзы при температуре 40-45°C в течение 4 ч.

Таблица 1. Санитарно-химические характеристики шпона толщиной 1,55 мм при различных режимах гидротермической обработки заготовок древесины берёзы методом газовой хроматографии, мг/100 г и мг/м<sup>2</sup>

№ п	Режим гидротермической обработки заготовок древесины берёзы диаметром 25 см при температуре 40-45°C	Концентрация в шпоне			
		мг/100 г		мг/м <sup>2</sup>	
		Формальдегид	Метанол	Формальдегид	Метанол
1	Гидротермическую обработку древесины не проводили	0,45	0,65	4,5	6,5
2	Гидротермическая обработка древесины в течение 4 ч	0,85	0,98	8,5	9,8
3	Гидротермическая обработка древесины в течение 12 ч	1,73	2,43	17,3	24,3
4	Гидротермическая обработка древесины в течение 48 ч	2,11	3,48	21,1	34,8

Таблица 2. Удельные выбросы формальдегида и метанола в окружающую среду при различных режимах гидротермической обработки заготовок берёзы при производстве шпона берёзы объёмом 20000 м<sup>3</sup> в год, кг

№ п	Режим гидротермической обработки заготовок древесины берёзы диаметром 25 см при температуре 40-45°C	Удельные выбросы при производстве шпона объёмом 20000 м <sup>3</sup> в год, кг	
		Формальдегид	Метанол
1	Гидротермическую обработку древесины не проводили	58	84
2	Гидротермическая обработка древесины в течение 4 ч	110	127
3	Гидротермическая обработка древесины в течение 12 ч	223	314
4	Гидротермическая обработка древесины в течение 48 ч	273	449

Из табл. 2 следует, что увеличение режима гидротермической обработки заготовок древесины берёзы при температуре 40-45°C до 12 и 48 ч приводит к увеличению удельных выбросов в окружающую среду формальдегида в 2 и 2,5 раза и, соответственно, метанола 2,5 и 3,6 раза при сушке шпона в газовой сушилке в промышленных условиях по сравнению с заготовкой древесины берёзы не подвергнутой гидротермической

обработке.

### **Заключение**

Использование метода газовой хроматографии [1] для определения санитарно-химических характеристик шпона берёзы при различных режимах гидротермической обработки заготовок древесины берёзы для изготовления шпона и удельных выбросов формальдегида и метанола, выделяющихся из шпона в газовой сушилке, обеспечивает производить шпон в промышленных условиях с пониженным выделением удельных выбросов формальдегида и метанола в окружающую среду.

### **Литература**

1. *Хабаров В.Б.* Определение формальдегида, метанола и метилалля в фанере, шпоне, и карбаминоформальдегидной смоле с помощью нового устройства для парофазного анализа // Аналитика и контроль. 2013. Т.17. № 2. С. 196-2003.
2. *Хабаров В.Б.* Санитарно-химические характеристики композиционных древесных материалов и синтетических смол по данным газовой хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т. 15. № 2. С. 196-215.
3. *Хабаров В.Б., Лебедев С.Н.* Санитарно-химическая экспертиза мебели и древесных композиционных материалов. Инновационные методики на основе газовой хроматографии // Лаборатория и производство. 2019. № 4. С. 116-130. DOI: 10.32757/2619-0923.2019.4.8.116.130.
4. *Хабаров В.Б.* Определение удельных выбросов органических веществ при производстве обоев на основе поливинилхлорида методом газовой хроматографии // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. 2016. № 7-8.

УДК 543; 543.6; 544; 674.81; 674.816; 684

**О НОРМАТИВНОМ ПРАВОВОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ  
ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА «О БЕЗОПАСНОСТИ  
МЕБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ» ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ САНИТАРНО-  
ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

**Хабаров В.Б.<sup>1</sup>, Лебедев С.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;*

<sup>2</sup>*НИОКО «Биоэкомониторинг», Россия, г. Москва, ул. Большая дорога, 11Б;*

*e-mail: [victor.khabarov2013@yandex.ru](mailto:victor.khabarov2013@yandex.ru)*

Нормативное правовое обеспечение ТР ТС «О безопасности мебельной продукции» [1] в части санитарно-химических исследований мебельной продукции проводимой в соответствии с ГОСТ 30255-2014 [2] в камерах из нержавеющей стали объемом от 1 до 50 м<sup>3</sup>, не обеспечивает получение спектрофотометрическими методами достоверных количественных результатов по формальдегиду, фенолу и аммиаку.

Regulatory legal support of the CU TR «On the safety of furniture products» [1] in terms of sanitary and chemical research of furniture products carried out in accordance with GOST 30255-2014 [2] in stainless steel chambers with a volume of 1 to 50 m<sup>3</sup>, does not provide spectrophotometric methods reliable quantitative results for formaldehyde, phenol and ammonia.

Перечень стандартов [3] к техническому регламенту Таможенного союза (ТР ТС 025/2012) «О безопасности мебельной продукции» [1] для обеспечения выполнения санитарно-химических исследований мебельной продукции и применяемых при ее производстве композиционных древесных материалов (КДМ) и полимерсодержащих строительных материалов (ПСМ) не соответствует требованиям нормативно-правового обеспечения технического регламента по причинам нарушений:

- Федеральных законов (ФЗ): «Об обеспечении единства измерений» (гл. 1, ст. 1, п. 3, 4) и «О техническом регулировании» (гл. 2, ст. 7, п. 1);

- ГОСТ 8.010-2013 [4];

- приказов Минпромторга РФ, для исполнения ФЗ «Об обеспечении единства измерений» и «О техническом регулировании»: от 3.09.2008 г. № 119; от 15.12.2015 г. № 4091; от 30.07.2015 г. № 2167.

До настоящего времени не выполнено поручение Правительства РФ от 23.06.2017 г. № АХ-П9-4051 о внесении изменений в перечень стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) для проведения достоверных измерений показателей химической безопасности мебельной продукции установленных ТР ТС 025/2012 [1].

В подготовленных МТК 135 «Мебель» в период с 2014 по 2019 годы по планам межгосударственной стандартизации стандартах (методиках) на методы измерений, внесенных в указанный перечень: ГОСТ 30255-2014 [2], ГОСТ 34039-2016, ГОСТ 34040-2016, ГОСТ 34041-2016, ГОСТ 34042-2016 и ГОСТ 34404-2018, не установлены объекты измерений и задаваемые исходные параметры химической безопасности для



испытываемой мебельной продукции, КДМ и ПСМ. Без обоснований в перечень внесены стандарты (методики) для оценки качества воздушной среды, не имеющие процедуры кондиционирования испытываемой продукции, которая обязательна для такого объекта технического регулирования. Оценка качества воздушной среды взамен определения миграции вредных летучих химических веществ (ЛХВ) из мебельной продукции, КДМ и ПСМ нарушает правильность проведения оценки соответствия установленных требований к объектам технического регулирования для ТР ТС 25/2012 [1]. В указанные стандарты внесены принципиальные технические изменения по наименованиям стандартов, области применения и методам определения вредных ЛХВ, противссылочных стандартов EN 717-1:2004 [5] и ISO 12460-1:2007 [6] без документированного обоснования и с нарушениями правил и рекомендаций по стандартизации по ГОСТ ГОСТ 1.5-2001 (п.7.9.5, п.7.9.11) [7] и ГОСТ 8.010-2013 [4].

Разработанные ГОСТ 34039-2016, ГОСТ 34040-2016, ГОСТ 34041-2016 и ГОСТ 34042-2016 для определения миграции фосфорного ангидрида, цианистого водорода, хлористого водорода и диоксида серы не имеют практического применения, поскольку из мебели и КДМ эти ЛХВ не выделяются [8]. ГОСТ 30255-2014 [2] представленный в Перечне стандартов ТР ТС 025/2012 [1] в качестве основополагающего для обеспечения контроля за выделением ЛХВ из всех видов мебельной продукции, КДМ и ПСМ фактически позволяет выполнять измерения неселективными спектрофотометрическими методами формальдегида, аммиака и фенола. Других методов измерений ЛХВ в стандарте нет, как и ссылок на соответствующие НТД. Этим пробелом пользуются недобросовестные производители мебели и органы по сертификации, которые путем ссылки на ГОСТ 30255-2014 [2] повсеместно представляют подтверждения химической безопасности мебельной продукции любого вида без проведения достоверных измерений показателей ЛХВ, поскольку ограниченные возможности установленных процедур выполнения измерений вошли в полное противоречие с областью применения и наименованием этого стандарта.

При необходимости в рамках ТР ТС 025/2012 [1] возможно проводить испытания двух объектов технического регулирования – для испытываемой продукции и воздуха исследуемого в качестве модельной среды, однако официального подтверждения этому нет. При этом в Перечень стандартов внесена путаница, когда для оценки миграции вредных ЛХВ из мебельной продукции в климатической камере допущено равное применение методов измерений для разных объектов технического регулирования - например, по ГОСТ 30255-2014 [2] выделение формальдегида определяется с кондиционированием изделия 28 дней, а по КМС 752;2013 [9] с выдержкой его в камере 24 часа, что соответствует оценке только воздушной среды.

Сложившееся положение с отсутствием обязательных требований предъявляемых к конкретным объектам технического регулирования нарушает нормативную основу федерального закона «О техническом регулировании» (гл.1, ст. 2) по которой процедуры оценки и подтверждения соответствия должны представляться в виде документального удостоверения соответствия продукции требованиям ТР ТС 025/2012 [1].

**Заключение.** Анализ показывают на необходимость приведения Перечня стандартов предназначенных для применения в ТР ТС 025/2012 [1] в соответствие с нормативными правовыми нормами, подготовленными во исполнение ФЗ «О техническом регулировании», «Об обеспечении единства измерений» и применения научно-обоснованных селективных газохроматографических методик измерения, обеспечивающих возможность проводить объективную санитарно-химическую оценку мебели и КДМ по формальдегиду, метанолу, аммиаку, фенолу, крезолам (в мг/м<sup>3</sup>, мг/100 г, мг/м<sup>2</sup>.час при температуре 60°C) и контролировать производство мебели и КДМ на высоком техническом уровне методом газовой хроматографии [8, 10, 11].

## Литература

1. Технический регламент Таможенного союза 025/2012 «О безопасности мебельной продукции». Принят Евразийской экономической комиссией 15.07.2012, № 32.
2. ГОСТ 30255-2014. МГС. Мебель, древесные и полимерные материалы. Метод определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ в климатических камерах. М.: Стандартинформ. 2014. 16 с. Введ. 01.07.2015.
3. Перечень стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения ТР ТС 025/2012 «О безопасности мебельной продукции» и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования. Утв. решением ЕЭК от 18.10.2012 г. № 189 (действует в ред. ЕЭК от 07.11.2017, № 136).
4. 8.010-2013. ГСИ. Методики выполнения измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ. 2013. 25 с. Введ. 01.03.2015.
5. Стандарт EN 717-1:2004. Плиты древесные. Определение выделения формальдегида. Часть 1. Определение выделения формальдегида с использованием испытательной камеры.
6. Международный стандарт ISO 12460-1:2007. Плиты древесные. Определение выделения формальдегида. Часть 1. Определение эмиссии формальдегида методом однокубовой камеры.
7. ГОСТ 1.5-2001 МГС. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению. М.: Стандартинформ. 2002. 105 с. Введ. 01.07.2002.
8. *Хабаров В.Б., Лебедев С.Н.* Санитарно-химическая экспертиза мебели и древесных композиционных материалов. Инновационные методики на основе газовой хроматографии // Лаборатория и производство. 2019. № 4. С. 116-130. DOI: 10.32757/2619-0923.2019.4.8.116.130.
9. КМС 752;2013. Мебель, древесные полимерные материалы. Метод определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ из мебели, древесных и полимерных материалов в воздух закрытых камер. Общие требования. Утв. 18.11.2013 ЦСМ при МЭ КР.
10. *Хабаров В.Б.* Санитарно-химические характеристики композиционных древесных материалов и синтетических смол по данным газовой хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т. 15. № 2. С. 196-215.
11. *Хабаров В.Б., Лебедев С.Н.* О достоверности санитарно-химических исследований мебели и древесных композиционных материалов спектрофотометрическим методом и методом газовой хроматографии // Сборник международной научно-практической конференции «Смолы 2020» Современные подходы и предложения по обеспечению экологической, химической и санитарной безопасности технологических процессов производства формальдегидных смол и продукции на их основе 29-30 октября 2020. Витебск, 2021, с. 92-95.

УДК:554.634.076.326

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Дроздов В.И.

ООО «АСТУР-Тепло», Россия, 394074, г. Воронеж, ул. Ростовская, 58/10-156  
e-mail: [Droz2511@yandex.ru](mailto:Droz2511@yandex.ru)

Теоретическим методом дано объяснение ряда стандартных окислительно-восстановительных потенциалов. К расстановке по энергии ионизации внесена поправка на «провал» валентного электрона. Выведена формула потенциала в зависимости от электронной структуры атома.

The theoretical method is used to explain a number of standard redox potentials. The ionization energy arrangement has been corrected for the “fail” of the valence electron. The formula of the potential is derived depending on the electronic structure of the atom.

Первым фактором, сформировавшим потенциалы, является энергия ионизации.

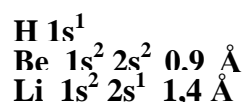
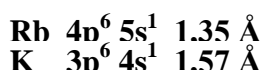
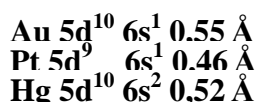
Li	Rb	Cs	Ca	Cu	Ag	Hg	Pt	Au
5,4	4,2	3,9	6,1	7,7	7,6	10,4	9,0	9,2 e-V

Статистика распределения подтверждает этот факт. Металлы с высокой энергией ионизации собираются в правой части ряда, а с низкой - в левой. Но локально видны многочисленные аномалии. Причина: Электрон имеет способность «провала» на подуровни атома. Это дает дополнительный положительный прирост потенциала. «Провал» валентного электрона исследуется на примере золота.

Валентный 6s-электрон обменивается квантом энергии с любым партнером 5d-подуровня, после чего становится 5d-электроном и устремляется на 5d-орбиталь. А 5d-партнер, изменяя свою энергию, становится 6s-электроном и переходит на 6s-орбиталь.

Критерии «провала» определяются условиями передачи энергии. Наибольшая вероятность «провала» у металлов с меньшим расстоянием между уровнями. Этот параметр рассчитывается по разнице между радиусом атома и радиусом иона в ангстремах Å.

Также имеет значение максимальное количество электронов на подуровне и минимальное количество электронов на валентной орбитали. Для подтверждения гипотезы были отобраны группы металлов с хорошими условиями «провала» и проведено сравнение с металлами с плохими условиями «провала».



Выведена эмпирическая формула зависимости потенциала от электронной структуры атома.

УДК 614:614.7+574.22

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ НИЗКОДОЗОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ <sup>1</sup>

**Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е.**

*ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора,  
Россия 141014, г. Мытищи, Московской области, ул. Семашко, д.2.  
e-mail: [bondarevalg@fferisman.ru](mailto:bondarevalg@fferisman.ru)*

Использование физико-химических методов, основанных на различных принципах детектирования аналитического сигнала, позволяют с высокой результативностью могут быть использованы при оценке низкодозового воздействия на живые организмы.

The use of physicochemical methods based on various principles of detecting an analytical signal, can be used with high efficiency in assessing low-dose exposure to living organisms.

Как отмечено в Экологической доктрине РФ, в современных условиях в связи с постоянно растущими темпами антропогенного влияния на природные комплексы, требуется совершенствование системы показателей, создание методологии экологического мониторинга, включая комплексную оценку состояния окружающей среды.

Цель – оценить возможность использования перечня физико-химических методов при изучении сочетанного низкодозового воздействия многочисленных факторов, как на экосистему в целом, так и на живые организмы в частности.

В настоящее время идет накопление данных по поводу как ингибирующих, так и активирующих эффектов низкоинтенсивных факторов – радиационных, химических, электромагнитных на живые организмы. Экспоненциально растет упоминание термина «гормезис»/«горметик», обозначающего нелинейность биологического отклика на низкодозовое воздействие в координатах доза-эффект. Однако биохимические и клеточные механизмы низкодозовых эффектов пока еще не ясны несмотря на то, что имеется насущная необходимость в понимании и прогнозировании откликов организмов на действие низкоинтенсивных факторов. Исследование этих механизмов может быть связано с использованием простейших биологических тестовых систем –

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Отраслевой программы Роспотребнадзора на 2021-2025 г.

клеточных и ферментативных, например, люминесцентных бактерий и их ферментативных реакций. Использование таких систем упрощает изучение физико-химических процессов (таких как переносы энергии, электрона/заряда, водорода), а также выявление роли радикальных процессов, лежащих в основе откликов живых систем на низкоинтенсивные воздействия. Предлагаемый физико-химический подход унифицирует действие факторов на организмы и может являться основой прогнозирования результатов низкоинтенсивных на организмы различного уровня организации, включая человека. Результатом такого подхода должно стать систематика, устанавливающая связи между физико-химическими характеристиками воздействий (концентрация, полярность, гидрофобность, энергия и природа электронно-возбужденных состояний, интенсивность, время, доза, радиоактивность, частота и др.) и изменением физиологических параметров организмов. Итоговым результатом работы должны стать корреляции между характеристиками низкоинтенсивных воздействий и их влиянием на жизненно важные функции человека.

Нами были использованы следующие методы: гамма- и бета-спектроскопия, для определения уровня содержания изучаемых радионуклидов ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ ); масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой – металлы, в том числе уран; ИК-Фурье спектроскопия – повреждение клеточных мембран растений в условиях воздействия антропогенных загрязнений различного происхождения; биолюминесценция и замедленная флуоресценция – изучение отклика физиологических функций биологических объектов на воздействие антропогенных загрязнений.

Предварительные исследования с использованием перечисленных методов, показали высокую результативность при изучении эффекта гормезиса на живых организмах.

УДК 543.55.054.1

**СОВМЕСТНОЕ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЛЕНА И МЫШЬЯКА НА ОРГАНО-  
МОДИФИЦИРОВАННОМ ГРАФИТОВОМ ЭЛЕКТРОДЕ****Фам К.Н.<sup>1,2</sup>, Слепченко Г.Б.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН ФИЦ «Институт биологии Южных морей им. Ковалевского РАН»,  
299011 Российская Федерация, Севастополь, проспект Нахимова 2;  
e-mail: [famkn@ibss-ras.ru](mailto:famkn@ibss-ras.ru)

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Российская Федерация, Томск, пр. Ленина 30

Изучено вольтамперометрическое поведение мышьяка и селена на графитовом электроде, модифицированный медью и солями арендиазония с заместителем – СООН. Предложена методика выполнения совместного измерения селена и мышьяка в различных объектах.

The voltammetric behavior of arsenic and selenium on a graphite electrode modified with copper and arenediazonium salts with a substituent - COOH has been studied. A technique is proposed for performing joint measurements of selenium and arsenic in various objects.

Недостаточное и бесконтрольное поступление селена и мышьяка в организм человека приводит к возникновению ряда тяжелых заболеваний. Одним их методов определения этих элементов является метод вольтамперометрии (ВА). ВА является простым методом с низкими пределами обнаружения и высокой селективностью определения. В последние годы для определения этих микроэлементов в различных объектах наиболее часто используют твердые электроды (золото, платина, серебро и графит). При использовании электродов из благородных металлов, углерод- и ртутьсодержащих материалов, накладывает определенные ограничения такие как: токсичность, высокая стоимость и т.д. [1]. В настоящее время требуется разработка новых материалов электродов и их модификаторов, превосходящие по чувствительности, воспроизводимости и другим метрологическим характеристикам традиционные углеродсодержащие электроды. Одним из путей данной проблемы является создание органо-модифицированных электродов (ОМЭ). В качестве органических поверхностных модификаторов для серебряного и углеродсодержащих электродов применяют: нафион, тосфлекс, диметилглиоксим, 8-оксихинолин, меркаптан, ацетилцеллюлоза, дитизон и др., в том числе и соли арилдиазония, которые показывают

хорошую растворимость, как в воде, так и в органических растворителях [2].

Цель работы: изучение вольтамперометрического поведения мышьяка и селена на органо-модифицированном графитовом электроде и разработка методики их совместного определения.

В процессе исследования для определения селена в различных объектах методом ВА нами ранее выбран графитовый электрод, модифицированный медью и солями арендиазония с заместителем – COOH (МГЭ – COOH).

Нами изучена возможность оценки мышьяка в условиях вольтамперометрического определения селена. Получена вольтамперограмма селена в присутствии мышьяка и показано, что при соотношении Se:As как 2:1, аналитический сигнал селена увеличивается и смещается в отрицательную область, тангенс угла наклона градуировочной зависимости селена увеличивается. Данный факт возможно объяснить тем, что в данной области соотношений концентраций элементов на электроде наблюдается образование соединения  $As_2Se_3$ . Данное предположение подтверждает и диаграмма состояния системы «мышьяк-селен».

Необходимо для разработки методики определения селена и мышьяка оценить влияние содержания меди в качестве модификатора на поверхности электрода. В результате проведенных исследований доказано, что концентрация меди не оказывает существенного влияния на аналитический сигнал селена, при этом нами замечено значительное уменьшение пика мышьяка до полного его исчезновения при концентрации меди  $0.35 \text{ мг/дм}^3$ , хотя по диаграмме состояния этой системы не наблюдаются какие-либо образования.

Из полученных экспериментальных исследований нами предложена методика выполнения совместного измерения селена и мышьяка в различных объектах. Используя метод добавок, определяли их содержание. Данный способ совместного определения селена и мышьяка можно использовать для контроля микроэлементов в различных объектах.

## Литература

1. Вольтамперометрическое поведение йода, селена и никеля на органо-модифицированных электродах//диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2012.
2. Kariuki J.K., McDermott. Formation of multilayers on glassy carbon electrodes via the reduction of diazonium salts // Langmuir. – 2001. – V.17. – P. 5947–5951 Saby C., Ortiz B., Champagne G.Y., Belanger D. Electrochemical modification of glassy carbon electrode using aromatic diazonium salts // Langmuir. –1997. – V.13. – P. 6805–6813.

УДК 543.683

## АНАЛИЗ ФОРМАЛЬДЕГИДА В СТОКАХ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПЬЕЗОСЕНСОРАМИ

Меренкова А.А., Зяблов А.Н.

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,  
394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, e-mail: [alex-n-z@yandex.ru](mailto:alex-n-z@yandex.ru)*

Рассматривается способ определения формальдегида в стоках деревоперерабатывающего предприятия. Проведена модификация поверхности пьезоэлектрических сенсоров полимерами с молекулярными отпечатками. Установлено, что количество формальдегида в стоках не превышает ПДК.

The paper discusses a method for determining formaldehyde in waste water from a wood processing enterprise. The surface modification of piezoelectric sensors was carried out with polymers with molecular imprints. It was found that the amount of formaldehyde in the effluent does not exceed the MPC.

Формальдегид находит широкое применение в различных областях. Он входит в состав клеевых масс, в деревообрабатывающем производстве; присутствует в лакокрасочных и отделочных материалах; применяется при изготовлении пластмасс; используется в качестве консерванта в пищевой промышленности и косметической индустрии; в медицине как антисептик и т.д. [1]. При этом формальдегид является высокоопасным, токсичным веществом, оказывающим сильное влияние на организм человека.

Наибольшее распространение формальдегид нашел на деревообрабатывающих предприятиях при производстве древесно-стружечных изделий (ДСП, ДВП, МДФ) [2]. В процессе этого производства образуются сточные воды, в которых несмотря на наличие систем очистки могут оказаться токсиканты. Для контроля за содержанием формальдегида используют различные методы, тем не менее актуально осуществлять мониторинг непосредственно на производстве в режиме реального времени. В этой связи целесообразно использовать портативные устройства, способные экспрессно и точно определять токсикант. К таким устройствам относятся пьезоэлектрические сенсоры. Цель работы состояла в разработке способа определения формальдегида в стоках деревообрабатывающего производства пьезосенсорами модифицированными полимерами с молекулярными отпечатками (ПМО).

Для реализации этой цели использовали пьезоэлектрические сенсоры. Модификацию их поверхности проводили полимерами на основе сополимера 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты с 4,4'-диаминодифенилосидом [3, 4].



Апробацию полученных сенсоров-ПМО-формальдегид проводили на модельных растворах и при анализе надсмольных частей стоков деревообрабатывающего предприятия ООО «Графская кухня» (г.Воронеж) [5]. В ходе работы установлено, что сенсор способен определять формальдегид в диапазоне концентраций  $1.0 - 1,0 \cdot 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>, предел обнаружения  $6 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup> при этом относительное стандартное отклонение не превышает 2 %.

Анализ надсмольной части производственных стоков выявил наличие формальдегида в количестве  $0,007 \pm 0,001$  моль/дм<sup>3</sup>, что ниже ПДК (0,02 моль/дм<sup>3</sup>).

Таким образом, разработаны и апробированы сенсоры-ПМО-формальдегид. Показано, что ПМО-сенсоры чувствительны только к формальдегиду и на их работу не влияет состав матрицы производственных растворов. Полученные сенсоры рекомендованы для использования на деревообрабатывающем производстве в контроле за содержанием формальдегида в промышленных стоках.

#### **Литература**

1. Захарова А.В. // Международный научный студенческий вестник. 2014. №2. С. 12-18.
2. Шварцман Г.М., Щедро Д.А. Производство древесно-стружечных плит. Москва: Лесная промышленность, 1987.
3. Зяблов А. Н., Дуванова О. В. и др. Патент РФ, № 1138636, 2014.
4. Кривоносова И.А., Дуванова О.В., Зяблов А.Н., Соколова С.А., Дьяконова О.В. // Бутлеровские сообщения. 2015. Т. 42. № 6. С. 152-157.
5. Зяблов А.Н., Меренкова А.А., Бельчинская Л.И., Жужукин К.В. // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 1 (41). С. 78-87.

УДК 543.544

**ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШИРОКОПОРИСТОГО  
ЦЕОЛИТА 13X<sup>1</sup>****Лузанова В.Д., Рожманова Н.Б., Ланин С.Н., Нестеренко П.Н.**

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр.3;  
e-mail: [p.nesterenko@phys.chem.msu.ru](mailto:p.nesterenko@phys.chem.msu.ru)*

Изучены свойства широкопористого цеолита 13X (фожазита) в ВЭЖХ, включая молекулярно-ситовой эффект и удерживание различных по полярности соединений при использовании метанола в качестве элюента. Рассчитаны теплоты адсорбции воды и показана возможность определения воды в органических растворителях.

HPLC performance of wide-pore zeolite 13X (faujasite) in HPLC is studied. The molecular sieve effect and the retention of different polarity compounds in methanol are investigated. The heats of adsorption of water are calculated and the possibility of its determination in organic solvents is shown.

Цеолиты – широкий класс нанопористых адсорбентов, обладающих уникальными адсорбционными, ионообменными и молекулярно-ситовыми свойствами. Развитая пористая структура цеолитов с нанопорами строго определенного размера обеспечивает высокую сорбционную емкость и селективность при разделении низкомолекулярных соединений и ионов. Применение цеолитов в качестве наполнителей колонок широко используется в газо-адсорбционной хроматографии газов и низкомолекулярных органических соединений [1,2]. Существенно меньше известно о применении этих сорбентов в ВЭЖХ [3,4]. Трудности использования цеолитов для жидкофазных разделений связаны с сольватацией внутренней поверхности цеолита элюентом, что изменяет эффективный размер пор в стенках цеолитов, затрудняет диффузию разделяемых соединений в нанопористой структуре сорбента и приводит к появлению нежелательных кинетических эффектов. Данные эффекты менее критичны для широкопористых цеолитов с размером пор 5-7 Å, поэтому настоящее исследование посвящено изучению свойств натриевой формы фожазита 13X в качестве неподвижной фазы для ВЭЖХ.

В работе использовали стальные колонки 250×4,6 мм и 100×4,6 мм, заполненные цеолитом 13X (Ц-202-98, НИОПИК, Москва) со средним размером частиц 5 мкм (рис. 1). Методом рентгеновской дифракции и рентгенофлуоресцентной спектроскопии установлено, что данный сорбент имеет структуру фожазита (LSX) с соотношением Si:Al = 1,228 и находится

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-03-00584а.

в натриевой форме. По данным низкотемпературной адсорбции азота (ВЕТ) пористая структура сорбента представлена, в основном, порами диаметром 7 Å и небольшим количеством пор размером 13, 16 и 19 Å. Удельная поверхность сорбента составляет 618 м<sup>2</sup>/г.

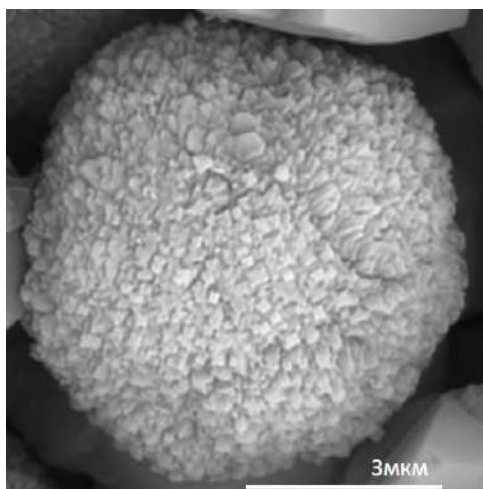


Рис. 1. Сканирующая электронная микроскопия. Цеолит Ц-202-98.

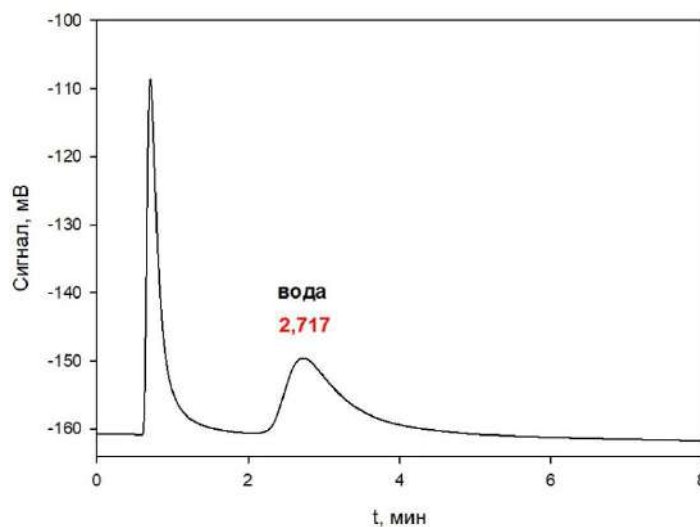


Рис. 2. Хроматограмма ДМФА. Колонка 100 x 4,6 мм, элюент метанол, 1 мл/мин, рефрактометр. V = 20 мкл

В условиях ВЭЖХ согласно условиям [3] был изучен молекулярно-ситовой эффект при использовании в качестве сорбатов ароматических углеводородов (бензол, *o*-, *m*-, *p*-ксилолы, резорцин, пирокатехин) с различными кинетическими диаметрами. При использовании метанола в качестве элюента изучена зависимость удерживания соединений с малыми кинетическими диаметрами от их полярности ( $P'$ ) по шкале Снайдера. Удерживание наблюдали только для соединений с полярностью выше, чем у метанола ( $P' = 5.1$ ), при этом наиболее сильное удерживание отмечено для воды. Из зависимостей Ван Гоффа рассчитаны теплоты адсорбции воды из метанола. Показана возможность прямого определения содержания примесей воды в органических растворителях с использованием рефрактометрического детектора. Так, в диметилформамиде (Реахим, ч.) найдено 1,59 % воды. Соответствующая хроматограмма представлена на рис. 2. Эффективность, рассчитанная по пику воды, для использованных в работе хроматографических колонок не превышала 3600 теоретических тарелок на метр.

### Литература

1. Киселев А.В., Яшин Я.И. Адсорбционная газовая и жидкостная хроматография. М.:Химия. 1979.
2. Цицишвили Г.В., Андроникашвили Т.Г. Цеолиты в газо-адсорбционной хроматографии. Сб. Успехи хроматографии. М., Наука. 1972. С. 226-235.
3. Denayer J.F.M., van der Beker S., De Meyer K.M.A., Martens J.A, Baron G.V. // Studies in Surface Science and Catalysis. 2004, Vol. 154. p. 1944-1949.
4. Dumont P.J., Fritz J.S. // J. High Resol. Chromatogr. 1996, Vol. 19. p. 691-695.

**ПУБЛИКАЦИЯ  
В МАТЕРИАЛАХ  
КОНФЕРЕНЦИИ**

УДК 543.632.9

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, НАНОСИМЫХ НА КОЖУ ЧЕЛОВЕКА

**Нестерович Д.С., Зуев Б.К.**

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук; 119991 РФ, г. Москва, ул. Косыгина, д. 19;  
e-mail: [darya\\_lutohina@mail.ru](mailto:darya_lutohina@mail.ru)*

В работе показана возможность применения инновационного метода термоокислительной спектрометрии для изучения процессов пробоотбора и определения концентрации органических веществ, применяемых в качестве УФ-фильтров в косметических изделиях, наносимых на кожу человека.

The article shows the possibility of using an innovative method of thermo-oxidative spectrometry to study the process of transfer and determination of concentration of organic substances used as UV filters in cosmetic products from the skin surface to the sampler and the process of penetration of organic substances into the skin.

На человека существенное влияние оказывает экологическая обстановка, в которую он попадает. Для комфортного пребывания в сложных условиях человек вынужден применять защитные средства. Так, для предотвращения солнечных ожогов и защиты кожи от серьёзных заболеваний, вызванных воздействием солнечных лучей, применяются косметические солнцезащитные изделия. Действие косметических изделий сводится к защите кожи человека от УФ-излучения солнечного света. Солнцезащитные компоненты (УФ-фильтры) должны быть фотостабильными и не должны приводить к раздражению кожи и не должны проникать через кожу. Поэтому очень важно иметь информацию о фотостабильности используемых УФ-фильтров. УФ-фильтры могут терять свои фотозащитные свойства под действием солнечного излучения, становясь фотоокислительными агентами. Важнейшей экологической проблемой является попадание (смыв) косметических изделий с тела человека при купании в морскую воду. Было доказано многочисленными исследованиями, что некоторые органические УФ-фильтры способны накапливаться в коралловых рифах и разрушать их.

Для изучения фотостабильности УФ-фильтров, наносимых на кожу человека, использовали подход, основанный на получении кинетической зависимости изменения концентрации УФ-фильтра на границе раздела фаз при длительном облучении вещества УФ-лампой. Регистрацию изменения концентрации вещества осуществляли с помощью инновационного метода окитермографии – термоокислительной спектроскопии. Метод не требует использование реагентов, газовых линий, специальных условий, не трудоёмкий и недорогостоящий. Новизна данного метода подтверждена патентами РФ. Работу выполняли на экспериментальной установке, описанной в [1]. Методика выполнения исследования включала два

основных этапа- пробоотбор органического УФ-фильтра и определения органического вещества перенесенного на поверхность пробоотборника. В качестве пробоотборника использовали кварцевую палочку с плоским шероховатым торцом, который прижимали к анализируемой поверхности. Были выполнены исследования по определению оптимальной силы давления пробоотборника на кожу при отборе проб и оптимальном времени пробоотбора. Исследовать и определить эти параметры необходимо для полного отбора проб органических веществ с поверхности кожи и для получения воспроизводимых результатов анализа. В качестве объекта исследования использовали EthylhexylMethoxycinnamate, широко применяемый в качестве УФ-фильтра в солнцезащитных косметических изделиях. Проведенные эксперименты показали, что оптимальное давление пробоотборника на кожу равно 26 кПа, оптимальное время пробоотбора – 6 секунд.

Определение органического вещества, перенесенного на пробоотборник, осуществляли путем введения пробоотборника в поток чистого воздуха, проходящего через высокотемпературный реактор, в котором обеспечивается программированный нагрев анализа. Максимальная температура реактора 700°C. На выходе из реактора установлен платиновый катализатор для обеспечения полного окисления органических веществ. За реактором расположен датчик кислорода для непрерывного контроля содержания кислорода в потоке воздуха. Сигнал от датчика кислорода выводится на экран компьютера в виде зависимости концентрации кислорода (отн. ед. в мВ) от времени. По мере движения пробоотборника с анализируемым веществом в высокотемпературной части реактора происходит нагрев пробоотборника и окисление веществ, находящихся на его поверхности.

Результатом измерений является окситермограмма (термоокислительный спектр) – зависимость изменения содержания кислорода в потоке воздуха от времени движения пробоотборника или температуры анализируемого вещества. Для количественного анализа следует использовать площадь отрицательного пика, которая зависит от концентрации вещества и может использоваться в качестве аналитического сигнала.

Было показано, что кинетика изменения концентрации вещества на поверхности кожи позволяет охарактеризовать стабильность данного актива при внешнем воздействии. Наносили анализируемое вещество на кожу человека, отбор проб проводили через каждые 15 минут. Полученные окситермограммы показывают уменьшение площади пика вещества со временем, что говорит об уменьшении концентрации вещества на поверхности кожи. Через 50 минут после начала эксперимента на руке остается тонкая пленка вещества.

#### **Литература**

1. Зуев Б. К., Поликарпова П. Д., Филоненко В. Г., Коротков А. С., Сараева А. Е. Пробоотбор и определение гиалуроновой кислоты на упругой поверхности твердого тела (имитатор кожи человека) методом окситермографии //Журн. аналит. химии. 2019 Том 74 №3.

УДК 504.054

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПХДД/Ф  
В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ВЬЕТНАМА****Кудрявцева А.Д.<sup>1</sup>, Бродский Е.С.<sup>1</sup>**

*ИПЭЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.33;  
e-mail: [a.kudryavtseva@sevin.ru](mailto:a.kudryavtseva@sevin.ru)*

Проведена идентификация источников ПХДД/Ф и их вкладов в загрязнение почв и яиц кур на свободном выгуле в частных хозяйствах Вьетнама. Выделено 5 основных источников: открытое сжигание, выхлопы автотранспорта, фоновое атмосферное осаждение, Оранжевый Агент и источник с профилем дехлорирования ОХДД.

Source identification and apportionment of PCDD/Fs in soil and free-range chicken eggs from Vietnam private households was performed. Five main PCDD/Fs sources were identified: open burning, vehicle emissions, background atmospheric deposition, Agent Orange and OCDD dechlorination pattern.

**Введение.** Полихлорированные дибензо-*n*-диоксины и дибензофураны (ПХДД/Ф) относятся к стойким органическим загрязнителям и обнаруживаются во всех компонентах экосистем в следовых количествах. Профили ПХДД/Ф в почвах часто отражают источники загрязнения, но многообразие источников и изменение профиля в окружающей среде и при поступлении в живые организмы затрудняет идентификацию источников и использование биообъектов для индикации и мониторинга загрязнения [1]. Целью настоящей работы было провести идентификацию первичных источников ПХДД/Ф в почвах из частных хозяйств Вьетнама и оценить возможность их идентификации в яйцах кур на свободном выгуле.

**Объекты и методы.** Пробы поверхностного слоя почвы и яиц кур на свободном выгуле были отобраны в 26 частных хозяйствах в южной части Вьетнама, а также использованы данные из литературных источников [2]. Определение содержания ПХДД/Ф проводили методом ГХ-МСВР. Профили 2,3,7,8-замещенных конгенов нормировали к их суммарной концентрации и анализировали методом положительной матричной факторизации (ПМФ), позволяющим выделить профили потенциальных источников и определить число источников загрязнения, их состав и относительный вклад каждого источника в каждом образце [3]. Для сравнения выделенных ПМФ факторов в яйцах кур с профилями известных источников ПХДД/Ф, была проведена их трансформация с помощью коэффициентов бионакопления.





УДК 541. 123. 6

**РАВНОВЕСНЫЕ ТВЁРДЫЕ ФАЗЫ ЧЕТВЕРНЫХ  
 НОНВАРИАНТНЫХ ТОЧЕК СИСТЕМЫ  
 Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O ПРИ 0<sup>0</sup>C**

**Жумаев М.Т., Солиев Л., Махмадов Х.Р., Олимджонова Н.В.**

*ТГПУ им. С.Айни, Таджикистан, 734003, г. Душанбе, проспект Рудаки, 121;  
 e-mail: [jumaev\\_m@bk.ru](mailto:jumaev_m@bk.ru)*

Методом трансляции исследованы равновесные твёрдые фазы четверных невариантных точек системы Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 0<sup>0</sup>C. Установлено, что для исследуемой системы на уровне четырехкомпонентного состава характерно наличие 7 дивариантных полей, 15 моновариантных кривых и 10 невариантных точек.

The equilibrium solid phases of four invariant points of the Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O system at 0<sup>0</sup>C were studied by the translation method. It was found that the system under study at the level of the four-component composition is characterized by the presence of 7 divariant fields, 15 monovariant curves and 10 invariant points.

Проблема утилизации жидких отходов промышленного производства алюминия, состоящих преимущественно из смеси водных растворов сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов, фторидов натрия и кальция является актуальной как в экономическом, так и в экологическом плане. Процесс утилизации этих отходов определяется закономерности фазовых равновесий в пятикомпонентной водно-солевой системе Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O и, поэтому, представляет интерес определение возможностей совместных кристаллизаций составляющих данную составу солей.

Решение данной задачи экспериментальным путем является довольно сложным: требует больших временных и материальных затрат. Оно осложнено также трудностями в идентификации кристаллизующих солей из-за обилия возможных вариантов фазовых равновесий. Решению данной задачи можно значительно упростить путем предварительного прогнозирования возможных фазовых равновесий на геометрических образах приведенной системы.

В данной работе рассмотрены результаты прогнозирования фазовых равновесий в невариантных точках пятикомпонентной системы Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 0<sup>0</sup>C, на уровне четырёхкомпонентного состава, методом трансляции. Метод трансляции вытекает из принципа совместности элементов строения n и n+1 компонентных систем в одной диаграмме [1]. Метод трансляции предусматривает, что при увеличении компонентности системы от n и n+1 геометрические образы n компонентных систем увеличивая свою размерность на единицу

трансформироваться невариантные точки превращаются в моновариантные кривые, моновариантные кривые – в дивариантные поля и т.д. Трансформированные геометрические образы транслируются (переносятся) на уровень  $n+1$  компонентного состава и в соответствии с своими топологическими свойствами, а также с соблюдением правил фаз Гиббса [2], формируют элементы строения  $n+1$  компонентной системы. Более подробно применение метода трансляции рассмотрено в работах [3].

Результаты прогнозирования возможных фазовых равновесий в пятёрных невариантных точках системы  $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $0^\circ\text{C}$  [4-6], полученные методом трансляции, представлены в таблице.

Таблица

Равновесные твёрдые фазы пятёрных невариантных при  $0^\circ\text{C}$ , найденные методом трансляции

Система	Нонвариантная точка	Равновесные твёрдые фазы
$\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$	$E_1^4$	Мб+С10+Нх
$\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$	$E_2^4$	Гп+СаГ+Сц
$\text{Na,Ca//SO}_4,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$	$E_3^4$	Мб+Нх+Гп
	$E_4^4$	Нх+Гп+СаГ
$\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$	$E_5^4$	С10+Мб+Гл
	$E_6^4$	Сц+Гп+Гл
	$E_7^4$	Мб+Гл+Гп
$\text{Na,Ca//CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$	$E_8^4$	С10+Гл+Нх
	$E_9^4$	Гл+Сц+СаГ
	$E_{10}^4$	Гл+Нх+СаГ

В таблице буква Е обозначает невариантную точку с верхним индексом, указывающим на компонентность системы и нижним индексом, указывающим на порядковый номер точки. Приняты следующие условные обозначения равновесных твёрдых фаз: Мб – мирабилит  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; Нх – нахколит  $\text{NaHCO}_3$ ; Гп – гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; СаГ – кальций гидрокарбонат  $\text{Ca(HCO}_3)_2$ ; С·10 – декагидрат карбоната натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; Гл – гейлюссит  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; Сц – кальцит  $\text{CaCO}_3$ .

### Литература

1. Горощенко Я.Г. Массцентрический метод изображения многокомпонентных систем. Киев: Наук. Думка, 1982, 264с.
2. Аносов В.Я., Озерова М.И., Фиалков Ю.Я. Основы физико-химического анализа. М: Наука, 1976,503с.
3. Солиев Л. Прогнозирование строения диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных водно-солевых систем методом трансляции. Деп. В ВИНТИ АН СССР 20.12.87г. №8990-В87. М: 1987, 28с.
4. Солиев Л., Джумаев М.Т. и др. // Журнал неорганической химии. 2016. Т.61. №5. С.683-688.
5. Soliev L., Dzhumaev M.T. // Chemica Techno Acta. 2017. Vol. 4. № 3. PP. 191-201.
6. Солиев Л., Джумаев М.Т. // ДАН Республики Таджикистан. -2017. –Т.60. №9. –С.430-436.

УДК 544

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ  
МАЛАХИТОВОГО ЗЕЛЕНОВОГО В ВОДОЕМАХ МЕТОДОМ ГКР****Хрущев А.Ю., Акмаев Э.Р., Ходькова Ю.С., Лихих Т.Н.,  
Колячкина С.В., Сироткина В.П.***ФГБУ «ВГНКИ», Россия 123022, г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5;  
e-mail: [a.hrushev@vgnki.ru](mailto:a.hrushev@vgnki.ru)*

В данной работе предложена экспресс-методика определения загрязнения природных вод следовыми количествами малахитового зеленого (0,1-10ppb) методом ГКР. Для учета матричных эффектов применен метод добавок, что позволило исключить этап пробоподготовки, повысить точность метода и сократить время анализа (около 1 мин.).

This article proposes an express method for contamination determining in natural water resources (0.1-10ppb) by malachite green using SERS method. To exclude matrix effects, we used method of additions, that made unnecessary sample preparation step as well as raised method accuracy and reduce analysis time (about 1 min.).

Малахитовый зеленый (MG) широко применяется в аквакультуре, производстве хлопка и бумажной промышленности [1, 2]. В связи с большим объемом производства ежегодно значительные количества MG сбрасываются в природную воду. Остатки MG в природной воде могут вызвать серьезные проблемы со здоровьем из-за его высокой токсичности [3]. Таким образом, мониторинг MG в воде является весьма актуальной задачей. В настоящее время спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния (ГКР, SERS) используется в экологическом мониторинге окружающей среды для идентификации веществ с низкими пределами обнаружения [3]. Метод ГКР обладает такими достоинствами, как высокая чувствительность и скорость анализа. Для его реализации не требуется сложная пробоподготовка, а низкая стоимость анализа делает его весьма перспективным экспресс-методом определения следовых количеств органических веществ.

Регистрацию КР- и ГКР-спектров проводили на спектрометре комбинационного рассеяния Renishaw inVia Basis, энергия лазера ( $\lambda=532$  нм) составляла 5-50 мВт, время регистрации спектра 0,5-5с. Образец помещали в стандартную стеклянную вials объемом 2 мл.

Синтез коллоидного раствора наночастиц серебра (НЧС) проводили методом восстановления нитрата серебра цитратом натрия [4]. Характеристику коллоида проводили методом УФ-спектрофотометрии, сканирующей электронной микроскопии (SEM) и лазерной дифракции света.

Образцы для анализа готовили путем добавления раствора МГ к воде, отобранной из природных источников, для достижения 3 уровней концентрации – 0,1, 1, 10 ppb. К 1 мл полученных растворов добавляли 1 мл коллоидного раствора НЧС, и незамедлительно регистрировали 3 ГКР-спектра с последующим усреднением значения интенсивности пика на частоте  $1618\text{см}^{-1}$  (соответствует валентному колебанию связи С-N ароматического кольца [4]). Затем к образцам добавляли аликвоту стандартного образца МГ с известной концентрацией. Регистрацию спектра добавки проводили в тех же условиях. Расчет содержания проводили по формуле линейного метода добавок.

В ходе экспериментов было установлено, что интенсивность сигнала ГКР зависит от содержания ионов, обеспечивающих жёсткость воды –  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Так при концентрации ионов кальция выше 20 мг/л интенсивность сигнала возрастает более чем в 100 раз по сравнению с деионизованной водой. Добавление ЭДТА приводит к снижению сигнала до уровней характерных для деионизованной воды. Предполагается, что данный эффект обусловлен взаимодействием ионов кальция и магния с двойным электрическим слоем, состоящим из карбоксилат-ионов, адсорбированных на поверхности наночастиц серебра. Разрушение стабилизирующего слоя приводит к коагуляции наночастиц и образованию «горячих точек», в которых величина локального электромагнитного поля значительно выше, чем у индивидуальных наночастиц. Зависимость интенсивности сигнала от жесткости воды не позволяет использовать метод внешней калибровки без этапа концентрирования МГ, однако результаты, полученные методом добавок, не зависят от солевого состава воды (см. табл. 1). Коэффициент усиления сигнала, рассчитанный для образцов воды из пруда, составил  $3,3 \times 10^6$ .

Таблица 1. Результаты определения концентрации искусственно введенного малахитового зеленого в образцы воды.

Место забора воды	Введено МГ, ppb	Найдено МГ, ppb	RSD (n=3), %
Пруд в г. Дедовск	0,1	0,13	8
	1	1,18	6
	10	9,25	4
Канал имени Москвы	0,1	0,14	11
	1	0,98	2
	10	9,55	4
Водопроводная вода (г. Москва)	0,1	0,14	7
	1	0,95	4
	10	9,18	2

### Литература

1. Zhang Y. Li, Zhang C., Jing Y. // J. Hazard. Mater. 2008г. №150. С.774–782.
2. Sathya M.E.S., Muthuraman G. // Int. J. Recent Sci. Res. 2015г. №6. С.3196–3202.
3. Dou X., Zhao L., L. X., Qin L., Han S., Kang, S.-Z.//Applied Surface Science. 2020г. №509. 145331.
4. Ly N.H., Nguyen T.H., Nghi N.D., Kim Y.-H., Joo S.-W.//Sensors. 2019г, №19, С.1355-1365.

УДК 541. 123. 6

**КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗОВАНИЯ  
РАВНОВЕСНЫХ ТВЁРДЫХ ФАЗ  
СИСТЕМЫ Na,Ca||CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O ПРИ 25<sup>0</sup>C**

**Ноибова Н.З., Солиев Л., Жумаев М.Т.,  
Ибрагимов Б.М., Музафарова Д.З.**

*ТГПУ им. С.Айни, Таджикистан, 734003, г. Душанбе, проспект Рудаки, 121;  
e-mail: [jumaev\\_m@bk.ru](mailto:jumaev_m@bk.ru)*

Изучена растворимость в инвариантных точках системы Na,Ca||CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 25<sup>0</sup>C и определены концентрационные параметры образования равновесных твердых фаз.

The solubility at invariant points of the Na,Ca||CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O system at 25<sup>0</sup>C was studied and the concentration parameters of the formation of equilibrium solid phases were determined.

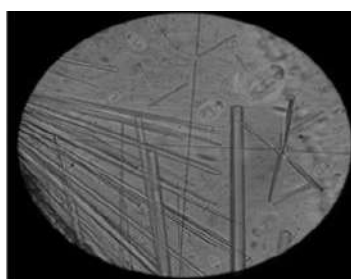
Знание закономерностей, определяющих условия кристаллизации солей в системе Na,Ca||CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, необходимо для разработки оптимальных способов утилизации жидких отходов промышленного производства алюминия [1, 2]. В настоящей работе рассмотрены результаты изучения растворимости системы Na,Ca||CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 25<sup>0</sup>C для определения концентрационных параметров образования ее равновесных твердых фаз. Ранее [3] методом трансляции [4] были установлены возможные фазовые равновесия на геометрических образах исследуемой системы и построена ее фазовая диаграмма, исходя из того что равновесными твердыми фазами при 25<sup>0</sup>C являются: кальцит (Сц) CaCO<sub>3</sub>; декагидрат карбоната натрия (С·10) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·10H<sub>2</sub>O; гейлюссит Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·CaCO<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O; нахколит (Нх) NaHCO<sub>3</sub>; гидрокарбоната кальция (СаГ) Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; трона (Тр) NaHCO<sub>3</sub>·Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O [5].

Для проведения экспериментальных исследований использованы Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·10H<sub>2</sub>O (х.ч.), CaCO<sub>3</sub> (ч), NaHCO<sub>3</sub> (ч.) и Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (х.ч.). Приготовленные насыщенные растворы с равновесными твердыми фазами, соответствующие тройным инвариантным точкам [5], смешивали согласно схемы трансляции [3] и термостатировали при 25<sup>0</sup>C в ультратермостате U-8 до достижения равновесия. Достижение равновесия устанавливали по неизменности фазового состава осадков, за которыми наблюдали с помощью микроскопа «ПОЛАМ-Р 311». Равновесные твердые фазы сфотографировали цифровым фотоаппаратом «SONY-DSC-S 500». Насыщенный раствор подвергли химическому анализу по известным методикам. Результаты химического анализа насыщенного раствора приведены в таблице, микрофотографии равновесных твердых фаз – на рисунке.

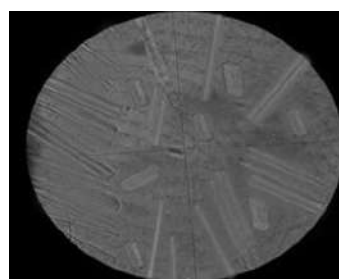
Таблица

Растворимость системы  $\text{Na,Ca}||\text{CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$

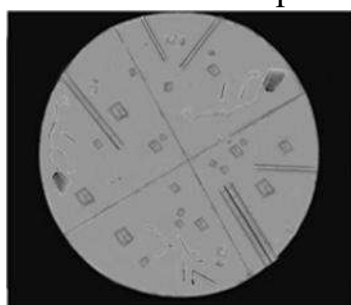
№ точек	Состав жидкой фазы, мас.%					Фазовый состав осадков
	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{NaHCO}_3$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{H}_2\text{O}$	
$\text{E}_1^4$	7.85	0.00336	3.72	-	88.4266	$\text{C}\cdot 10+\text{Гл}+\text{Гл}$
$\text{E}_2^4$	9.83	-	4.682	0.0229	85.4651	$\text{Гр}+\text{Нх}+\text{CaГ}$
$\text{E}_3^4$	-	0.00423	4.415	0.0215	95.5592	$\text{Сц}+\text{CaГ}+\text{Гл}$
$\text{E}_4^4$	8.674	-	3.918	0.0198	87.3882	$\text{Гр}+\text{Гл}+\text{CaГ}$



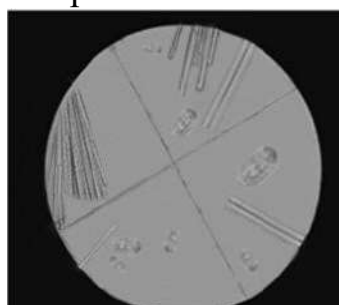
Гл+С·10+Гр



Гр+Нх+CaГ



Сц+Гл+CaГ



Гл+Гр+CaГ

Рисунок. Микрофотографии равновесных твёрдых фаз системы  $\text{Na,Ca}||\text{CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$

### Литература

1. Морозова В.А., Ржечицкий Э.П. // Журнал прикладной химии. - 1976. – Т.49. № 5. С. 1152.
2. Морозова В.А., Ржечицкий Э.П. // Журнал неорганической химии. - 1977. – Т.22. № 3. С. 873.
3. Солиев Л., Джумаев М.Т. и др. // ДАН Республики Таджикистан. - 2012. – Т.55. № 3. С.220.
4. Солиев Л. Прогнозирование строения диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных водно-солевых систем методом трансляции. Деп. В ВИНТИ АН СССР 20.12.87г. №8990-В87. М: 1987, 28с.
5. Справочник экспериментальных данных по растворимости многокомпонентных водно-солевых систем. Т.1. кн. 1-2. СПб.: Химиздат. 2003. 1152с.

УДК 543.544.43

**МОНИТОРИНГ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ В  
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА****Литвинова А.О., Янковская В.С.**

*ФБУЗ «ЦГиЭ», 299003, г. Севастополь, ул. Коммунистическая, д.10;  
e-mail: [sevlabses@yandex.ua](mailto:sevlabses@yandex.ua)*

В работе представлены результаты анализа хлорорганических пестицидов (ХОП) в поверхностных водах Севастопольского региона, отобранных из поверхностных водоемов 1 категории, скважин и водопроводной сети. Во всех изученных пробах концентрация ХОП не превышала ПДК, а для большинства проб составляла 0,1ПДК.

The results of the analysis of organochlorine pesticides (OCPs) in surface waters of the Sevastopol region, selected from surface waters category 1, wells and tap water. In all studied samples, the concentration of OCPs did not exceed the MPC, and for most samples it was 0.1 MPC.

Пестициды относятся к одним из наиболее распространенных и токсичных ксенобиотиков. Обладая высокой биологической активностью, они оказывают многообразное воздействие на биосферу, выражающееся в нарушении взаимосвязей компонентов экосистем. Несмотря на способность экосистем к самоочищению, остаточное количество пестицидов при накоплении в звеньях трофических цепей представляет реальную угрозу для высших уровней экосистемы, в том числе и для человека. Это обуславливает необходимость проведения наблюдений за остаточным количеством (ОК) пестицидов в объектах окружающей среды [1].

Для концентрирования ХОП экстрагировали из пробы воды н-гексаном, далее ХОП определяли хроматографически на капиллярной или набивной колонке, с фиксированием последовательно выходящих компонентов детектором электронного захвата и их идентификацией по времени удержания пиков пробы и градуировочного раствора [2].

С 2016 по 2020 г. проводили анализ проб поверхностных вод Севастопольского региона на содержание ХОП: ДДТ и его метаболиты ДДД и ДДЭ; изомеры  $\alpha$ - и  $\gamma$ -ГХЦГ. Во всех изученных пробах концентрация ХОП не превышала ПДК, а для большинства проб составляла 0,1ПДК. Полученные результаты подтверждаются литературными данными [3], воды Чернореченского водохранилища являются «условно чистыми».

**Литература**

1. РД 52.18.697-2007
2. ГОСТ 31858-2012
3. Качество поверхностных вод РФ. Ежегодник – 2018. Ростов-на-Дону: 2019.

УДК 631.43:539.16

**СОРБЦИЯ Sr-90 ИЗ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД  
ФИТОСОРБЕНТАМИ****Федорова О.В., Чекусова П.И.,  
Зубаирова К.Ф., Машарова В.А., Кочкина Г.В.***ФГАОУ ВО ОТИ НИЯУ МИФИ, г. Озерск, 456783, пр. Победы, 48;  
e-mail: [ovfedorova@mephi.ru](mailto:ovfedorova@mephi.ru)*

Определена степень сорбции  $^{90}\text{Sr}$  фитосорбентами (ФС), полученными из солодовых ростков и древесных опилок, обработанных мочевиной, диметилформамидом, ортофосфорной кислотой для создания хелатных групп на поверхности из озера Иртыш, стоков производства ПО Маяк и шлейфовых вод, соответственно, 95 (ФС-710, ФС-744, ФС-745, ФС-761, ФС-728); 60 (ФС-745) и 36 % (ФС-728). Неполное извлечение объяснено наличием несорбируемых форм  $^{90}\text{Sr}$  в минерализованных водах. Показано, что время установления сорбционного равновесия для всех ФС (10-15 мин) не зависит от солесодержания среды. Установлено, что ФС являются коллекторами коллективного действия, позволяющими концентрировать из природных вод другие радионуклиды в процессах очистки слабоминерализованных природных и сточных вод.

The degree of sorption of  $^{90}\text{Sr}$  by phytosorbents (FS) obtained from malt sprouts and sawdust treated with urea, dimethylformamide, orthophosphoric acid to create chelate groups on the surface from Lake Irtyash, Mayak production effluents and plume waters, respectively, 95 (FS-710, FS-744, FS-745, FS-761, FS-728); 60 (FS-745) and 36 % (FS-728). It has been shown that the time to establish sorption equilibrium for all FS (10-15 min) does not depend on the salinity of the medium. It has been established that FS are collectors of collective action, which make it possible to concentrate other radionuclides from natural waters in the processes of purification of low-mineralized natural and waste waters.

В ходе реализации оборонных программ, функционирования предприятий ядерного топливного цикла и чрезвычайных ситуаций в биосферу было выброшено огромное количество радионуклидов, что создает серьёзные экологические угрозы, требующие безотлагательных мер. Особую опасность представляет долгоживущий радионуклид  $^{90}\text{Sr}$ . Являясь химическим аналогом Са, он легко встраивается в биохимические циклы и депонируется в костных тканях, повышая риск онкологических заболеваний. Поэтому важной задачей является разработка методов и материалов для высокоэффективного извлечения  $^{90}\text{Sr}$  из жидких сред в целях рекультивации загрязнённых территорий. Существует огромный спектр материалов для извлечения  $^{90}\text{Sr}$  из различных сред - природные алюмосиликаты, синтетические сорбенты на основе ферроцианидов и оксидов *d*-металлов, кристаллические титанаты, ионообменные смолы и другие. Можно предположить, что эффективными сорбционными материалами для извлечения  $^{90}\text{Sr}$  являются фитосорбенты (ФС),



полученные проф. Б.А. Величко [1]. В ходе их синтеза природные материалы обрабатывают мочевиной, диметилформамидом, ортофосфорной кислотой для образования на их поверхности комплексообразующих карбоксильных, фосфорнокислых и амино-групп. Упомянутое выше предположение следовало проверить экспериментально. В докладе представлены кинетические параметры сорбции  $^{90}\text{Sr}$  фитосорбентами ФС-710, ФС-744, ФС-745, ФС-761 (полученных из солодовых ростков) и ФС-728 (из древесных опилок) из стоков радиохимического производства ПО Маяк, модельной воды оз. Иртяш и шлейфовых вод промплощадки предприятия. Установлено, что степень сорбции ( $S$ )  $^{90}\text{Sr}$  ФС-745 и ФС-744 при  $T:Ж = 1:200$  г/см<sup>3</sup> и 20 °С из стоков радиохимического производства составляет 60 % и 14 %, соответственно. Неполное извлечение  $^{90}\text{Sr}$  обусловлено, вероятным наличием несорбируемых форм радионуклида [2], а также высокой минерализацией вод. Показано, что  $S$   $^{90}\text{Sr}$  всеми исследуемыми ФС из воды оз. Иртяш в тех же условиях достигает 95 %, что обеспечивает количественное извлечение радионуклида, тогда как из шлейфовых вод (44 г/л)  $^{90}\text{Sr}$  извлекается только ФС-728 ( $S$  до 36 %). Это указывает на существенное влияние солевого состава на эффективность сорбции и невысокую селективность ФС по отношению к  $^{90}\text{Sr}$ . Следовательно, для извлечения стронция из вод, отличающихся высокой минерализацией, необходимой является стадия предварительного обессоливания. Вместе с тем, ФС обладает положительными свойствами быстрого достижения сорбционного равновесия (10-15 мин) вне зависимости от величин солесодержания растворов. Дополнительные исследования показали, что ФС являются коллекторами коллективного действия, позволяющего концентрировать из природных вод другие радионуклиды. На основании полученных данных был проведен расчет кинетических характеристик указанных ФС. Определена взаимосвязь констант скорости внешнего массообмена, коэффициентом Био (характеризующим влияние пограничного слоя на диффузию в сорбенте) и критерием характера кинетики. Анализ проведенных расчетов свидетельствует о внутридиффузионном лимитировании кинетики сорбции. Данные сорбенты могут найти применение для технологий очистки слабоминерализованных природных и сточных вод низкого и среднего уровня активности.

#### **Литература**

1. Патент РФ № 215639. Способ получения сорбентов / Величко Б.А. и др.
2. Корсаков Ю.Д., Ерофеева М.И. // Вопросы радиационной безопасности. 1996, №2. С. 56-59.

УДК 544

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ****Крохин Г.Б.**

*РТУ МИРЭА, Россия 119571, г. Москва, Проспект Вернадского, д.86;  
e-mail: [kgb.9@yandex.ru](mailto:kgb.9@yandex.ru)*

Анализ качества воды позволяет полностью удостовериться в ее безопасности и пригодности для употребления. Использование приборов автоматического, в т.ч. онлайн контроля качества воды в процессе водоподготовки, может в разы повысить эффективность управления технологическими процессами, увеличить скорость принятия управленческих решений и исключить человеческий фактор при проведении исследований.

The analysis of water quality allows complete assurance of its safety and suitability for consumption. The use of automatic and online water quality monitoring devices in the water treatment process can increase the efficiency of process control, increase the speed of decision-making and eliminate the human factor in the examination process.

Растущая численность населения планеты и прогрессирующее загрязнение воды превращают обеспечение людей чистой питьевой водой в настоящее испытание. Использование приборов автоматического, в т.ч. онлайн контроля качества воды в процессе водоподготовки, может в разы повысить эффективность управления технологическими процессами, увеличить скорость принятия управленческих решений и исключить человеческий фактор при проведении исследований.

Автоматический онлайн контроль качества воды проводится путем прямого измерения концентрации загрязнений с помощью определенных датчиков в виде электрического сигнала и последующей обработки результатов. Одним из важнейших параметров качества воды является микробиологическая безопасность, обеспечиваемая процессами обеззараживания. Учитывая то, что основным средством обеззараживания является хлор и его производные, рассмотрим автоматический контроль на примере анализатора хлора. Использование подобных анализаторов позволяет быстро и точно контролировать остаточный и свободный хлор в процессе обеззараживания воды. Это может помочь более точно дозировать обеззараживающий агент и избежать превышения ПДК.

В рассматриваемом приборе используется метод фотометрического определения хлора, основанный на применении N,N-диэтил-п-фенилендиамина (DPD индикатор) и буферного раствора. Индикатор и буферный раствор вводятся в образец и вызывают появление розовой окраски, интенсивность которой пропорциональна содержанию хлора. Измеренная концентрация хлора, выраженная в мг/л отображается в виде трехзначного числа на ЖК-дисплее, расположенном на лицевой панели прибора [1].

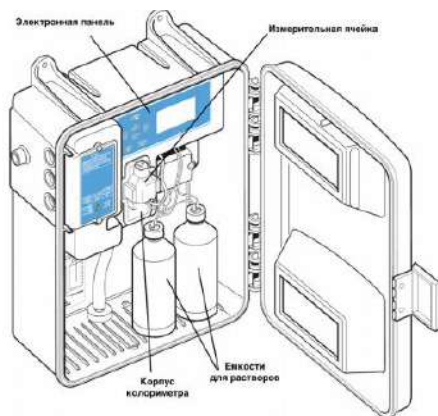


Рис. 1. Схема анализатора хлора.

DPD и образует вещество красновато-пурпурного цвета с показателем кислотности pH 5. Другой буферный раствор, содержащий йодид калия, поддерживает уровень pH, необходимый для реакции.

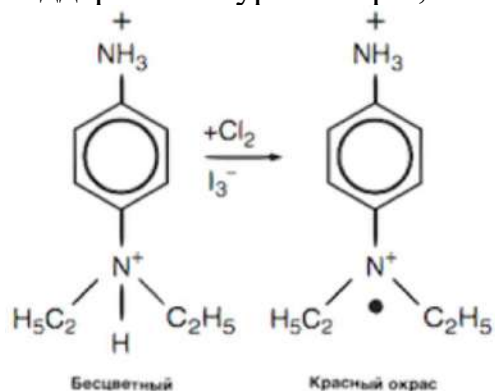


Рис. 2. Окисление индикаторного реагента DPD.

химическое и биологическое потребление кислорода и некоторые другие специфические показатели. Но при своих преимуществах онлайн контроль качества воды имеет и ряд существенных недостатков и сложностей для его активного использования. Так, в действующей нормативно-правовой базе отраслевого и санитарного законодательства отсутствуют основания для использования систем онлайн контроля качества воды в рамках производственного контроля [2].

В связи с этим Российской ассоциацией водоснабжения и водоотведения, при участии специалистов кафедры экологической и промышленной безопасности РТУ МИРЭА, был разработан «ГОСТ Р 59514-2021 Качество воды. Системы автоматического контроля загрязняющих веществ». Данный стандарт устанавливает требования к методам и оборудованию, позволяющим проводить аналитический контроль показателей вод с помощью систем автоматического контроля [3].

### Литература

1. НАСН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.hach.com/>. - (Дата обращения: 15.07.2021).
2. Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/18492/>. (Дата обращения: 15.07.2021).
3. ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. – Введ. 2021-05-20. – М.: 2021.

Интенсивность полученного цвета пропорциональна концентрации хлора в образце. Буферный раствор, предназначенный для определения свободного хлора, поддерживает оптимальное значение pH. Общий остаточный хлор (свободный остаточный хлор и связанный в хлорамины) определяется путем добавления йодида калия в реагенты. Хлорамины в образце окисляют йодид до йода, который, совместно с любым свободным хлором, окисляет индикатор

После завершения химической реакции, производится измерение оптической плотности образца на длине волны 520 нм и ее сравнение с оптической плотностью образца до добавки реагентов. Концентрация хлора рассчитывается из разности оптических плотностей.

Онлайн контроль могут также подвергаться такие показатели, как окислительно-восстановительный потенциал, pH, растворенный кислород, мутность, оптическая плотность,

УДК 502.17

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИСТАНЦИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННО НАГРУЖЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ****Бердникова Т.В., Ермаков В.В.**

*СамГТУ, Россия 443000, г. Самара, ул. Первомайская, 1;  
e-mail: [ncpe@mail.ru](mailto:ncpe@mail.ru)*

В работе рассмотрена проблема организации мониторинга техногенно нагруженных ландшафтов. Для ее решения авторами предложен инновационный метод исследования химического состава объектов по средствам прямого спектрального зондирования.

The article considers the problem of monitoring technologically loaded landscapes. To solve it, the authors proposed an innovative method for studying the chemical composition of objects using direct spectral sensing means.

Главная проблема мониторинга почвенного покрова заключается в получении объективной и своевременной информации об его состоянии непосредственно в конкретный момент времени на месте исследования [1]. Для ее решения предложен инновационный метод исследования химического состава объектов по средствам прямого спектрального зондирования.

Идея рассматриваемого метода состоит в том, что каждое химическое вещество имеет свои спектральные характеристики [2]. Наблюдение за изменениями в параметрах спектров отражения почв позволит устанавливать присутствие основных биогенных макроэлементов для растений в почве и оценивать ее плодородие. Возможно определение степени загрязнения территории при выявлении токсикантов. Также, обнаружение отдельных веществ методом спектрального зондирования поможет формулировать свойства присущие конкретной изучаемой почве и составлять поэтапное описание процесса ее самоочищения после техногенного загрязнения.

Предлагаемый способ был реализован в лабораторных условиях, где проводилась съемка спектральных характеристик с образцов природных и техногенных площадок. Состав исследуемых почв был предварительно изучен.

Химический анализ модельных образцов проводился по показателям, характеризующим свойства большинства почвенных ландшафтов. Признаком гумификации почв, отвечающий за наличие органики, был обозначен органический углерод. В качестве основных биогенных макроэлементов, необходимых для репродуктивной способности растений, были выделены азот в двух видах (нитратный и нитритный), сера и фосфор. Калий и натрий были рассмотрены в роли главных почвенных электролитов. Кроме того, были определены зольность, отвечающая за описание инертной составляющей почвенного покрова, и влажность, влияющая на спектральные характеристики почв [3].

Спектры почв от сухих и влажных образцов в УФ и БИК-диапазоне. По итогам исследования было определено, что снимаемые спектральные кривые образцов с разных площадок частично повторяют форму друг друга. Спектральные характеристики мокрых почв плавные и хорошо отличимые друг от друга. Также, установлено, что при наличии воды в пробе происходит выравнивание спектральной кривой, то значительно снижает помехи.

При невозможности использования прямой калибровки данных для выявления зависимости формы и положения спектральной линии от состава образцов был проведен многомерный анализ с применением программного пакета анализа многомерных данных The Unscrambler X [5]. При применении такого способа обработки была установлена зависимость между рассматриваемыми параметрами. Корреляция была выявлена для азота, фосфора и серы, что может служить подтверждением возможности использования спектральных характеристик при оценке качества почвенного покрова.

Для оптимизации работы с полноспектральными системами был предложен метод индексирования в формате «большее содержание компонента - меньше содержание компонента»[4]. Создаваемые расчетные критерии, состоящие из нескольких интенсивностей на определенных длинах волн, могут иметь корреляцию с искомыми концентрациями лучше, нежели напрямую со спектрами. Они не дают абсолютные значения, но в относительных величинах могут хорошо применяться при моделировании состояния почв.

Результатом исследовательской работы стало выявление возможности применения прямого спектрального зондирования для оценки состояния почв. Многомерная калибровка позволила найти зависимость между формами спектральных характеристик и химическим составом исследуемых образцов. Также, было отмечено, что подбор формата индекса и соответствующих для него спектральных полос является необходимым этапом создания оптических мониторинговых систем для контроля состояния почв.

## Литература

1. Комаров А.А. Использование сопряженных данных дистанционного и наземного зондирования при оценке состояния растительного покрова//Экология родного края: проблемы и пути их решения. Киров. 2018. С.77-81;
2. Молев А.А. Дистанционный мониторинг почв//Наука в мегаполисе. Москва. 2021. С.12;
3. Семендяева Н.В., А.Н. Мармулев, Н.И. Добротворска. Методы исследования почв и почвенного покрова: Учебное пособие. Новосибирск. 2011. С. 202;
4. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы//Геоматика. Москва. 2009. С. 28-32;
5. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных : избр. главы / Ким Эсбенсен ; пер. с англ. С. В. Кучерявского ; под ред. О. Е. Родионовой. Черноголовка: изд-во ИПХВ РАН. 2005. С. 157;
6. Bogomolov A., P'yatak T., Klein M. Optical multisensor systems and their process applications// Advances in Process Analytics and Control Technology (APACT). Chester, UK. 2019.

УДК 544

**ГАЗОВАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ АРОМАТИЧЕСКИХ  
ГЕТЕРОЦИКЛОВ<sup>1</sup>****Холин А.Ю., Курбатова С.В.**

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.  
Королева 443011, г. Самара, у. Акад Павлова, 1;  
e-mail: [curbatsv@gmail.com](mailto:curbatsv@gmail.com)*

Исследовано хроматографическое удерживание впервые синтезированных производных бензимидазола в условиях газовой хроматографии на неполярном сорбенте при программировании температуры. Показано, что различия в характеристиках удерживания исследованных веществ определяются в первую очередь числом и положением гетероатомов в молекулах.

The chromatographic retention of the first synthesized benzimidazole derivatives under the conditions of gas chromatography on a non-polar sorbent with temperature programming was studied. It was shown that the differences in the retention characteristics of the studied substances are determined primarily by the number and position of heteroatoms in the molecules.

Несмотря на достигнутый к настоящему времени уровень знаний о строении веществ и их композициях, изменяющиеся и возрастающие практические потребности приводят к необходимости постоянного поиска возможностей более эффективного проектирования и создания атомных и молекулярных конструкций, гарантирующих наличие определенных свойств у конечного продукта. Решение подобной проблемы базируется преимущественно на установлении характера зависимости между свойствами веществ и их строением, при этом возможные подходы к решению проблемы конструирования новых структур с заданными свойствами опираются, как правило, в первую очередь на представления о химической связи и способности веществ к различным типам межмолекулярных взаимодействий (ММВ). В последнее время эта проблема становится весьма актуальной, особенно по отношению к исследованию лекарственных препаратов и веществ с потенциальной биологической активностью. Среди биологически активных соединений азотсодержащие гетероциклические системы занимают весьма важное место, прежде всего в связи с их широким распространением в объектах природного происхождения, а также в продуктах многочисленных производств, при этом одним из наиболее используемых методов их

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSSS-2020-0016.

исследования как по значимости, так и по объему исследований, является хроматография. Значительное число публикаций посвящено исследованию азотистых гетероциклов в условиях жидкостной хроматографии, однако, на наш взгляд наиболее оптимальным для скрининга и прогнозирования свойств потенциально биологически активных соединений является использование совокупности данных, полученных в условиях как жидкостной, так и газовой хроматографии. Ранее нами опубликованы сведения об особенностях сорбции азотистых гетероциклов на сорбентах различной химической природы в условиях жидкостной хроматографии [1, 2]. При этом показано, что наиболее важным фактором, влияющим на характер сорбции гетероциклов из водноорганических растворов, является наличие в молекулах подобных соединений нескольких гетероатомов, что в сочетании с заместителями различной химической природы способствует усилению взаимодействий либо с сорбентом, либо с элюентом. Отсутствие активного с точки зрения таких взаимодействий элюента в газовой хроматографии позволяет сосредоточиться на исследовании особенностей сорбции гетероциклов и определении их сорбционных характеристик в зависимости от строения молекул. Объектами исследования в нашей работе явились 13 впервые синтезированных этоксипроизводных бензимидазола. Эксперимент проводили на газовом хроматографе фирмы «Agilent Technologies» с использованием кварцевой капиллярной колонки (длина 30 м, диаметр 0.32 мм) с неподвижной фазой HP 5MS (метилсилоксан с 5% фенильных групп, толщина плёнки 0,25 мкм). Начальная температура термостата колонки составляла 100° С, конечная 300° С, скорость изменения температуры – 15°С/мин; газ-носитель – гелий, объем вводимой пробы 1 мкл. Из полученных результатов следует, что величины индексов удерживания Ковача оказываются достаточно характеристичными для каждого из исследованных соединений, что открывает возможности для их использования при идентификации подобных соединений. При определении индексов удерживания этоксипроизводных бензимидазола в интервале температур 100 – 300° С установлена нелинейная температурная зависимость, характеризующаяся изменением знака соответствующего температурного коэффициента. В качестве причин подобных зависимостей, установленных для ряда полярных соединений различной структуры, в литературе называют либо вариации свойств неподвижной фазы за счет ее динамической модификации анализируемыми компонентами в пределах хроматографических зон, либо влияние перегрузки хроматографических колонок [3].

#### **Литература**

1. *Nekrasova N.A., Kurbatova S.V.* // J. Chrom. Sci. 2019. Vol. 57. No. 4. P. 369–380.
2. *Карасева И.Н., Карасев М.О., Нечаева О.Н., Курбатова С.В.* // Журн. физич. химии. 2019. Т.93. №1. С. 128 – 136.
3. *Зенкевич И.Г., Павловский А.А.* // Журн. физич. химии. 2016. Т.90. №5. С. 792–799.

УДК: 614.37

## К ВОПРОСУ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ В ПОЧВЕ И ВОДЕ

Ларькина М.В., Егорченкова О.Е., Сеницкая Т.А.

*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»  
Роспотребнадзора, Россия, Московская область, городской округ Мытищи,  
город Мытищи, ул. Семашко, дом 2, 141014;  
e-mail: [larkinamv@fferisman.ru](mailto:larkinamv@fferisman.ru)*

Авторами разработан метод измерения концентраций этиленгликоля в почве, оптимизирован утвержденный метод измерения концентраций этиленгликоля в воде газохроматографическим методом с пламенно-ионизационным детектором. Достигнутые пределы количественного определения: 1,6 мг/кг (почва) и 0,0005 мг/дм<sup>3</sup> (вода).

The authors have developed a method for measuring the concentration of ethylene glycol in soil, optimized the approved method for measuring the concentration of ethylene glycol in water by gas chromatography with a flame ionization detector. The reached limits of quantitative determination: 1.6 mg / kg (soil) and 0.0005 mg / dm<sup>3</sup> (water).

Этиленгликоль (ЭГ) широко применяется в производстве синтетических волокон, смол, растворителей, в качестве компонента автомобильных антифризов, тормозных жидкостей, а также для изучения гранулометрического состава почв и донных отложений.

Благодаря своей низкой себестоимости, этиленгликоль входит также в состав противообледенительной жидкости (ПОЖ). Основной проблемой, связанной с использованием этиленгликоля в ПОЖ, является его биоразложение (благодаря присутствию аэробных микроорганизмов) в сточных водах, потребляющее большое количества кислорода. Вследствие его потенциальной токсичности, сточные воды после противообледенительной обработки взлетной полосы в аэропортах собирают и перерабатывают. Концентрация гликоля в сточных водах может колебаться от 2000 до 300000 ppm (частей на миллион).

Этиленгликоль пагубно влияет на окружающую среду, при его попадании в почву и водоемы, гибнут все живые организмы, а на восстановление природы необходимо более 5 лет.

Обладая наркотическим действием, при попадании внутрь может вызвать хроническое отравление с поражением жизненно важных органов. Особой мишенью поражения являются почки, кроме того, существует опасность попадания этиленгликоля через кожные покровы [1].

Этиленгликоль — бесцветная жидкость, не имеющая запаха, обладающая слегка сладковатым вкусом и маслянистой структурой.



Относящийся к классу алифатических спиртов, ЭГ является веществом третьего класса опасности [2], он взрывоопасен и горюч. Благодаря низкой упругости паров, вещество не представляет опасности острых отравлений при вдыхании.

Существует мировая база данных по содержанию этиленгликоля в водных объектах, при этом сведения для почв и донных отложений ограничены.

Почва является важным компонентом окружающей среды, в которой концентрируются пути миграции по почво-водно-воздушным цепям и служит местом максимального накопления ксенобиотиков, в частности, этиленгликоля. В связи с этим исследования, направленные на идентификацию вещества в воде и почве в настоящее время являются актуальными и приоритетными.

При поступлении этиленгликоля в почву прямым или косвенным путём вещество подвергается разложению, вызванному, прежде всего, биодegradацией к фотолизу. Высокая растворимость этиленгликоля в воде в значительной степени влияет на практически полную сорбцию в почве и донных отложениях. Этиленгликоль хорошо смешивается с водой и перемещается с водой различного происхождения (поверхностные водоемы, сточные, грунтовые и пр.) [3].

Важное значение в вопросах нормирования и контроля этиленгликоля в почве имеет не только опасность, которую представляет контаминированная почва, но и последствия вторичного загрязнения контактирующих с почвой сред.

В настоящее время в мировой практике существует ряд методических подходов [4-6] к количественному определению этиленгликоля: газовая хроматография (ГХ) с пламенно-ионизационным или масс-спектрометрическим детекторами, высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), тонкослойная хроматография и ИК-спектрометрия.

Наиболее специфичным методом определения ЭГ в объектах окружающей среды считается газовая хроматография, позволяющая сочетать качественное и количественное определение вещества. В определении ЭГ методом газовой хроматографии существует два подхода: путем анализа нативного соединения и или его производных.

Наличие гидроксильных групп в молекуле этиленгликоля указывает на возможность использования дериватизации (для перевода их в сложные эфиры), для повышения чувствительности и улучшения хроматографических характеристик и формы пиков [7]. Но в этом случае большая часть реагента теряется при реакции с сопутствующими спиртами и водой.

Высокая водорастворимость ЭГ позволяет относительно легко анализировать водные экстракты из образцов почвы.

В качестве стандартных подходов при анализе ЭГ в пробах почвы предложены либо прямая экстракция его из анализируемых образцов деионизированной водой, либо проведение трудноисполнимой процедуры со стадией дериватизации, приводящей к неудовлетворительным данным по полноте извлечения вещества и получение несимметричных и размытых форм пиков на большинстве применяемых колонок [7].

Метод прямого газохроматографического определения более прост и удобен в выполнении; к тому же не требует использования дорогостоящих реактивов для дериватизации ЭГ.

Целью нашей работы была разработка газохроматографического метода измерения концентраций этиленгликоля в почве, с использованием пламенно-ионизационного детектирования, оптимизация существующего метода измерения концентраций этиленгликоля в воде [8].

При исследовании проб воды за основу был взят утвержденный метод измерений массовых концентраций этиленгликоля и диэтиленгликоля в пробах природных и сточных вод методом газожидкостной хроматографии [8]. Оптимизация метода состояла в использовании этапа программирования испарителя газового хроматографа, что позволило достичь фракционного испарения пробы, за счет чего осуществлено предварительное удаление воды из анализируемой пробы.

В результате задания нагрева испарителя от 80 °С до 250 °С и последующее охлаждение испарителя до 80 °С дало возможность получения четко сформированного пика этиленгликоля и снижения нагрузки в виде пара на испаритель. В рамках выполнения валидации метода [8] выполнена оценка основных характеристик валидации аналитического метода: установлена линейность градуировочной характеристики в диапазоне 0,5-10 мкг/см<sup>3</sup>, средняя полнота извлечения 99 %, стандартное отклонение 8,2%. Выбор программирования ввода проб при анализе образцов воды позволил упростить процесс количественного определения этиленгликоля в пробах воды на минимальном уровне 0,0005 мг/дм<sup>3</sup>.

Разработка метода измерения концентраций этиленгликоля в почве, оптимизация метода идентификации вещества в воде для контроля его уровней в указанных средах включала несколько основных этапов, в частности, анализ существующих методов определения этиленгликоля, выбор метода определения, подбор условий хроматографирования и апробацию методов.

В рамках наших исследований установлено, что использование на стадии очистки при анализе образцов почвы двусторонних картриджей ENVI-Carb™ Plus, заполненных обращенно-фазным (графитизированной сажей) позволило добиться повышения чувствительности и улучшения хроматографических характеристик и симметричности пиков.

Подобранные условия хроматографирования и способы пробоподготовки почвы явились основой метода измерения концентраций этиленгликоля в почве, обеспечивающего не только нижний предел количественного определения 1,6 мг/кг, но и достаточно высокий уровень извлечения вещества из анализируемых образцов (84,6%, стандартное отклонение 5,2%), что обеспечивает его контроль в почве.

Полученные результаты экспериментальных исследований показали, что методические подходы, определенные в настоящем исследовании, являются достаточно простыми, быстро исполнимыми и недорогими для воспроизведения.

Данные установлены расчетно-экспериментальным способом в условиях ограниченной исходной информации, в соответствии с Перечнем измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1847 "Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений», показатель точности измерений концентраций этиленгликоля в почве, выполняемых по МИ, установлен на уровне 47 %.

## Литература

1. Е.Ю. Бонитенко и др. Отравления этиленгликолем и его эфирами – СПб.: «Изд-во НИИХ СПбГУ», 2003 г. - Medline.Ru
2. СанПин 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
3. <https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad22.pdf> (дата обращения 24.08.2021)
4. Кашапова Н.Е., Башкирцев Н.Ю., Овчинникова Ю.С. Сладовская О.Ю., Мингазов Р.Р., Куряшов Д.А., Рахматуллин Р.Р. //Воздействие гликолей в составе противообледенительных жидкостей на окружающую среду//Вестник технологического университета. 2015.Т.18.№5.С.209-212.
5. Филимонов В.Д., Слепченко Г.Б., Белянин М.Л., Нартов А.С.// Определение полициклических ароматических углеводородов в почвах сиспользованием газовой хроматографии-масс-спектрометрии// Томск. Аналитика и контроль. 2015. Т.19. №4. С.310-315.
6. The fate of methyl bromid, ethylene glycol, and propylene glycol in soil and surface water: influence of soil variablesw and vegetation on degradation and movement// Iowa State University Capstones, Theses and Dissertations. 1996. 109 P. <https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad22.pdf> (дата обращения 25.08.2021)
7. Поваров В.Г., Соколова О.Б., Лисовенко Г.Б., Карпова И.Л.// Газохроматографическое определение этиленгликоля и его ближайших гомологов в водно-спиртовых растворах//Санкт-Петербург. Хроматографический анализ. 2010.С.40-46.
8. Методика измерений массовых концентраций этиленгликоля и диэтиленгликоля в природных и сточных водах методом газовой хроматографии ПНД Ф 14.1:2.250-08.

**ОБНАРУЖЕНИЯ МЕЛАМИНА В БАД-АХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОДУКТАХ**

**Кузанын Л.А.<sup>1</sup>, Айрапетян А.А.<sup>1</sup>, Бадалян В.А.<sup>1</sup>,  
Авакян М.М.<sup>1</sup>, Григорян А.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> FDA Лаборатория, Армения, марз Котайк,  
община, село Нор Гюх ул. 6, стр. 1;

<sup>2</sup> МУЕ Армения, г. Ереван, ул. Азатутюн 24/2;  
e-mail: [ani.grigoryana@yandex.ru](mailto:ani.grigoryana@yandex.ru)

Простой, точный и валидированный метод ВЭЖХ с обращенной фазой был разработан для определения меламина в БАД-ах и специализированных продуктах. После экстракции ацетонитрилом и водой, пробы очищались мембранным фильтром. В качестве подвижной фазы был использован буфер (гидрофосфат натрия и октансульфонат натрия, pH = 2,6) и ацетонитрил (92:8) при скорости потока 1 мл / мин. Для контроля использовали метод добавки в пробах. Предел обнаружения метода был достаточным в рекомендованных пределах безопасности Таможенного Союза для определения остатков меламина в БАД-ах и специализированных продуктах.

A simple, accurate and validated reverse phase HPLC method has been developed for the determination of melamine in dietary supplements. After extraction with acetonitrile and water, the samples were purified with a membrane filter. Were used a buffer (sodium hydrogen phosphate and sodium octanesulfonate pH = 2.6) and acetonitrile (92: 8) as mobile phase at a flow rate of 1 ml / min. For control, the method of addition in samples was used. The detection limit of the method was sufficient within the recommended safety limits of the Customs Union for the determination of melamine residues in dietary supplements.

Меламин (2,4,6-триамино-1,3,5-триазин, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>N<sub>6</sub>) является основным химическим веществом, богатым азотом, наиболее часто встречающимся в виде белых кристаллов. Он производится в больших количествах в основном для синтеза меламиноформальдегидных смол для производства ламинатов, пластиков, покрытий, коммерческих фильтров, клеев [1]. Меламин был причастен к массовому отзыву кормов для домашних животных в США и Канаде. Поскольку в 2007 году возникла крупная вспышка почечной недостаточности у кошек и собак в США, связанная с употреблением ими кормов для домашних животных, в котором, как оказалось, был обнаружен меламин [2,3].

В сентябре 2008 года стало известно о "загрязнении меламином различных видов пищевых продуктов (молоко, детские молочные смеси, йогурты, конфеты, шоколад, чайные напитки) в КНР, Сингапуре, Новой Зеландии, Гонконге, Республике Корея в концентрациях до 2560 мг/кг" (по данным Международной сети органов по безопасности пищевых продуктов. Более 51 900 младенцев и маленьких детей в Китае были госпитализированы из-за проблем с мочеиспусканием, возможных закупорок мочеточников и камней в почках, связанных с потреблением загрязненных меламином детских смесей и молочных продуктов [3].

Меламин добавляли в продукты питания и корма для животных с целью имитации высокого содержания белка как показателей качества продукции. Для определения белка используют метод Кьельдаля или Дюма. Методы основаны на определении азота, меламин содержит в своей структуре 6 атомов азота, поэтому даже незначительная примесь этого

химического соединения способна создать иллюзию высокой питательной ценности продукта или корма.

Нами был разработан метод определения меламина в биологически активных добавках (БАД) и специализированных продуктах для спортсменов на основе молока.

**Химикаты, реагенты:** меламина (чистота 99,4% LGC), ацетонитрил и метанол чистый для ВЭЖХ (Carlo Erba 99.9%), вода деионизированная полученная системой Millipore, натрия гидрофосфат (Sigma Aldrich 99.9%), октансульфонат натрия (Panreac 99.9%), фосфорная кислота (Carlo Erba 99.9%).

**Оборудование:** ВЭЖХ фирмы Knauer D-14163 (Германия), с программным обеспечением Easy Chrom, колонка EC 250/4.6 NUCLEODUR 100-5 C18, Macherey-Nagel (Германия).

**Приготовление стандартного раствора меламина.** Стандартный раствор меламина был приготовлен с концентрацией 0,1 мг/мл в воде, хранят в холодильнике при 4 °С в темноте и используют для приготовления рабочих стандартных растворов путем соответствующего разбавления деионизированной водой.

**Приготовление мобильной фазы** – Буфер был приготовлен в водной среде с концентрацией гидрофосфата натрия 1,2 г/л и октансульфоната натрия 2,16 г/л pH = 2,6.

**Пробоподготовка.** Взвесили в центрифужную пробирку 10 г образца, добавили 30 мл метанола после перемешивания (1 минуту), перенесли в ультразвуковую баню на 10 минут, затем перемешали в течение 40 минут. После всего этого центрифугировали 10 минут при 5000 об/мин, отфильтровали бумажным фильтром, пропустили через мембранный фильтр.

**Хроматографические условия** Колонка EC 250/4.6 NUCLEODUR 100-5 C18, температура колонки 25 °С, скорость потока 1 мл/мин, объем 20 мкл, идентификация УФ 220 нм, 237 нм, мобильная фаза – ацетонитрил: буфер (8:92).

Для разработки метода были использованы определенные специализированные продукты и БАД-ы в жидкой или твердой форме. Для контроля использовали метод добавки в пробах, которые затем были протестированы в тех же условиях, для выявления матричных эффектов и возможных помех. В результате был разработан простой, точный, надежный, валидированный метод определения меламина в БАД-ах и специализированных продуктах методом ВЭЖХ.

Предел обнаружения метода был достаточным в рекомендованных пределах безопасности Таможенного Союза для определения остатка меламина в БАД-ах и специализированных продуктах.

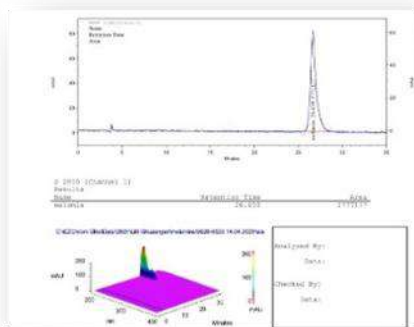


Рис. 1 Хроматография меламина.

Diagnostic Investigation. –2007. –№19. –P. 525–531

3. Dobson RLM et al. Identification and Characterization of Toxicity of Contaminants in Pet Food Leading to an Outbreak of Renal Toxicity in Cats and Dogs. Toxicological Sciences Advanced publication, 2008

4. Chen K. Anhui. Province poisonous infant formula incident. Public health security. Hangzhou City, China: Zhejiang University Press. –2007. –№169. –P. 70.

#### Литература

1. Melamine and Cyanuric acid: Toxicity, Preliminary Risk Assessment and Guidance on Levels in Food 25 September 2008 - Updated 30 October 2008

2. Brown C. K.S. Jeong, R.H. Poppenga Outbreaks of renal failure associated with melamine and cyanuric acid in dogs and cats in 2004 and 2007.// Journal of Veterinary

УДК 544

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ В РЫБНОМ ЖИРЕ И БАД-ах МЕТОДОМ ГХ-МС****Торосян Н.Р.<sup>1</sup>, Еганян Л. Р.<sup>1</sup>, Абгарян А.А.<sup>1</sup>, Григорян А.А.<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup> FDA Лаборатория Армения, марз Котайк, община, село Нор Гюх, ул. 6, стр. 1;<sup>2</sup> МУЕ Армения, г. Ереван, ул. Азатутюн 24/2;e-mail: [ani.grigoryana@yandex.ru](mailto:ani.grigoryana@yandex.ru)

Разработан аналитический метод одновременного определения 12 полихлорированных бифенилов (ПХБ) в рыбьем жире и биологически активных добавках (БАД). Метод основан на основном гидролизе, после очистки картриджом флорисила и алюминия оксида (соотношении 1: 1). Определение проводили с помощью газового хроматографа с масс-спектрометрией (GC-MS) в режиме выбранного ионного мониторинга (SIM). В качестве контроля пробы использовали метод добавки и внутренний стандарт ПХБ 207. Среднее извлечение колебалось от 75% до 115% с относительными стандартными отклонениями (RSD, n = 3) менее 11%. Этот метод обладает высокой селективностью и чувствительностью, и подходит для определения ПХБ в рыбьем жире и БАДах.

An analytical method has been developed for the simultaneous determination of 12 polychlorinated biphenyls (PCBs) in fish oil and dietary supplements. The method is based on basic hydrolysis, after cleaning with a Florisil and aluminum oxide (1:1) cartridge. The determination was carried out using a gas chromatograph with mass spectrometry (GC-MS) in the selected ion monitoring mode (SIM). The addition method and internal standard PCB 207 were used as control samples. Average recovery ranged from 75% to 115% with relative standard deviations (RSD, n = 3) less than 11%. This method has good selectivity and sensitivity and is suitable for the determination of PCBs in fish oil and dietary supplements.

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) составляют группу из 209 конгенов, но только менее 90 были обнаружены в значительных концентрациях в экологических матрицах. Их производство в промышленных масштабах было начато в конце 1920-х годов для использования в качестве диэлектрической жидкости в трансформаторах и конденсаторах. ПХБ - это соединения, искусственно синтезированные путем замещения атомов водорода атомами хлора в молекуле бифенила. Такое замещение возможно в любом положении и в комбинации от 1 до 10 атомов хлора в каждой молекуле [1]. ПХБ - очень стойкие химические вещества из-за термической стабильности и устойчивости к биоразложению. Эти соединения широко использовались практически во всех отраслях промышленности, поскольку для них характерны: хорошая стабильность в различных условиях, растворимость в неполярных растворителях, низкое давление паров, низкая электропроводность, высокая термостойкость. Интерес к полихлорированным дифенилам (ПХБ) как к загрязнителю окружающей среды возникло в 1966 году, когда они

были занесены в каталог как опасные отходы.[2] Конгенеры ПХБ считаются канцерогенными, иммунотоксичными и влияют на стабильность поведения [3].

PEAK NAME	IONS M/Z
PCB 123	326
PCB 118	326
PCB 114	254
PCB 105	326
PCB 126	326
PCB 167	360
PCB 156	360
PCB 157	290
PCB 169	360
PCB 189	394
PCB 81	220
PCB 77	292

В настоящее время аналитические методы для ПХБ основаны на их разделении с помощью газовой хроматографии (ГХ) [с использованием капиллярных колонок с разной полярностью и специальных детекторов, таких как пламенно-ионизационный детектор (FID) и детектор захвата электронов (ECD) и масс-спектрометрия (МС). Наиболее важное преимущество анализа ПХБ с помощью МС заключается в его высокой селективности, поскольку уровни хлорирования среди групп конгенов эффективно различаются. Кроме того, он распознает вещества, мешающие их идентификации и количественному определению.

Нами был разработан метод анализа следующих ПХБ 81, 77,123,118,114, 105,126, 167, 156, 157,169,189 в рыбьем жире и биологических

активных добавках (БАД) на основе рыбьего жира. Анализ проводили на приборе для газ-хроматографии с масс детектором.

**Химикаты, реагенты:** деионизированная вода (Milli-Q), гидроксид калия (Panreac 99%), этанол (ROMIL-SpS Super Purity Solvent), гексан (CARLO ERBA 99%), флоризил (Promochem 99%), оксид алюминия (Panreac 99%). PCB 207(LGC 99 %), PCB Mix 41(LGC 99%)

**Оборудование и условия хроматографирования:** для анализа была использована колонка Optima-5- 0.25  $\mu$ m, 30m x 0.32mm ID, Macherey-Nagel, температура в GC / MS Bruker 450 GC-MS (Bruker / USA,) с инжектором без делений составляла 290°C.

Время без разделения составляло 20 сек, соотношение разделения 1:20.

Газ-носитель - гелий - линейная скорость 1 мл/мин.

Ионизация:, 70 эВ, режим МС: SIM.

Температура источника ионов и линии передачи: 220 и 250°C соответственно.

Сбор хроматографических данных выполняли с помощью программного обеспечения BrukerMSWS(.Bruker).

Температурная программа печи для инструмента была следующей: начальная выдержка 80 ° C в течение 1 мин, затем постепенное изменение (I) от 20°C / мин до 190°C (выдержка 6 мин), затем постепенное изменение (II) 15°C / мин до 220°C (выдержка 10 мин), затем постепенное изменение (III) 15°C / мин до 280°C (выдержка 4 мин), и 3°C / мин, 10 °300 (выдержка 2 мин).

**Пробоподготовка.** В коническую колбу на 500 мл взвешивается около 10 г пробы добавляется внутренний стандарт ПХБ 207, добавляется 100 мл 5% спиртового раствора КОН и доводится до кипения. Затем проводится гидролиз в течение 4 часов с обратным охлаждением. После гидролиза замораживается и добавляется 100 мл деионизированной воды. Растворяется в 50 мл гексане. Пропускается слой гексана через колонку (предварительно активированную флоризилом (4 часа 130°C) смешанного в соотношении 1:1 с оксидом алюминия, и активированным гексаном.). Выпаривается до сухого состояния с помощью азота. Сухой остаток растворяется в 1 мл гексана, фильтруется мембранный фильтром.

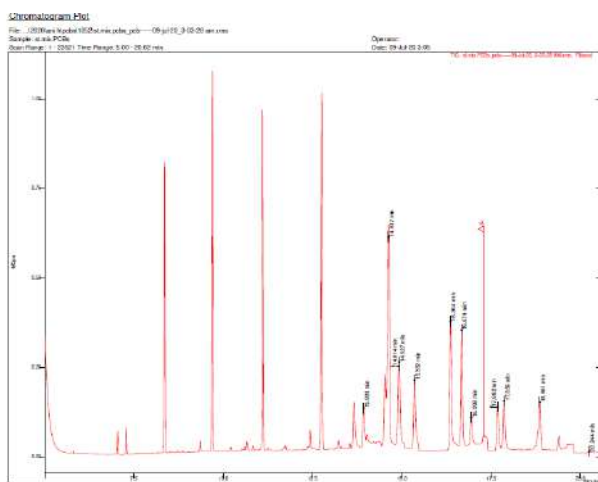


Рис. 1 Хроматография ПХБ

Чувствительный, быстрый и надежный метод мониторинга был оптимизирован для определения содержания ПХБ в рыбьем жире и в БАД-ах. Использование экстракции обеспечивает эффективную пробоподготовку. Метод очистки, основанный на флоризированной колонке, обеспечивает упрощенный подход к удалению помех из необработанной пробы. Использование внутреннего

стандарта обеспечивает надежность метода (75-115 %). ГХ / МС в режиме SIM использовался для окончательного определения целевых конгенов. Этот метод подходит для экспресс-анализа проб рыбьего жира и БАДов.

### Литература

1. UNEP Chemicals. Guidelines for the Identification of PCBs and Materials Containing PCBs (PDF). United Nations Environment Programme. p. 40.
2. Alford-Stevens, A.; Budde, W.; Bellar, T. Anal. Chem. 1985.
3. Washington, D.C "Health Effects of PCBs"...: U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2016



УДК 544.3

**АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕЗОПОРИСТЫХ СИЛИКАГЕЛЕЙ, ДОПИРОВАННЫХ ЛАНТАНОМ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ Ni, Cu и Ag<sup>1</sup>****Токранова Е.О.<sup>1</sup>, Шафигулин Р.В.<sup>1</sup>, Токранов А.А., Буланова А.В.<sup>1</sup>**

*Самарский университет,  
Россия 443086, г. Самара, Московское шоссе, д.34  
e-mail: [fileona@mail.ru](mailto:fileona@mail.ru)*

В работе синтезированы образцы мезопористого силикагеля, допированного лантаном и модифицированного никелем и серебром (La-Ni/МС, La-Cu/МС, La-Ag/МС). Изучены текстурные и морфологические характеристики полученных образцов методами СЭМ, ПЭМ, РФА, низкотемпературная адсорбция-десорбция азота, ICP, XRD; метом обращенной газовой хроматографии исследованы адсорбционные свойства материалов.

Samples of mesoporous silica doped with lanthanum and modified with nickel, copper and silver (La-Ni/МС, La-Cu/МС and La-Ag/МС) have been synthesized. The textural and morphological characteristics of the obtained samples were obtained by SEM, TEM, XRF, low-temperature adsorption-desorption of nitrogen, ICP, XRD methods; adsorption properties of the materials were investigated by inverse gas chromatography.

Последние исследования в области получения новых функциональных мезопористых материалов связаны с допированием их редкоземельными элементами и модифицированием переходными металлами, что позволяет получать высокоэффективные и селективные адсорбенты и катализаторы. Целью работы являлся синтез мезопористых силикагелей, допированных лантаном и модифицированных никелем, медью, серебром и изучение их адсорбционных свойств.

Темплатным методом были получены образцы мезопористого силикагеля, допированного лантаном и модифицированного никелем и серебром (La-Ni/МС, La-Cu/МС, La-Ag/МС). Текстурные и морфологические характеристики образцов изучены различными физико-химическими методами: СЭМ, ПЭМ, РФА, низкотемпературная адсорбция-десорбция азота, ICP, XRD. Наличие металлов в образцах доказывали методом рентгенофлуоресцентного анализа. Количественное определение образцов проводили методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP), концентрация лантана составила – 1,8 %, масс., никеля, меди и серебра – 7%, масс. Размеры и форму частиц, полученных мезопористых силикагелей исследовали с помощью метода сканирующей электронной микроскопии: частицы всех синтезированных образцов имеют форму, близкую к сферической; средний размер для образцов

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке государственного гранта, проект № FSSS-2020-0016.

La-Ag/МС, La-Ni/МС составляет 220, 100 нм соответственно. Из полученных изотерм низкотемпературной адсорбции-десорбции азота были рассчитаны удельная поверхность материалов (модель БЭТ), средний размер пор, общий объем пор. Удельная площадь поверхности La-Ni/МС и La-Ag/МС составили 467 и 191 м<sup>2</sup>/г, удельный объем пор 0.887 и 0.783 см<sup>3</sup>/г соответственно.

Адсорбционные свойства мезопористых кремнезёмов изучали методом обращенной газовой хроматографии на TraceGC с пламенно-ионизационным детектором. В качестве газа-носителя использовали гелий особой чистоты. Использовали металлическую насадочную колонку длиной 50,2 см и внутренним диаметром 2 мм. В качестве адсорбатов использовали: нормальные алканы (С6 - С8), метанол, этанол, бензол, нитрометан, ацетон, о-ксилол, м-ксилол, п-ксилол, циклогексен, диэтиловый эфир, ацетонитрил.

На основании температурных зависимостей констант Генри рассчитывали теплоту адсорбции и стандартные молярные изменения энтропий. Для определения влияния природы модификатора на допированный лантаном мезопористый силикагель проводили сравнение величин теплот адсорбции ( $\bar{Q}_1$ ) тестовых органических соединений (рис.1).

Модифицирование металлами приводит к изменениям теплот адсорбции соединений, склонных к различным типам специфических взаимодействий. Образцы La-Cu/МС и La-Ag/МС характеризуются более низкими значениями теплот адсорбции для спиртов, можно предположить, что склонность к образованию водородных связей на них ниже. Анализируя значения теплот адсорбции нитрометана, диэтилового эфира и ацетонитрила для La-Ag/МС можно предположить, что склонность этого материала диполь-дипольным и донорно-акцепторным взаимодействиям самая низкая по сравнению с другими синтезированными мезопористыми силикагелями.

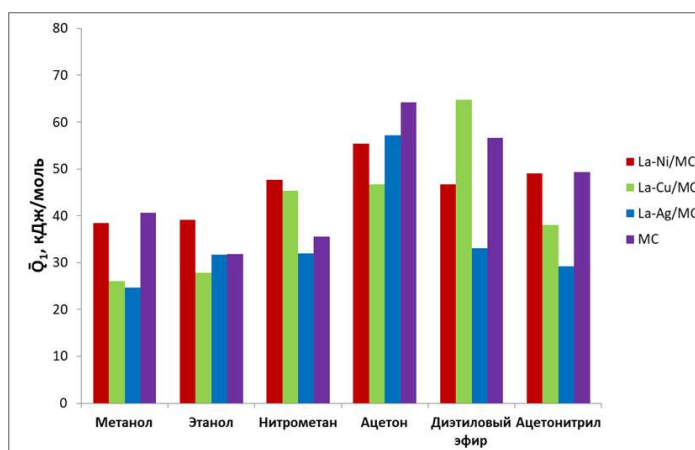


Рис.1. Влияние модификатора на величины теплот ( $\bar{Q}_1$ ) адсорбции полярных соединений на адсорбентах МС, La-Ni/МС, La-Cu/МС и La-Ag/МС.

УДК 544

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ  
АКТОПЛАЗМИНА****Платонов И.А., Аникина М.А., Скребнева К.С., Платонова Т.В.**

*ФГФОУВО «Самарский университет»,  
Россия 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34;  
e-mail: [pia@ssau.ru](mailto:pia@ssau.ru)*

Разработана методика получения фармацевтического препарата «Актоплазмин» на основе плазмы крови человека, обладающего антиоксидантной активностью и предназначенного для лечения постинсультных и постинфарктных состояний. Проведено физико-химическое изучение элементного, аминокислотного, пептидного и белкового состава методами ИСП спектрометрии, ВЭЖХ, ГХ/МС и др.

A method has been developed for obtaining the pharmaceutical preparation "Actoplasmin" based on human blood plasma, which has antioxidant activity and is intended for the treatment of post-stroke and post-infarction conditions. A physicochemical study of the elemental composition, amino acid, peptide and protein composition was carried out by ICP spectrometry, HPLC, GC/MS, etc.

Кровь, являясь сложной системой, включает в себя множество компонентов, каждый из которых находит свое практическое применение, например, плазма крови используется непосредственно при переливании крови и в качестве сырья для лекарственных препаратов. Однако, к сожалению, при переработке такой сложной матрицы остается большое количество остатков, богатых аминокислотами и белками, которые могут быть использованы для широкого спектра лекарственных препаратов, биологических добавок и компонентов питательных сред.

Препараты крови представляют собой особый класс фармацевтических средств, которые используются для предотвращения и лечения заболеваний, угрожающих жизни человека. В широкий спектр применения таких препаратов входят лечение ран и инфекций, заболеваний иммунной системы и восстановление нервной системы в постинсультных состояниях.

В связи с этим, целью работы является разработка методики получения лекарственного средства «Актоплазмин» из центрифугатов, содержащих продукты плазмы крови.

Задачи работы заключаются в следующем:

- наработка сухого остатка центрифугатов для приготовления тестовых растворов актоплазмина;
- определение таких характеристик лекарственного препарата, как уровень рН, плотность, прозрачность;
- определение содержания в актоплазмине аминокислот, белков, тяжелых металлов и макро- и микроэлементов.

УДК 544.723.2

**ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ НЕКОТОРЫХ БЕНЗИМИДАЗОЛОВ ИЗ ЖИДКИХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ, НА ГЕКСАДЕЦИЛСИЛИКАГЕЛЕ<sup>1</sup>****Копылова А.А.<sup>1</sup>, Разницына В.М.<sup>1</sup>, Шафигулин Р.В.<sup>1</sup>, Буланова А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Россия 44301, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1;  
e-mail: [yadrovaaa@mail.ru](mailto:yadrovaaa@mail.ru)

В работе изучена адсорбция бензимидазола и семи его впервые синтезированных производных из водно-органических растворов с добавлением имидазолиевых ионных жидкостей на гексадецилсиликагеле. Рассмотрено влияние природы ионной жидкости на селективность разделения смеси исследуемых соединений и эффективность хроматографических систем.

The adsorption of benzimidazole and its' seven firstly synthesized derivatives from aqueous-organic solutions with the addition of imidazolium ionic liquids on hexadecyl silica gel was studied. The influence of ionic liquids' nature on the separation selectivity of the mixture of compounds under study and the efficiency of chromatographic systems were considered.

Изучение адсорбции биологически активных соединений (БАС) из водных растворов является актуальным направлением, в связи с массовым развитием производств, в том числе фармацевтической промышленности. Одним из основных методов исследования субстанций лекарственных средств является обращенно-фазовая высокоэффективная жидкостная хроматография (ОФ ВЭЖХ). Производные бензимидазола входят в состав многих уже имеющихся и разрабатываемых лекарственных средств. Поэтому исследование особенностей их адсорбции позволяет совершенствовать и разрабатывать новые методики их определения. Как показывает практика, у метода ОФ ВЭЖХ есть ряд проблем, таких как, например, сложность одновременного разделения многокомпонентных смесей БАС или неустойчивость высокомолекулярных соединений в условиях проведения хроматографического анализа. Возможным решением может стать использование ионных жидкостей (ИЖ) в качестве модификаторов элюентов, которые обладают хорошей растворяющей способностью и могут поддерживать ряд важнейших для хроматографического разделения межмолекулярных взаимодействий.


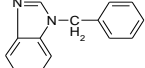
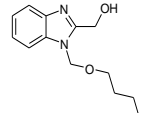
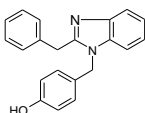
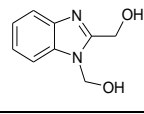
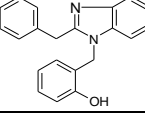
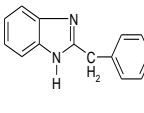
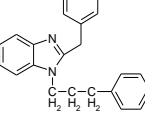
Объектами исследования являлись бензимидазол и семь его впервые синтезированных производных. Структура и чистота соединений подтверждены ЯМР- и ИК-методами. Эксперимент выполняли на

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 19-33-90208 и госзадания Министерства образования и науки РФ №FSSS-2020-0016.

микроколоночном жидкостном хроматографе «Милихром А-02». Детектирование проводили при длинах волн 254, 280 и 300 нм.

Таблица 1 - Структурные формулы исследуемых соединений

№	Название соединения	Структурная формула	№	Название соединения	Структурная формула
1	1-бензимидазол		5	1-бензил бензимидазол	
2	1-(бутоксиметил)-2-гидроксиметил-бензимидазол		6	4-[(2-бензил-бензимидазол-1-ил)-метил]фенол	
3	1,2-бис-(гидроксиметил)-бензимидазол		7	2-[(2-бензил-бензимидазол-1-ил)-метил]фенол	
4	2-бензил бензимидазол		8	2-бензил-1-(3-фенилпропил)-1Н-бензимидазол	

В качестве сорбента использовали гексадецилсиликагель (Диафер С<sub>16</sub>). В

качестве элюента использовали водно-метанольные и водно-ацетонитрильные

элюенты, в том числе с добавлением ИЖ: 1-бутил-2,3-диметилимидазолий тетрафторборат ([BdMIM][BF<sub>4</sub>]) и 1-бутил-3-метилимидазолий бромид ([BMIM][Br]), в качестве модификаторов элюента. Элюирование осуществляли в изократическом режиме. Температуру эксперимента варьировали от 55 до 75 °С.

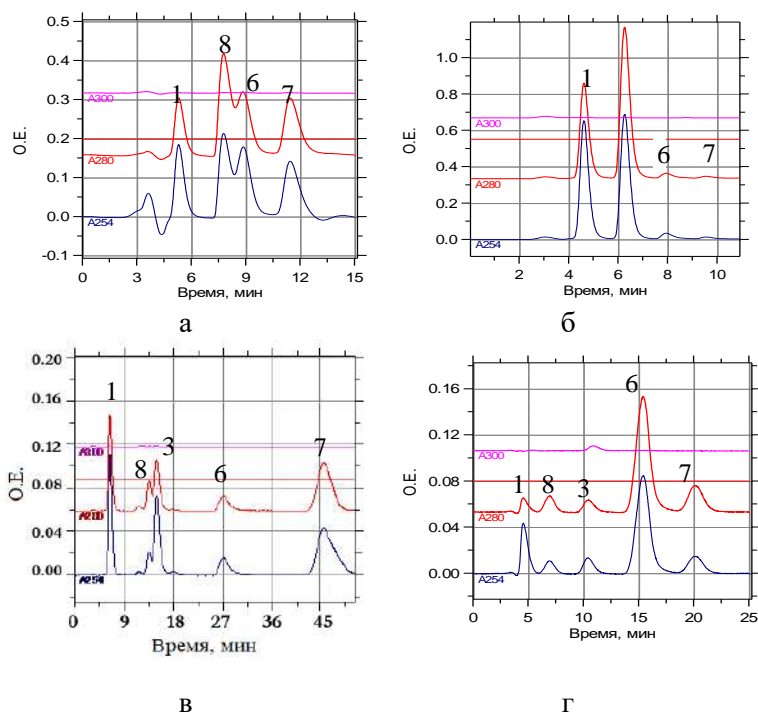


Рис. 1. Хроматограммы смесей бензимидазолов при 50 об.% органического растворителя для систем а) CH<sub>3</sub>CN/H<sub>2</sub>O; б) CH<sub>3</sub>CN/[BMIM][Br]; в) CH<sub>3</sub>OH/H<sub>2</sub>O; и г) CH<sub>3</sub>OH/[BdMIM][BF<sub>4</sub>] (t = 65 °С)

Добавление ИЖ приводит к сокращению времени анализа, особенно в системах с [BdMIM][BF<sub>4</sub>], а также влияет на селективность разделения бензимидазолов.

Например, применение [BMIM][Br] в водно-ацетонитрильных системах улучшает селективность разделения сорбатов 6 и 8 (рис.1а, б), а в водно-метанольных добавка [BdMIM][BF<sub>4</sub>] улучшает разделение соединений 3 и 8 (рис.1в, г).

УДК 547.91

**АНАЛИЗ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХСЯ ПОЛОС ПОГЛОЩЕНИЯ И  
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТРИТЕРПЕНОВЫХ ГЛИКОЗИДОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ И  
ЖИДКИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМАХ МЕТОДОМ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ<sup>1</sup>****Миرونенко Н.В., Селеменев В.Ф.**

*Воронежский государственный университет  
394006, г.Воронеж, Университетская пл.,1  
e-mail: [natashamir@yandex.ru](mailto:natashamir@yandex.ru)*

Проведен спектральный анализ, включающий отнесение полос поглощения к функциональным группам исследованных соединений. На основании полученных результатов предложены градуировочные модели определения сапонинов в растворах. Проведен регрессионный анализ градуировочных уравнений, рассчитаны основные статистические показатели.

A spectral analysis was carried out, including the assignment of absorption bands to the functional groups of the studied compounds. Based on the results obtained, calibration models for the determination of saponins in solutions are proposed. The regression analysis of the calibration equations is carried out, the main statistical indicators are calculated.

Органические вещества растительного происхождения-гликозиды пентациклического ряда, обладающие широкой палитрой биологической активности, вызывают значительный интерес исследователей с медицинской точки зрения [1-2]. Наряду с затруднениями в разработке унифицированных схем их получения из исходного сырья, одной из не менее важных проблем является вопрос их идентификации и количественного определения. Исследование спектральных характеристик молекул сапонинов на основе вклада хромофорных групп в общий спектр поглощения позволит не только решить проблему аналитического аспекта - обоснованно разрабатывать и применять методики спектрального анализа, но и сделать попытку изучения механизма взаимодействий, протекающих в растворе и на границе фаз, в частности явлений ассоциации, комплексообразования с другими соединениями.

В литературных источниках встречаются противоречивые данные о способах количественного определения гликозидов различной полярности в растительных фракциях спектральными методами. Одной из причин

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2020-2022 годы, проект № FZGU-2020-0044.

возникающих затруднений может быть схожесть спектров поглощения этих соединений.

Для подробного анализа спектров и повышения их чувствительности в случае исследования таких сложных молекул гликозидной структуры требуются дополнительные методы и приемы, одним из которых является дифференциальная спектрофотометрия. На рис. 1 приведены дифференциальные спектры поглощения сапонина *Quillaja Saponaria*.

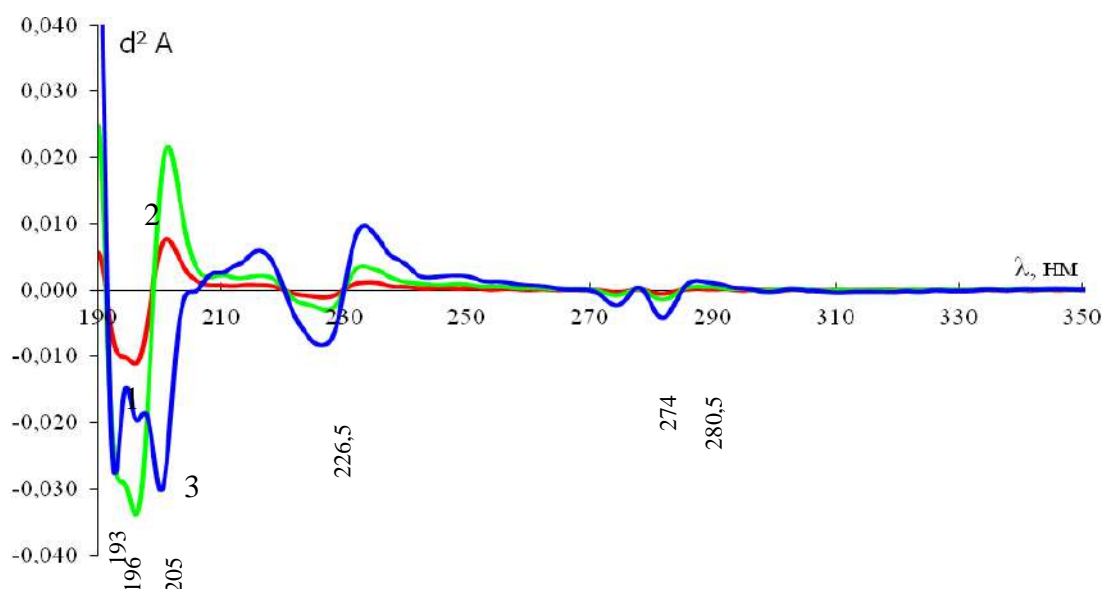


Рис.1. Дифференциальный спектр сапонина *Quillaja Saponaria*, C=1,0 мг/мл (1), C=0,4 мг/мл (2), C=0,8 мг/мл (3).

Анализ спектральных характеристик гликозидных соединений при различных значениях pH растворов не только позволяет уточнить наличие тех или иных функциональных групп, а также оценить целесообразность использования локальных минимумов для построения градуировочных кривых при количественном определении в растворах.

Уточненные длины волн в дифференцированных спектрах поглощения позволили применить их в качестве аналитических при разработке методик количественного определения сапонинов в водных растворах и жидких лекарственных формах [3].

#### Литература

1. Gui-Dong Cao, Hong-Xiang Lou, Qingwen Hu, Ying-Ying Chen, Qi-Yang Jiao, Afsar Khan, Feng Li, De-Feng Han // *Phytochemistry*. 2018. V.147,N3. P.1-8. DOI.org/10.1016/j.phytochem.2017.12.004
2. Guclu-Ustundag O., Mazza G., Balsevich J. // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2007. V. 47, N3. P. 231-258. DOI.org/10.1080/10408390600698197
3. Пат. 2413951. Способ определения тритерпеновых сапонинов в растительном сырье и лекарственных препаратах / Н.В. Мироненко, Т.А. Брежнева, В.Ф. Селеменев// 2011. N 2009130148/ 15. 4с.

УДК 543.05:544.163.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АКРИЛАМИДА СПЕКТРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ АНАЛИЗА

Симакина Я.И.<sup>1</sup>, Кузьмина Т.Г.<sup>1</sup>, Сенин В.Г.<sup>1</sup>, Михайлова А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГЕОХИ РАН, Россия 119991, г. Москва, ул. Косыгина 19;  
e-mail: [yana.igorevna@list.ru](mailto:yana.igorevna@list.ru)

Разработан способ определения ионов металлов (Fe(III), Cr(VI), Cu(II) и Mn(II)), основанный на сорбционном концентрировании элементов полимерными гидрогелями и последующем прямом рентгенофлуоресцентном анализе сорбента. Предложенный способ анализа апробирован на водопроводной воде.

An approach bases on elements sorption preconcentration using polymer hydrogel and direct X-ray fluorescent analysis of the sorbent is proposed for the determination of metal ions (Fe(III), Cr(VI), Cu(II) и Mn(II)). The approach is approved for the tap waters analysis.

В настоящей работе методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП), рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) исследованы полимерные высокомолекулярные гидрогели (ГГ) на основе акриламида (ПАА) в качестве сорбентов для определения Fe(III), Cr(VI), Mn(II) и Cu(II). Такие характеристики ГГ на основе ПАА, как исключительно высокая сорбционная емкость, магнитная и химическая инертность, доступность, удобство работы с материалом, механическая устойчивость, возможность использования в широком диапазоне температур и давлений, отражают их преимущества по сравнению с известными ранее полимерными материалами [1].

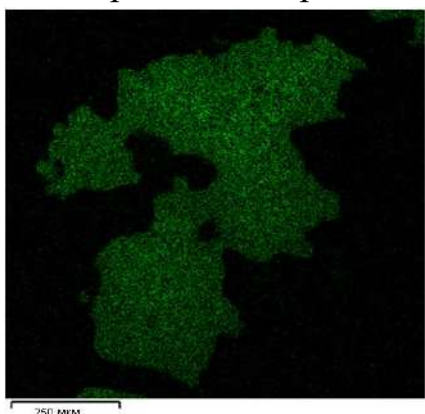


Рис. 1. Распределение марганца по срезу гранулы гидрогеля.

Методом РЭМ установили, что ионы распределяются равномерно по объёму (рис. 1). Этот факт соответствует выводам, сделанным в работе [2],

Изучены сорбционные свойства гидрогелей и разработан способ определения ионов металлов, основанный на сорбционном концентрировании элементов полимерными гидрогелями с последующим прямым анализом сорбента методом РФА. Набухание максимально в нейтральных средах и составляет  $3.3 \times 10^4\%$ . Сорбированные ионы прочно удерживаются в фазе ГГ и практически не элюируются неорганическими кислотами. Концентраты в фазе ГГ устойчивы длительное время.



о том, что ионы металла прочно связываются с гидрогелем, при этом сорбент выступает в качестве лиганда, гетероатомы которого частично или целиком заполняют координационную сферу металла.

Для определения сорбированных элементов непосредственно в фазе ГГ впервые применен метод РФА. Градуировочные зависимости линейны в диапазоне 0.03–1.3 мкг/мл. Пределы обнаружения составляют 0.007, 0.017, 0.007 и 0.01 мкг/мл, относительные стандартные отклонения составляют 4.1, 3.2, 4.1 и 5.2% для ионов Fe(III), Cr(VI), Cu(II) и Mn(II) соответственно. Разработанный способ применили для анализа проб чистой водопроводной воды и с добавками Cr(VI), Cu(II) и Mn(II). Эти же образцы анализировали стандартным методом АЭС-ИСП. Из данных табл. 1 следует, что результаты, полученные разработанным способом и методом АЭС-ИСП, удовлетворительно совпадают.

**Таблица 1.** Результаты (мкг/мл) анализа водопроводной воды методами рентгенофлуоресцентного анализа и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой

Элемент	Чистая вода		Вода с добавками	
	РФА	АЭС-ИСП	РФА	АЭС-ИСП
Mn	0.044 ± 0.007	0.034 ± 0.006	1.00 ± 0.156	0.98 ± 0.15
Cr	н/о*	н/о*	1.28 ± 0.115	1.3 ± 0.19
Cu	0.42 ± 0.052	0.35 ± 0.051	2.25 ± 0.15	2.06 ± 0.22
Fe	0.049 ± 0.005	0.057 ± 0.004	0.55 ± 0.06	0.51 ± 0.04

\*Не обнаружено.

В настоящее время имеется большой выбор недорогих портативных рентгеноспектральных приборов, пригодных для использования в полевых условиях. Наличие таких приборов в сочетании с простотой пробоподготовки, стабильностью получаемых градуировочных зависимостей и анализируемых проб обуславливает перспективность применения предложенного способа, например, во внелабораторных экологических исследованиях.

### Литература

1. Химченко С.В., Эксперандрова Л.П., Бланк А.Б. Сорбционно-рентгенофлуоресцентное определение микроэлементов в воде с использованием квазитвердых излучателей // Химия и технология воды. 2007. Т. 29. № 6. С. 506.
2. Щербакова Я.И., Ефимов Н.Н., Михайлова А.В., Саввин С.Б., Минин В.В. Особенности комплексообразования переходных металлов с гидрогелями // Журн. неорг. химии. 2013. Т. 58. № 7. С. 936.

УДК 544

**СУБКРИТИЧЕСКАЯ ВОДА В КАЧЕСТВЕ ПОДВИЖНОЙ ФАЗЫ  
ПРИ ВЭЖХ АНАЛИЗЕ****Платонов И.А., Павлова Л.В., Муханова И.М.,  
Колесниченко И.Н.**

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Самарский государственный национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева»  
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д.34;  
e-mail: [pia@ssau.ru](mailto:pia@ssau.ru)*

Проведено сравнение эффективности разделения ароматических углеводородов при анализе методом обращенно-фазовой ВЭЖХ на колонке Hypersil GOLD C18 при использовании водно-ацетонитрильных смесей и горячей воды при температуре 90-125°C в качестве подвижной фазы. Установлено, что эффективность разделения ароматических углеводородов при использовании субкритической воды при температуре 90°C в качестве подвижной фазы сопоставима с эффективностью ВЭЖХ разделения при использовании водно-ацетонитрильных смесей.

Comparison of the efficiency of separation of aromatic hydrocarbons in the analysis by reversed-phase HPLC on a Hypersil GOLD C18 column using water-acetonitrile mixtures and hot water at a temperature of 90-125 ° C as a mobile phase was done. It was found that the efficiency of separation of aromatic hydrocarbons when using subcritical water at a temperature of 90°C as a mobile phase is comparable to the efficiency of HPLC separation when using water-acetonitrile mixtures.

Последнее время особый интерес вызывает субкритическая вода как среда, способная заменить многие экологически небезопасные растворители при ВЭЖХ анализе. Изменение физических свойств воды в докритическом состоянии позволяет ей растворять многие органические соединения, что дает возможность наряду с экстракцией использовать ее в качестве подвижной фазы при анализе методом обращенно-фазовой ВЭЖХ [1,2].

В данной работе проведено изучение возможности использования субкритической воды в качестве подвижной фазы при ВЭЖХ анализе смеси ароматических веществ на колонке Hypersil GOLD (150 мм × 4 мм) с сорбентом C18 (Thermo electron corporation) зернением 5 мкм. В качестве модельной смеси для разделения готовили смесь бензола, толуола. Фиксация сигнала осуществлялась с помощью спектрофотометрического детектора при длине волны 254 нм. Скорость подвижной фазы 1 мл/мин.

При проведении эксперимента в субкритических условиях, добились разделения модельной смеси при температуре воды 125°C, 90°C и давлении 5 МПа. Результаты, полученные при температуре воды 90°C

сопоставимы с результатами разделения в стандартных условиях с использованием в качестве подвижной фазы смеси ацетонитрила с водой в соотношении 20:80 (% об.) (рисунок 1).

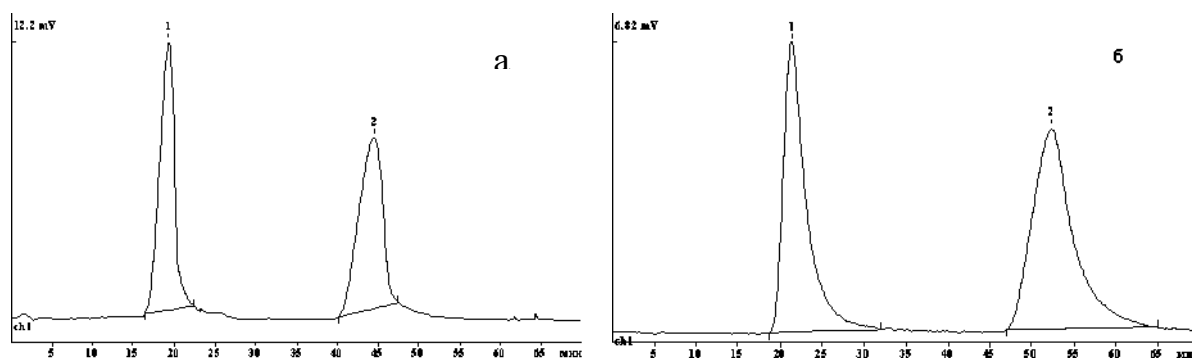


Рисунок 1 – Хроматограмма ВЭЖХ-анализа смеси бензола (1) и толуола (2) при использовании в качестве подвижной фазы смеси ацетонитрила с водой (20:80 % об.) (а) и субкритической воды при температуре 90 °С (б)

Наилучшие результаты в условиях эксперимента по разделению смеси ароматических углеводородов получены при элюировании субкритической водой при температуре 125 °С. Соответственно, изменением температуры субкритической воды можно достичь изменения элюирующей силы подвижной фазы. При этом, замена органических растворителей субкритической водой позволит снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Установлено, что в условиях эксперимента не происходит деградации неподвижной фазы C18. Воспроизводимость результатов составила  $\leq 5\%$ .

## Литература

1. Борисова Д.Р., Статкус М.А., Цизин Г.И., Золотов Ю.А. Вода в субкритическом состоянии: применение в химическом анализе // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72. № 8. С. 699–713.
2. Smith R.M. Superheated water: the ultimate green solvent for separation science // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2006. V. 385(3). P. 419-421.

УДК 543.554.6: 544.725.2: 546.26: 547.551.525.211.1  
**ПЕРФТОРИРОВАННЫЕ СУЛЬФОКАТИОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ С  
ФУНКЦИОналиЗИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ, ДЛЯ  
ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СУЛЬФАНИЛАМИДНЫХ  
ПРЕПАРАТОВ<sup>1</sup>**

**Ельникова А.С.<sup>1</sup>, Кулешова В.А.<sup>1</sup>, Колганова Т.С.<sup>1</sup>, Паршина А.В.<sup>1</sup>,  
Сафронова Е.Ю.<sup>1</sup>, Бобрешова О.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ВГУ, Россия 394006, г. Воронеж, Университетская пл., 1;

<sup>2</sup> ИОНХ РАН, Россия 119991, г. Москва, Ленинский просп., 31;

e-mail: [parshina\\_ann@mail.ru](mailto:parshina_ann@mail.ru)

Разработаны мультисенсорные системы с ПД-сенсорами (ПД – потенциал Доннана) на основе перфторированных сульфокатионообменных мембран, содержащих УНТ, поверхностно модифицированные карбокси-, сульфо- и аминогруппами, для анализа сульфаниламидных препаратов.

The multisensory systems with the DP-sensors (the DP is the Donnan potential) based on perfluorosulfonic acid cationexchange membranes, containing MWCNs surface modified with carboxy, sulfo and amino groups, for sulfonamide pharmaceuticals analysis were developed.

Сульфаниламид и сульфацетамид широко используются в качестве противомикробных средств в медицине и ветеринарии. Для анализа их препаратов известны потенциометрические сенсоры на основе ионофоров [1, 2], применение которых сопряжено с рядом проблем. В то же время ограничен выбор соединений, способных к реакциям ионного обмена или комплексообразования с анионами, и анионообменных мембран, характеризующихся наноструктурированной матрицей и химической стойкостью. В данной работе для определения сульфаниламидов использован мультисенсорный подход, основанный на объединении в массив сенсоров, имеющих перекрестную чувствительность к нескольким анализитам. Мультисенсорные системы включали потенциометрические сенсоры с внутренним раствором сравнения, аналитическим сигналом которых являлся потенциал Доннана (ПД) [3], на основе перфторированных сульфокатионообменных мембран МФ-4СК. Сульфаниламиды поступают в катионообменную мембрану посредством необменной сорбции, при чем присутствие в объектах анализа

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ, МД-5732.2021.1.3.

неорганических катионов другого сорта нежели исходная ионная форма мембран обеспечивает сопряженный перенос аналитов через межфазную границу [4]. Повышению концентрации ароматических анионов в порах сульфокатионообменных мембран могут способствовать, как ион-ионные и ион-дипольные взаимодействия, так и гидрофобные взаимодействия [4]. В связи с этим для организации ПД-сенсоров для определения анионов сульфаниламидов были выбраны мембраны МФ-4СК, содержащие УНТ, поверхностно модифицированные карбокси-, сульфо- и аминогруппами. Установлено влияние концентрации и кислотно-основных свойств поверхности УНТ на перекрестную чувствительность ПД-сенсоров к анионам сульфаниламидов и катионам натрия, присутствующих в растворах в различном соотношении концентраций в интервале от  $1.0 \cdot 10^{-5}$  до  $1.0 \cdot 10^{-3}$  М. Определена роль ультразвуковой обработки мембран, применяемой при получении модифицированных образцов, на сенсорные характеристики получаемых материалов. Массивы перекрестно чувствительных ПД-сенсоров на основе модифицированных мембран апробированы для анализа модельных растворов со сложной матрицей и определения действующего вещества в фармацевтическом препарате “Сульфацил натрия” (капли глазные). Преимуществами разработанных мультисенсорных систем являются выполнение анализа с высокой точностью без использования реагентов (в том числе без корректировки рН объекта анализа) и при относительно невысоком разбавлении препарата, а также стабильность характеристик в течение длительного времени и простота анализа.

### Литература

1. *El-Ragehy N.A., Hegazy M.A. et al.* Validated potentiometric method for the determination of sulfacetamide sodium; application to its pharmaceutical formulations and spiked rabbit aqueous humor // *Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University*. 2018. V. 56. №. 2. P. 207-212.
2. *Saini A., Fuentes I., Viñas C. et al.* A simple membrane with the electroactive [Sulfapyridine-H]<sup>+</sup>[Co(C<sub>2</sub>B<sub>9</sub>H<sub>11</sub>)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> for the easy potentiometric detection of sulfonamides // *Journal of Organometallic Chemistry*. 2019. V. 893. P. 32-38.
3. *Safronova E., Parshina A., Kolganova T., et al.* Potentiometric sensors arrays based on perfluorinated membranes and silica nanoparticles with surface modified by proton-acceptor groups, for the determination of aspartic and glutamic amino acids anions and potassium cations // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2018. V. 816. P. 21-29.
4. *Safronova E., Parshina A., Kolganova T., et al.* Potentiometric multisensory system based on perfluorosulfonic acid membranes and carbon nanotubes for sulfacetamide determination in pharmaceuticals // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2020. V. 873. P. 114435.

УДК 544.478

**ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕЗОПОРИСТОГО  
ДИОКСИДА ТИТАНА, ДОПИРОВАННОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ  
МЕТАЛЛАМИ В РЕАКЦИИ ФОТООКИСЛЕНИЯ АЛИЗАРИНА  
КРАСНОГО S<sup>1</sup>**

**Шмелев А.А.<sup>1</sup>, Шафигулин Р.В.<sup>1</sup>, Буланова А.В.<sup>1</sup>**

*Самарский университет, Россия 443086, г. Самара, Московское шоссе, д.34;  
e-mail: [shmelsasha@yandex.ru](mailto:shmelsasha@yandex.ru)*

В работе методом темплатного синтеза получены образцы мезопористого диоксида титана, допированного лантаном, тербием и диспрозием (La/TiO<sub>2</sub>, Tb/TiO<sub>2</sub>, Dy/TiO<sub>2</sub>). Изучены текстурные и структурные свойства образцов чистого TiO<sub>2</sub> и Dy/TiO<sub>2</sub> методами РСМА, РФА, спектроскопии диффузного отражения и низкотемпературной адсорбции-десорбции азота. Исследованы фотокаталитические свойства полученных материалов в реакции фотоокисления ализарина красного S.

Samples of mesoporous titanium dioxide doped with lanthanum, terbium and dysprosium (La/TiO<sub>2</sub>, Tb/TiO<sub>2</sub>, Dy/TiO<sub>2</sub>) were obtained by template synthesis. The textural and structural properties of samples of pure TiO<sub>2</sub> and Dy/TiO<sub>2</sub> have been studied by XRF, XRD, diffuse reflection spectroscopy, and low-temperature adsorption-desorption of nitrogen. The photocatalytic properties of the obtained materials in the photooxidation reaction of alizarin red S were investigated.

Одним из актуальных направлений в области получения новых фотокаталитических систем является допирование диоксида титана редкоземельными элементами, что позволяет сдвинуть спектр поглощения TiO<sub>2</sub> в область видимого спектра поглощения, что может помочь использовать полученные соединения при очистке воды и воздуха при солнечном свете. Целью работы являлся синтез мезопористого диоксида титана, допированного лантаном, тербием и диспрозием, и изучение фотокаталитических свойств полученных образцов в реакции окисления ализарина красного S.

Получение образцов TiO<sub>2</sub>, Dy/TiO<sub>2</sub>, La/TiO<sub>2</sub>, Tb/TiO<sub>2</sub> проводили методом темплатного синтеза. В качестве темплата использовали цетилтриметиламмоний бромид (ЦТАБ). Текстурные и структурные характеристики полученных образцов TiO<sub>2</sub> и Dy/TiO<sub>2</sub> были изучены методами РСМА, РФА, спектроскопией диффузного отражения и низкотемпературной адсорбцией-десорбцией азота. Наличие атомов диспрозия в образце Dy/TiO<sub>2</sub> было доказано методом РСМА на рентгенофлуоресцентном анализаторе БРА-18. РФА синтезированных

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке государственного гранта, проект № FSSS-2020-0016.

материалов проводили на дифрактометре Rigaku Miniflex 600, параметры элементарной ячейки были рассчитаны с использованием индексов Миллера. На дифрактограмме Dy/TiO<sub>2</sub> не было обнаружено ярко выраженных характерных рефлексов для фазы Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, при этом по сравнению с образцом TiO<sub>2</sub> наблюдалось увеличение параметров кристаллической решетки (a и b), что вероятно связано с расположением Dy<sup>3+</sup> в междоузлиях кристаллитов диоксида титана. Спектры диффузного отражения в УФ и видимой области были записаны при помощи спектрофотометра Thermo Scientific Evolution 201 с интегрирующей сферой. Установлено, что в образце Dy/TiO<sub>2</sub> наблюдается усиление поглощения в видимой области спектра по сравнению с чистым TiO<sub>2</sub>. Увеличение поглощения в видимой области спектра подтверждается также сужением ширины запрещенной зоны с 2,83 эВ до 2,67 эВ. Полученные изотермы для образцов TiO<sub>2</sub> и Dy/TiO<sub>2</sub> характеризуются наличием петель гистерезиса, что является признаком изотерм IV типа Ленгмюра и указывает на то, что образцы являются мезопористыми.

Фотокаталитическую активность синтезированных материалов изучали на примере реакции фотоокисления ализарина красного S. Для проведения эксперимента навеску исследуемого образца фотокатализатора помещали в модельный раствор ализарина красного S с концентрацией 25 ppm. Полученные модельные растворы перемешивали в стеклянном стакане на магнитной мешалке под воздействием двух люминесцентных ламп белого света. Отбор проб проводили через 1; 1,5 и 2 часа и фильтровали на целлюлозном фильтре. Изменение концентрации вещества в растворе определяли при помощи однолучевого сканирующего спектрофотометра Unico 2800. Деградация ализарина красного S на синтезированных образцах представлена в таблице 1.

Табл.1. Деградация ализарина красного S на полученных образцах мезопористого диоксида титана.

	TiO <sub>2</sub>	Tb/TiO <sub>2</sub>	Dy/TiO <sub>2</sub>	La/TiO <sub>2</sub>
1 час	74,9%	91,3%	76,7%	75,8%
1,5 часа	77,7%	97,2%	97,9%	94,7%
2 часа	78,7%	100%	100%	100%

При воздействии видимого света концентрация ализарина значительно уменьшается на всех образцах. Уже через час деградация ализарина на образце Tb/TiO<sub>2</sub> достигает 91,3%. Через два часа на всех допированных образцах наблюдается полная деградация ализарина, в то время как на недопированном образце деградация ализарина не превышает 78,7% через 2 часа после начала эксперимента.

УДК 543.61, 543.631

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОФАЗНОГО  
ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ  
ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА  
ЯСНОТКОВЫЕ<sup>1</sup>**

**Толочилин Н.А., Иванова Р.Э., Онучак Л.А.**

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара  
e-mail: [nitol98@mail.ru](mailto:nitol98@mail.ru)*

В проведенном исследовании рассматривается метод статического парофазного газохроматографического анализа для определения подлинности некоторых лекарственных растений семейства яснотковые.

A scientific study examines the application of the method of static headspace gas chromatographic analysis to determine the authenticity of some medicinal plants of the family of the Lamiaceae.

Отсутствие общепринятой процедуры экстрагирования в большинстве способов определения подлинности и качества лекарственного растительного сырья (ЛРС) влечет за собой появление различий в качественном и количественном составе экстрактов ЛРС и ограничивает возможность обнаружения летучих и среднелетучих компонентов.

Целью работы являлось определение летучих и среднелетучих метаболитов в ЛРС семейства яснотковые методом парофазного газохроматографического анализа (ПФА), а также изучение возможностей применения этого метода для видовой идентификации и определения подлинности ЛРС.

Объектами исследования являлись образцы лекарственных растений семейства яснотковые: «душица обыкновенная», «монарда дудчатая», «тимьян ползучий», собранные в ботаническом саду г. Самара, а также аптечные сборы «пустырника обыкновенного» (АО «Красногорсклексредства», г. Красногорск) и «шалфея лекарственного» (ООО «Парафарм», г. Пенза).

Для получения РПФ проводили газовую экстракцию при температуре 80°C в течение 20 минут. Эксперимент проводили на газовом хроматографе «Кристалл 5000.2», с использованием кварцевой капиллярной колонки «РТХ-5» с малополярной 5%-дифенил-95%-диметилполисилоксановой неподвижной фазой (30м×0,32мм,  $d_f = 0,25$

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSSS-2020-0016.



мкм) и ПИД в режиме линейного программирования температуры. Из экспериментальных данных рассчитывали индексы удерживания Ван-ден-Доола и Кратца ( $I_i^T$ ) и относительные площади пиков ( $A_{отн,i}$ ) компонентов, выделившихся из ЛРС в паровую фазу. Идентификацию компонентов осуществляли по индексам удерживания с помощью литературных данных и электронной библиотеки NIST 2.0.

В образце сырья «душица обыкновенная» зарегистрировано 39 летучих компонентов ( $I_i^T = 384-1593$ ), доминирующий компонент  $\beta$ -пинен (975). Для тимьяна ползучего – 55 летучих компонентов ( $I_i^T = 323-1508$ ), доминирующий компонент  $\beta$ -пинен (975). Для монарды дудчатой – 44 летучих компонента ( $I_i^T = 322-1498$ ), доминирующий компонент 1,8-цинеол (1028). Для пустырника обыкновенного – 28 компонентов ( $I_i^T = 376-1293$ ), доминирующий компонент *para*-цимен (1026). Для шалфея лекарственного – 21 компонент ( $I_i^T = 400-1418$ ), доминирующими компонентами являются борнеол (1147), сабинен (951) и  $\alpha$ -туйон (1107).

Всего в общей совокупности данных 52 компонента растений можно отнести к основным ( $A_{отн,i} > 1\%$ ), 35 из которых одновременно присутствуют в двух и более образцах ЛРС. Во всех образцах присутствуют в различных концентрациях 2-метилпропаналь (556), тиофен (650),  $\alpha$ -пинен (935), октаналь (979),  $\beta$ -мирцен (991). Кроме того, выявлено 17 специфичных компонентов, регистрируемых лишь в одном образце. Тем не менее, частичная качественная схожесть летучих и среднелетучих компонентов рассматриваемых видов растений говорит об их действительной принадлежности к одному семейству.

На рисунке представлены диаграммы «относительная площадь пика – индекс удерживания» (headspace-спектры) для душицы обыкновенной (а) и тимьяна ползучего (б).

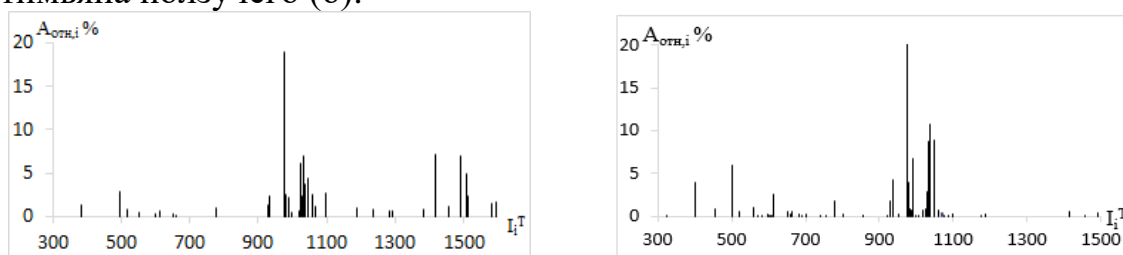


Рис. Диаграммы «относительная площадь пика – индекс удерживания»: а) – для летучих компонентов ЛРС «душица обыкновенная», б) – для летучих компонентов ЛРС «тимьян ползучий».

Headspace-спектр душицы обыкновенной имеет хорошо отличимые области наиболее летучих компонентов с  $I_i^T$  до 900, среднелетучих компонентов ( $I_i^T$  900-1200) и слаболетучих соединений с  $I_i^T$  от 1200 и выше. Headspace-спектр тимьяна ползучего не содержит область слаболетучих компонентов, что отличает его от спектра душицы обыкновенной. Сравнение диаграмм всех проанализированных ЛРС показало, что они специфичны и могут использоваться для видовой идентификации и установления подлинности лекарственного растительного сырья семейства яснотковые.

УДК 544.723.21, 543.544.33

**ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКОГО КАРКАСНОГО ПОЛИМЕРА ZIF-8<sup>1</sup>****Мартина Ю.В., Парийчук М.Ю., Кулагина Е.И.,  
Копытин К.А., Онучак Л.А.**

*Самарский университет, Россия 443086, г. Самара, Московское шоссе, д.34;  
e-mail: [yulya.martina@yandex.ru](mailto:yulya.martina@yandex.ru)*

Проведен синтез металл-органического каркасного полимера ZIF-8 и изучены его сорбционные свойства по отношению к некоторым органическим соединениям, рассмотрены селективные свойства ZIF-8 по отношению к изомерам октана.

Recently, metal-organic framework polymers (MOCPs) have attracted much attention as promising materials. In this work, the synthesis of the metal-organic framework polymer ZIF-8 was carried out. Also, its' sorption properties regarding some organic compounds were studied. In addition, the selective properties of ZIF-8 were examined in relation to octane isomers.

В последнее время в качестве перспективных материалов большое внимание привлекают металл-органические каркасные полимеры (МОКП). Они представляют собой новый класс пористых цеолитоподобных структур, обладающих огромным разнообразием и широкими возможностями для создания композитов и различных материалов с особыми свойствами. Возможность варьирования металлических ионных кластеров или ионов металлов, располагающихся в узлах решетки, и мостиковых органических лигандов в структуре МОКП делает их перспективными материалами для технологии аккумулирования и хранения газов, экстракции, катализа, а также использования в качестве сорбентов в хроматографии.

Цель работы заключалась в исследовании сорбционных свойств цеолитоподобного Zn-имидазольного каркаса ZIF-8 с помощью метода газовой хроматографии.

МОКП ZIF-8 является химически и термически устойчивым, что делает его достаточно хорошим сорбентом для разделения компонентов смеси. Шестиугольные «окна» на поверхности ZIF-8 являются достаточно узкими ( $\approx 3,4$  Å), а диаметр пор внутри полимера составляет  $\approx 11,4$  Å. Получение образцов ZIF-8 осуществлялось сольвотермическим способом с использованием 2-метилимидазола и хлорида цинка в качестве реагентов.

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-04010 мк.

Для подтверждения структуры полученного образца МОКП использовали порошковую дифрактометрию.

Газохроматографический эксперимент проводился на хроматографе Кристалл 5000.2 с детектором по теплопроводности. Порошок ZIF-8 был предварительно измельчен и фракционирован; для заполнения микронасадочной колонки (75 см×0,53 мм) была использована фракция 70-80 мкм. Термодинамические характеристики сорбции рассчитывались из зависимостей логарифма величины фактора удерживания  $k$  от обратной температуры. В качестве модельных сорбатов использовали органические соединения, отличающиеся по строению и размерам молекул и дипольным моментам.

Установлено, что в случае углеводородов с одинаковым количеством атомов углерода в молекуле лучше удерживаются ароматические соединения за счет взаимодействия их  $\pi$ -электронных систем с  $\pi$ -электронами линкеров металл-органического каркаса.

Анализ термодинамических характеристик сорбции показал, что, например, для полярных соединений хлорпроизводных метана, чьи молекулы имеют линейные размеры, сопоставимые с размерами окон в структуре ZIF-8, определяющим фактором при сорбции является не дипольный момент, а форма и размер молекул.

Также были рассмотрены селективные свойства индивидуального МОКП ZIF-8 по отношению к линейным и разветвленным алканам. В частности, обнаружено, что в случае *n*-октана и его изомеров слабее всего удерживаются наиболее разветвленные триметилпентаны. Это вызвано стерическими затруднениями при их взаимодействии с окном поры каркаса ZIF-8. Следует отметить, что в случае тяжело разделяемых 2,3-диметилгексана и 2,3,4-триметилпентана селективность разделения составляет 1,1 во всем температурном интервале, а для хорошо разделяемой пары *n*-октан и 2,2,4-триметилпентан селективность равна 1,85 при  $T=120^{\circ}\text{C}$ .

Полученные в работе значения термодинамических характеристик сорбции рассмотренных сорбатов могут указывать на небольшой вклад микропористой структуры ZIF-8 в энергию взаимодействия между сорбатом и металл-органическим каркасом, поскольку свободному взаимодействию молекул сорбатов с порами ZIF-8 препятствует малый размер его окон (3,4 Å). Это же объясняет тот факт, что если для линейных алканов пики на хроматограммах в основном имеют симметричную форму, то для жестких ароматических структур они чаще всего асимметричны.

Таким образом, на ZIF-8, наблюдается смешанный механизм удерживания, в котором реализуются ситовый эффект и возможность специфических взаимодействий.

УДК 535.518; 547.588

**РАЗРАБОТКА ИММУНОАНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФТАЛАТОВ В ПРОБАХ ВОДЫ<sup>1</sup>****Берлина А.Н.<sup>1</sup>, Комова Н.С.<sup>1</sup>, Шанин И.А.<sup>1</sup>, Каримова М.Р.<sup>2</sup>,  
Мухаметова Л.И.<sup>2</sup>, Жердев А.В.<sup>1</sup>, Дзантиев Б.Б.<sup>1</sup>, Еремин С.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт биохимии им. А.Н. Баха, Федеральный исследовательский центр  
"Фундаментальные основы биотехнологии" Российской академии наук,  
Россия 119071, Москва, Ленинский проспект, д.33;*

<sup>2</sup> *Химический факультет, Московский государственный университет имени  
М.В.Ломоносова, Россия 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1;  
e-mail: [anberlina@yandex.ru](mailto:anberlina@yandex.ru)*

Представлены результаты разработки иммунохимических тест-систем для определения фталатов в питьевой воде. Получены конъюгаты гаптен-белок и поликлональные антитела, охарактеризованы их аффинность и специфичность. На примере дибутилфталата рассмотрены характеристики поляризационного флуоресцентного иммуноанализа и иммуноферментного анализа.

The results of the development of immunochemical test systems for the determination of phthalates in drinking water are presented. Hapten-protein conjugates and polyclonal antibodies were obtained, and their affinity and specificity were characterized. On the example of dibutyl phthalate, the characteristics of polarization fluorescence immunoassay and enzyme immunoassay are considered.

Фталаты, активно используемые при производстве пластика, со временем высвобождаются из упаковочных материалов, попадая в продукты питания и питьевую воду. Токсичность фталатов, обусловленная их действием на эндокринную систему, определяет необходимость контроля их содержания в объектах окружающей среды. Для определения фталатов преимущественно используются хроматографические методы, но они могут быть реализованы лишь в централизованных лабораториях на дорогостоящем оборудовании. Перспективной альтернативой, удовлетворяющей требованиям экологического мониторинга, являются иммунохимические методы анализа, разработка и применение которых в существенной степени зависит от наличия антител разной специфичности. Исходя из структурного разнообразия фталатов и продуктов их трансформации, востребованы реагенты, обеспечивающие как групп-специфическое распознавание, так и индивидуальное выявление определенных соединений.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №21-14-00306.

В рамках проводимого исследования синтезированы и охарактеризованы конъюгаты аминокпроизводных фталатов – двузамещенных эфиров (дибутилфталат, диэтилфталат, диметилфталат) и монозамещенных эфиров (монобутил, монобензилфталаты) – с белками-носителями и с флуорофорами. Для иммунизации выбраны конъюгаты с катионизированным бычьим сывороточным альбумином. Нарботаны и охарактеризованы по аффинности и специфичности поликлональные кроличьи антитела против различных иммуногенов. Отобранные антитела и конъюгаты используются как компоненты разрабатываемых иммуноаналитических систем.

Так, иммуноферментная система для определения дибутилфталата характеризуется пределом обнаружения 20 нг/мл при нормативной предельно допустимой концентрации в воде 300 нг/мл. Показаны возможности применения отобранных реагентов в экспрессном (5 мин) поляризационном флуоресцентном иммуноанализе. Апробация с использованием проб воды, содержащих известные количества дибутилфталата, свидетельствует о высокой степени выявления аналита.

УДК 544.723.21, 544-971

**ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ ПАРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ  
БИСЛОЕМ «ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ – НЕЗАМЕЩЕННЫЙ  
β-ЦИКЛОДЕКСТРИН»<sup>1</sup>****Савельева Ю.О., Гапчина А.В., Тарабанько И.Е., Копытин К.А.***Самарский университет, Россия 443086, г. Самара, Московское шоссе, д.34;  
e-mail: [kirko87@inbox.ru](mailto:kirko87@inbox.ru)*

Синтезирован и изучен композиционный углеродный адсорбент с бислоем, содержащим жидкий кристалл и незамещенный β-циклодекстрин. Установлены геометрические параметры и термостабильность модифицированного адсорбента, определены термодинамические характеристики адсорбции ряда органических соединений.

In this work, a composite carbon adsorbent with a bilayer containing a liquid crystal and unsubstituted β-cyclodextrin is synthesized and studied. Moreover, the geometrical parameters and thermal stability of the modified adsorbent have been established, and the thermodynamic characteristics of the adsorption of a number of organic compounds have been determined.

Использование циклодекстринов (ЦД) в хроматографии связано с получением на их основе изомерселективных сорбентов и неподвижных жидких фаз. Разделение соединений в этом случае основано на способности циклодекстринов образовывать комплексы включения по типу «гость – хозяин». Как правило циклодекстрины изучают в объемных фазах, а адсорбентам на их основе уделяется мало внимания. При получении адсорбентов циклодекстрины могут использоваться как в виде монослоев, нанесенных на твердый носитель, так и в виде бислоев. Роль первого жидкокристаллического слоя (ЖК) в бислое заключается в ориентировании молекул циклодекстрина.

Целью работы являлось получение и изучение свойств углеродного графитоподобного адсорбента с бислоем, содержащим жидкий кристалл и незамещенный β-циклодекстрин.

Объектами исследования являлись углеродный твердый носитель Carborack Y (CpY), являющийся аналогом графитированных термических саж, и незамещенный β-циклодекстрин (CD). В качестве жидкокристаллического модификатора использовался бис[2,2'-ди-(n-гексилоксикарбонил)этинил]фениловый эфир 4,4'-бифенилдикарбоновой кислоты (ВАНPh). Для синтеза адсорбента использовали метод супрамолекулярной самосборки, заключающийся в последовательной адсорбции модификаторов из растворов на носителе с последующим

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта FSSS-2020-0016 в рамках выполнения госзадания Министерства образования и науки РФ.

удалением растворителя. Для определения удельной поверхности исходного адсорбента  $\text{CrY}$  и адсорбента с бислоем использовали метод низкотемпературной адсорбции/десорбции азота. Величина удельной поверхности для адсорбента с бислоем «ЖК – ЦД» оказалась на 13,1% меньше, чем в случае исходного углеродного носителя, что связано, по-видимому, с заполнением макропор  $\text{CrY}$  молекулами модификаторов двух типов. Термический анализ показал, что адсорбент с бислоем является термостабильным до температур порядка 190-200 °С, когда потеря массы составляет около 1%, что в первом приближении соответствует массовому содержанию ЖК в модифицированном адсорбенте (0,9%). Газохроматографический эксперимент проводили на хроматографе Кристалл 5000 с пламенно-ионизационным детектором.

На основании зависимостей логарифма константы Генри от обратной температуры были рассчитаны величины термодинамических характеристик адсорбции для изученных соединений. Для определения характера влияния макроциклического компонента в бислое на термодинамические характеристики проводилось их сравнение с ранее полученными величинами на адсорбенте с монослоем жидкого кристалла ВАНPh. Для всех соединений на бислое обнаруживается рост теплот адсорбции в сравнении с монослоем жидкого кристалла (на 2-12 кДж/моль). Учитывая, что модифицирование каждым последующим монослоем должно приводить к снижению адсорбционного потенциала твердого носителя и уменьшению энергии взаимодействия, можно утверждать о явном комплексобразовании в случае бислоя. По результатам работы установлено, что в гомологических рядах изученных адсорбатов наблюдается увеличение экзотермичности и усиление локализации адсорбции, при этом наибольшие значения термодинамических характеристик адсорбции обнаруживаются для спиртов, чьи молекулы склонны к образованию водородных связей с первичными и вторичными гидроксильными группами CD.

На основании сопоставления термодинамических характеристик адсорбции на адсорбентах  $\text{CrY/ВАНPh}$  и  $\text{CrY/ВАНPh/CD}$  установлено, что создаваемый предмонослоем жидкого кристалла микрорельеф ориентирует молекулы последующего слоя CD таким образом, что макроциклические полости оказываются достаточно доступными для неполярных молекул и образования комплексов включения «гость-хозяин», а гидроксильные группы макроцикла способны образовывать внешнесферные комплексы с молекулами спиртов за счет образования водородных связей.

Обнаружено, что у адсорбента  $\text{CrY/ВАНPh/CD}$  проявляется небольшая энантиоселективность по отношению к неполярным энантиомерам лимонена и пинена. Так, наибольшее значение фактора разделения для пары моноциклических лимоненов наблюдается при температуре 130 °С ( $\alpha_{+/-}=1,03$ ), а для бициклических  $\alpha$ -пиненов величина  $\alpha_{+/-}$  составила  $\approx 1,03$  при температуре 120 °С.

УДК 57.083.3

**ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ  
НАНОЧАСТИЦЫ – МАРКЕРЫ ДЛЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ  
СИСТЕМ ИММУНОДЕТЕКЦИИ ТОКСИЧНЫХ КОНТАМИНАНТ<sup>1</sup>****Серебренникова К.В., Жердев А.В., Дзантиев Б.Б.**

*Институт биохимии им. А.Н. Баха, Федеральный исследовательский центр  
"Фундаментальные основы биотехнологии" Российской академии наук,  
Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.33;  
e-mail: [ksenijasereb@mail.ru](mailto:ksenijasereb@mail.ru)*

Получены и охарактеризованы биметаллические наночастицы структуры ядро – оболочка, модифицированные репортерной молекулой – меркаптобензойной кислотой, для применения в качестве меток в иммунохроматографическом анализе токсичных контаминант (пестициды, антибиотики) с регистрацией гигантского комбинационного рассеяния.

Bimetallic nanoparticles of the core – shell structure, modified with a reporter molecule - mercaptobenzoic acid, were obtained and characterized for use as labels in immunochromatographic assays of toxic contaminants (pesticides, antibiotics) with registration of surface-enhanced Raman scattering.

Одним из перспективных методов быстрого определения токсичных соединений является иммунохроматографический анализ (ИХА), в котором специфическое выявление аналита основано на взаимодействиях нанесенных на мембраны тест-полосок иммунореагентов, иницируемых добавлением жидкой пробы и ее движением под действием капиллярных сил. Хотя ИХА характеризуется простотой проведения (позволяющей проводить тестирование при экологическом мониторинге во внелaborаторных условиях) и низкой стоимостью тест-систем, его использование часто ограничивает недостаточная чувствительность. В связи с этим привлекает внимание объединение ИХА с количественной регистрацией сигнала методом гигантского комбинационного рассеяния (ГКР). Наиболее важным фактором для успешной реализации ГКР является получение ГКР-активной метки, обеспечивающей эффективную адсорбцию иммунореагентов на поверхности, а также высокое и воспроизводимое усиление сигнала ГКР. Рассматриваются различные варианты ГКР-активных меток для интеграции с ИХА, однако выбор оптимального препарата остается нерешенной задачей.

В данной работе рассмотрены характеристики биметаллических наночастиц состава ядро – оболочка в качестве таких меток. Установлены

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 21-74-20155.



возможности этих частиц, обладающих уникальными плазмонными свойствами, как средств усиления ГКР сигнала [1,2]. Кроме того, биметаллическая структура частиц позволяет настраивать их систему резонанса путем изменения размера ядра и толщины оболочки.

Синтезированы и охарактеризованы биметаллические наночастицы состава золотое ядро – серебряная оболочка ( $\text{Au}^{\text{MBA}}@Ag^{\text{MBA}}$ ) и серебряное ядро – золотая оболочка ( $Ag^{\text{MBA}}@Au^{\text{MBA}}$ ), модифицированные между слоев репортерной молекулой, меркаптобензойной кислотой (МБК). Образование структуры ядро – оболочка подтверждают спектры поглощения (рис. 1) с двумя характерными пиками в области 400 и 515 нм.

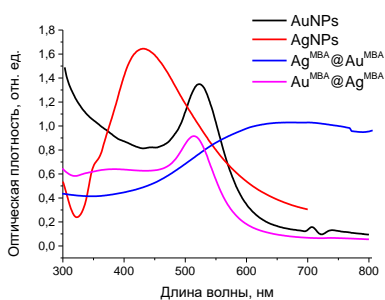


Рис. 1. Спектры поглощения золотых наночастиц (AuNPs), серебряных наночастиц (AgNPs) и биметаллических наночастиц состава ядро – оболочка ( $Ag^{\text{MBA}}@Au^{\text{MBA}}$ ,  $Au^{\text{MBA}}@Ag^{\text{MBA}}$ ).

резкое усиление сигнала наблюдалось для биметаллических наночастиц: ГКР-сигнал от наночастиц состава серебряное ядро – золотая оболочка примерно в 2 раза превышал сигнал золотых наночастиц, модифицированных МБК, а от золотых наночастиц, покрытых серебряной оболочкой, – в 7 раз. Полученные ГКР-активные биметаллические метки формируют реагентную базу для разрабатываемых методик ИХА токсичных соединений (пестицидов, антибиотиков) с ГКР детекцией сигнала.

## Литература

1. Zhao Y., Yang Y., Luo Y., Yang X., Li M., Song Q. // Double detection of mycotoxins based on SERS labels embedded Ag@Au core-shell nanoparticles. ACS Applied Materials & Interfaces. 2015. V. 7. N 39. P. 21780-21786.
2. Pham, T.T., Vu, X.H., Dien, N.D., Trang, T.T., Truong, N., Thanh, T., Tan, P.M., & Ca, N.X. // The structural transition of bimetallic Ag-Au from core/shell to alloy and SERS application. RSC Advances. 2020. N 10. P. 24577-24594.

Серебряные наночастицы (AgNPs), полученные восстановлением нитрата серебра цитратом натрия, демонстрируют пик плазмонного резонанса в области 430 нм. Формирование золотой оболочки на поверхности серебряных наночастиц сопровождается сдвигом полосы поглощения в длинноволновую область.

Наночастицы золота (AuNPs), модифицированные МБК, при нанесении на нитроцеллюлозную мембрану для ИХА показали слабое усиление ГКР сигнала. Напротив,

**УДК 543.554.6: 544.725.2: 544.623: 546.284-31: 546.831.4: 547.826.1**  
**ПЕРФТОРИРОВАННЫЕ СУЛЬФОКАТИОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ**  
**МФ-4СК, СОДЕРЖАЩИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ ОКСИДЫ,**  
**ДЛЯ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКОТИНОВОЙ**  
**КИСЛОТЫ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТАХ <sup>1</sup>**

**Хабтемариам Г.З. <sup>1</sup>, Паршина А.В. <sup>1</sup>, Колганова Т.С. <sup>1</sup>,**  
**Сафронова Е.Ю. <sup>2</sup>, Бобрешова О.В. <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ВГУ, Россия 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1;

<sup>2</sup> ИОНХ РАН, Россия 119991, г. Москва, Ленинский проспект, 31;

e-mail: [tanyadenisova@list.ru](mailto:tanyadenisova@list.ru)

Разработана потенциометрическая мультисенсорная система на основе перфтормембран МФ-4СК, содержащих 5 мас.% сульфированного оксида кремния и 3 мас.% оксида кремния с 15 мол.% 3-аминопропила, для определения действующего и вспомогательного веществ в фармацевтическом препарате никотиновой кислоты.

A potentiometric multisensory system based on MF-4SC perfluoromembranes containing 5 wt.% of sulfonated silica and 3 wt.% of silica with 15 mol.% of 3-aminopropyl was developed to determine the active and auxiliary substances in the nicotinic acid preparation.

Разработка способов определения никотиновой кислоты в фармацевтических препаратах является актуальной задачей [1, 2]. Поскольку рекомендованные фармакопеей методики не лишены недостатков, большое внимание уделено разработке методик на основе традиционных методов, а также электрохимических сенсоров. Для анализа фармацевтических препаратов, имеющих относительно высокое содержание действующих веществ и не очень сложный компонентный состав, имеют перспективы потенциометрические сенсоры. Поскольку возможности получения высокоселективных материалов для ионометрии ограничены, актуальным является мультисенсорный подход.

В данной работе для определения действующего и вспомогательных веществ в фармацевтических препаратах никотиновой кислоты предложено использовать массивы сенсоров, аналитическим сигналом которых является потенциал Доннана (ПД-сенсоры [3]), на основе перфторированных сульфокислотных мембран МФ-4СК и поверхностно модифицированных сульфо- и аминоксодержащими фрагментами оксидов циркония и кремния. ПД-сенсоры не содержат селективно взаимодействующих с аналитами компонентов и обладают чувствительностью одновременно ко всем или некоторым ионам в растворе (перекрестная чувствительность).

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Воронежской области в рамках научного проекта № 19-48-363008.

Исследовали образцы мембран (в  $K^+$ -форме): МФ-4СК/3 мас.%  $ZrO_2-SO_3H$ , МФ-4СК/3 мас.%  $SiO_2-(CH_2)_3-SO_3H$ , МФ-4СК/5 мас.%  $SiO_2-(CH_2)_3-SO_3H$ , МФ-4СК/3 мас.%  $SiO_2(5 \text{ мол.\% } -(CH_2)_3-NH_2)$ , МФ-4СК/3 мас.%  $SiO_2(10 \text{ мол.\% } -(CH_2)_3-NH_2)$ , МФ-4СК/3 мас.%  $SiO_2(15 \text{ мол.\% } -(CH_2)_3-NH_2)$ . Их выбор обусловлен наличием в структуре никотиновой кислоты атома азота в пиридиновом цикле и карбоксильной группы, способных взаимодействовать с сорбционными центрами гибридных материалов (электростатически и с образованием водородных связей), увеличивая концентрацию аналита в мембране. Кроме того, на сорбцию аналита (а также мешающих ионов гидроксония) влияет изменение размеров внутрисетчатого пространства мембран в результате модификации.

Градуировка ПД-сенсоров выполнена в растворах, содержащих никотиновую кислоту и  $NaHCO_3$  в диапазоне их концентраций  $1.0 \cdot 10^{-4}$ – $1.0 \cdot 10^{-2}$  М (рН 3.69–5.82). Состав растворов выбран с учетом состава анализируемого фармацевтического препарата – раствора для инъекций “Никотиновая кислота БУФУС” (Renewal, “ПФК Обновление”). Препарат содержит 10 мг/мл (0.081 М) никотиновой кислоты (действующее вещество), гидрокарбонат натрия (вспомогательное вещество для коррекции рН), воду очищенную. Растворы препарата для анализа готовили его разбавлением деионизованной водой в 50 раз (концентрация никотиновой кислоты в растворе составляет  $0.16 \cdot 10^{-2}$  М, рН  $5.274 \pm 0.016$ ).

Разработан массив ПД-сенсоров на основе мембран МФ-4СК/5 мас.%  $SiO_2-(CH_2)_3-SO_3^-$  и МФ-4СК /3 мас.%  $SiO_2-(CH_2)_3-NH_3^+$  (15 мол.%) для определения ионов никотиновой кислоты совместно с ионами  $Na^+$  в растворах фармацевтического препарата. Погрешность определения никотиновой кислоты составила 2% относительно состава, заявленного производителем, и 11% относительно концентрации, найденной по рекомендованной Государственной Фармакопеей РФ спектрофотометрической методике. Следует отметить, что погрешность спектрофотометрического определения никотиновой кислоты относительно концентрации, указанной производителем, составляет 10%.

Преимуществами разработанной мультисенсорной системы для анализа фармацевтических препаратов по сравнению с методиками, рекомендованными в фармакопейных статьях разных стран, являются возможность совместного определения действующего и вспомогательного веществ в препарате, экспрессность анализа, невысокое разбавление препарата и отсутствие реагентов. Это позволяет проводить анализ во внелабораторных условиях и непрерывных технологических процессах.

### Литература

1. Wang L.H. // Analytical Letters. 2016. V. 49. № 10. P. 1467–1479.
2. Alizadeh T., Amjadi S. // Microchimica Acta. 2017. V. 184. № 8. – P. 2687–2695.
3. Safronova E., Safronov D., Lysova A., Parshina A., Bobreshova O., Pourcelly G., Yaroslavtsev A. // Sensors and Actuators B: Chemical. 2017. V. 240. – P. 1016–1023.

УДК 541.183

**СОРБЦИОННО-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ФЕНОЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В ВОДАХ****Подолова Е.А.<sup>1</sup>, Ханина М.А.<sup>2</sup>, Лежнина М.Г.<sup>2</sup>, Кузнецова Ю.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский политехнический университет (филиал в г. Электросталь),  
144000, г. Электросталь Московской области, ул. Первомайская, д.7;

<sup>2</sup>Государственный гуманитарно-технологический университет,  
142605, г. Орехово-Зуево, ул. Зеленая, д.22;

e-mail: [podolina70@mail.ru](mailto:podolina70@mail.ru)

Фенольные антиоксиданты (ФА) все чаще становятся приоритетными загрязнителями в различных водных объектах. Так, очищенные сточные воды различных химических производств, в том числе и фармацевтических предприятий содержат фенол, гидроксibenзолы, алкилфенолы и танин, как основные действующие вещества лекарственных препаратов.

Phenol antioxidants (FA) are becoming the priority contaminants in various water works. So, purified sewage of various chemical plants including pharmaceutical ones contains phenol, hydroxybenzene, alkylphenol and tannin as the main active substances of medicinal preparations.

Целью данного исследования является разработка сорбционно-спектрометрической методики определения фенольных антиоксидантов в воде.

Объекты исследования: фенол, 1,2-, 1,3- и 1,4-дигидроксibenзолы и танин. Сорбцию фенольных антиоксидантов осуществляли на активном угле БАУ-А, который зарекомендовал себя как эффективный сорбент соединений фенольного типа.

Адсорбцию ФА осуществляли из растворов стандартных образцов на активном угле БАУ-А с размером частиц 2.8-2.0 мм, в стационарных условиях при турбулентном перемешивании (смеситель типа Vortex), экспериментальное время достижения сорбционного равновесия ФА и наибольшей степени сорбирования 3-6 мин. Полученные изотермы сорбции ФА на БАУ-А принадлежат к L-типу согласно классификации Гиббса и подтверждают физический механизм сорбции. Десорбцию ФА осуществляли в динамических условиях, элюат – метанол, бинарные растворители (вода – этанол  $\varphi_2=0.5$ , вода – ацетонитрил  $\varphi_2=0.8$ ), время элюирования ФА 30 мин. Спектрометрическое определение осуществляли на спектрофотометре UNICO, модель 2800, аналитическая длина волны 275 нм.

Разработанная методика сорбционно-спектрометрического определения ФА позволяет определять суммарное содержание «фенольный индекс». Время проведения единичного анализа составляет 45-50 мин, предел обнаружения ФА составляет 0,1 ПДК фенола, правильность получаемых результатов проверена методом «введено-найденно», суммарная погрешность определения не превышает 5 %.

УДК 543.68

**МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ОБЖИГА  
ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ<sup>1</sup>****Волков А.И., Кологриева У.А., Краснянская И.А., Стулов П.Е.**

*ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, Россия 105005, г. Москва, ул. Радио, д.23/9, стр. 2;  
e-mail: [ufowka@mail.ru](mailto:ufowka@mail.ru)*

Для эффективной переработки отходов гидрометаллургического производства пентаоксида ванадия (шламов) необходима стадия окислительного обжига. В работе сопоставлены методы окислительно-восстановительного титрования, термогравиметрического анализа, рентгенофазового анализа и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для оценки эффективности окислительного обжига ванадийсодержащих шламов.

For the effective processing of waste from the hydrometallurgical production of vanadium pentoxide (slurries), an oxidative firing stage is necessary. The paper compares the methods of redox titration, thermogravimetric analysis, X-ray phase analysis and X-ray photoelectron spectroscopy to assess the efficiency of oxidative firing of vanadium-containing slurries.

Отвалы отходов производства занимают большие площади и представляют экологическую опасность из-за содержащихся в них вредных примесей. В то же время их можно рассматривать, как вторичные ресурсы с ценными компонентами. Одним из видов такого сырья являются отходы ванадиевого производства. Отвальные шламы образуются после выщелачивания ванадия из огарка (обожжённой шихты на основе ванадиевого шлака). Шламы содержат до 1,5-4,5%  $V_2O_5$ , от 40 до 55%  $Fe_2O_3$ , 5-12%  $MnO$ , 6-12%  $TiO_2$ , 2,5-5,5%  $Cr_2O_3$ , 13-18%  $SiO_2$ , до 15%  $CaO$ . В АО «ЕВРАЗ Ванадий Тула» образуется около 80 тыс. т в год шламовых материалов, а на АО «Чусовской металлургический завод» – более 20 тыс. т. В основном они складированы в шламохранилища [1].

Основная доля ванадия в шламах находится в форме  $FeO \cdot V_2O_3$  ( $V^{3+}$ ) (3 масс. %), поэтому с целью его перевода в  $V^{5+}$  для дальнейшего извлечения ванадия необходимо проведение окислительного обжига [2].

Для исследований использовали образец ванадиевого шлама производства ЕВРАЗ Ванадий Тула. Химический анализ ванадиевых шламов проводили с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра AXIOS<sup>max</sup> Advanced фирмы PANalytical (Нидерланды). Образец предварительно был высушен в сушильном шкафу в течение 3 ч при температуре 105 °С. В ходе работы проводили исследования

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-29-24074-мк.

окислительного обжига шлама без добавок, а также с различными добавками –  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{MgO}$ . Добавки использовали в соотношении 5 и 10 % от массы шламов. Обжиг проводили в муфельной печи при температурах 600–1000 °С в окислительной атмосфере.

Методом окислительно-восстановительного титрования определяли содержание  $\text{V}_2\text{O}_5$  кислоторастворимого ( $\text{V}_2\text{O}_{5\text{к.р.}}$ ) в обожжённых образцах. По содержанию  $\text{V}_2\text{O}_{5\text{к.р}}$  можно судить об эффективности проведённого обжига – чем выше данное значение, тем больше ванадия перешло в кислоторастворимые формы ( $\text{V}^{5+}$ ).

Эффективность обжига можно оценить по содержанию шпинели в обожжённых образцах – чем ниже её содержание, тем больше ванадия  $\text{V}^{3+}$  окислилось и перешло в кислоторастворимые фазы, а значит, эффективность обжига выше. Содержание шпинели определяли методом РФА с помощью аналитического комплекса ARL 9900 Workstation (Thermo Scientific, США).

Одним из способов определения кислоторастворимых форм ванадия является определение степени окисления ванадия методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Исследование проводили на электронном спектрометре ESCALAB MK2 (VG Scientific, Великобритания). После окислительного обжига  $\text{V}^{4+}$ , содержащийся в исходном шламе, полностью окисляется и в обожжённых образцах ванадий находится в форме  $\text{V}^{3+}$  и  $\text{V}^{5+}$ .

Для исследования механизма преобразования шпинели в кислоторастворимые фазы в процессе обжига шламов с оптимальным содержанием добавки 1 %  $\text{CaCO}_3$  проведен термогравиметрический анализ на приборе STA 449 F3 Jupiter фирмы Netzsch (Германия) и выполнено термодинамическое моделирование. Значительная убыль массы образца ванадиевого шлама начинается при температуре выше 800 °С, что согласуется с термодинамическими расчетами. При этом термограмма  $\text{CaSO}_4$  показывает, что его разложение при температурах ниже 1000 °С не происходит.

Таким образом, для оценки эффективности окислительного обжига предложен оригинальный подход, заключающийся в использовании результатов определения не только степени перехода ванадия в раствор, но и степени окисления ванадия после обжига и содержания фаз с неокисленным ванадием. Новый подход позволяет выбрать оптимальные условия окислительного обжига.

## Литература

1. Кологриева У.А., Волков А.И., Кириченко А.С., Ермолов В.М., Миракова М.Г. Разработка технологической схемы утилизации отходов гидрометаллургического производства пентаоксида ванадия// *Металлург*. 2019. № 4. С. 78-82.
2. Volkov A., Kologrieva U., Kovalev A., Wainstein D., Vakhrushev V. Vanadium Chemical Compounds forms in Wastes of Vanadium Pentoxide Production/ *Materials*. 2020. V. 13. No. 21. P. 4889. <https://doi.org/10.3390/ma13214889>.

УДК 543.68

**РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ  
ВАНАДИЕВОГО ШЛАМА И КЕКА<sup>1</sup>****Волков А.И., Кологриева У.А.**

*ЦНИИчермет им. И.П. Бардина,  
Россия 105005, г. Москва, ул. Радио, д.23/9, стр. 2;  
e-mail: [rhenium@list.ru](mailto:rhenium@list.ru)*

Для оценки воздействия на окружающую среду и разработки методов переработки отходов гидрометаллургического производства пентаоксида ванадия (шламов) необходимо анализировать их химический состав. В отечественной и международной практике отсутствуют государственные стандартные образцы на такие материалы. В работе приведены данные по использованию метода рентгенофлуоресцентного анализа для определения химического состава ванадиевого шлака и кека. Исследуемые и градуировочные образцы готовили путём сплавления.

To assess the environmental impact and develop methods for processing waste from hydrometallurgical production of vanadium pentoxide (slurries), it is necessary to analyze their chemical composition. In domestic and international practice, there are no state standard standards for such materials. The paper presents data on the use of the X-ray fluorescence analysis method for determining the chemical composition of vanadium slag and cake. The test and calibration samples were prepared by fusing.

Основным потребителем ванадия является чёрная металлургия, которая использует около 78 % всего производимого ванадия [1]. Гидрометаллургическое производство пентаоксида ванадия характеризуется большим количеством образующихся твёрдых отходов – отвальные шламы, осадки нейтрализации сливных вод. В зависимости от типа добавки при обжиге выход отвальных шламов составляет от 80 до 95% от количества перерабатываемой шихты. В АО "ЕВРАЗ Ванадий Тула" образуется ~80 тыс. т в год шламовых материалов. По содержанию ванадия ( $\leq 4,5$  масс. %  $V_2O_5$ ) шламы являются более богатым сырьём по сравнению с исходной титаномагнетитовой рудой (0,14 масс. %  $V_2O_5$ ) и концентратом Качканарского ГОКа (0,60 масс. %  $V_2O_5$ ). Ванадий относится к редким элементам, поэтому стоимость ванадийсодержащих материалов довольно высока. Учитывая токсичность, важнейшим вопросом является возможность попадания ванадия и хрома в почву и грунтовые воды. В связи с этим извлечение ванадия из отходов производства является актуальной задачей.

В настоящее время нами исследуются различные способы переработки ванадиевых шламов [1], поэтому вопрос их химического

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-29-24074-мк.

анализа стал актуальным. Разработку методики химического анализа осуществляли с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра AXIOS<sup>max</sup> Advanced фирмы PANalytical (Нидерланды). По наличию характеристических линий обнаружили присутствие в образце следующих элементов: Sr, Zr, Nb, Zn, Ti, V, Cr, Mn, Fe, K, Ca, P, S, Al, O, Na, Mg. В работе предложена методика сплавления образцов.

В отличие от шлаков [2], стандартные образцы химического состава ванадиевых шламов отсутствуют, поэтому для градуировки использовали синтетические стандартные образцы. Для этого готовили смесь сульфата кальция и оксидов элементов, входящих в состав шламов в различных пропорциях. Использовали реактивы марки «хч» и «чда», кроме этого использовали стандартный образец гипса. Реактивы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, SiO<sub>2</sub>, Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> прокаливали при 950 °С в течение 2-3 часов в муфельной печи. Образцы Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub> сушили при 110 °С в течение одного дня. Флюсы для сплавления сушили в течение трёх часов.

Образцы ванадиевого шлама и кека предварительно сушили в течение двух часов при 110 °С. Углерод и серу определяли с помощью анализатора CS-2000 фирмы Eltra. Потери при прокаливании определяли в муфельной печи при нагревании до 1050 °С в течение двух часов.

В качестве флюсов использовали следующие смеси: чистый тетраборат лития (9 г), тетраборат лития – метаборат лития (9 г 65:35), тетраборат лития – метаборат лития (9 г 50:50), тетраборат лития – метаборат лития (9 г 35:65), тетраборат натрия - тетраборат лития – метаборат лития (1 г + 2,8 г + 5,2 г).

В программе расчёта концентраций использован для разных элементов способ фундаментальных параметров, коррекцию по теоретическим альфа-коэффициентам. Для проверки правильности результатов использовали контрольную смесь реактивов.

Поскольку сплавление проводилось при температуре 1200 °С часть сульфата кальция разложилась с образованием газообразного оксида серы, за счёт этого происходит занижение концентрации серы. По остальным элементам можно наблюдать хорошее совпадение рассчитанных по весу и полученных по разработанной методике концентраций. Массу навески образца рекомендуется уменьшить до 0,6 г для предотвращения образования кристалликов на дне сплавленного диска.

### **Литература**

1. Волков А.И. Состояние и перспективы использования редких металлов в черной металлургии/ Разведка и охрана недр. 2020. № 3. С. 11-18.
2. Кологривева У.А., Волков А.И., Кириченко А.С., Ермолов В.М., Миракова М.Г. Разработка технологической схемы утилизации отходов гидрометаллургического производства пентаоксида ванадия// Металлург. 2019. № 4. С. 78-82.
3. Волков А.И., Осипов К.Б., Жданов П.А., Серёгин А.Н., Большов М.А. Рентгенофлуоресцентный анализ ванадиевого шлака после боратного сплавления/ Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2016. Т. 82. № 1. С. 8-16.



УДК 542.07

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОБООТБОРНИКА  
ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОБ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ГРАНИЦЕ  
РАЗДЕЛА ФАЗ****Фадейкина И.Н.<sup>1</sup>, Мухина И.В.<sup>1</sup>, Зуев Б.К.<sup>1,2</sup>, Ерилина Д.А.<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской  
академии наук, РФ, Москва, ул. Косыгина, 19;  
e-mail: [i.fadeikina@yandex.ru](mailto:i.fadeikina@yandex.ru)

В работе рассматривается процесс автоматизированного пробоотбора пленок органических веществ на границе раздела фаз. Оценены влияние времени погружения, скорости подъема, диаметра пробоотборника.

In the paper studies the process of automated selection of organic films at the phase boundary. The effects of time and rate of experiment and sampler diameter were investigate.

Сложные смеси органических веществ на поверхности открытых водоемов бывают биогенного и техногенного происхождения, причем вторые вызывают все больше проблем экологического характера. Попадание нефти и её компонентов в окружающую среду, в частности в воду, вызывает изменение физических, химических и биологических свойств и характеристик природной среды обитания, нарушает ход естественных биохимических процессов. Использование в настоящее время новых подходов в количественном анализе нефти в воде и их усовершенствование является важной задачей для оценки воздействия нефтепродуктов на человека и окружающую среду [1]. Выполнение рутинных процессов пробоотбора для ускорения исследований и возможности учета большинства факторов требует новых решений. В работе рассматривается автоматизированная система пробоотбора, позволяющая контролировать скорость подъема пробоотборника, возможность замены зонда, глубину погружения. Все это позволит ускорить и стандартизировать многие этапы исследования, что в итоге поможет решить обозначенную проблему мониторинга образования пленок органических веществ на поверхности воды.

В работе производился отбор пленки нефтепродуктов с поверхности воды при помощи автоматизированного пробоотборника с закрепленным на нем кварцевым зондом. Пленка органического вещества при погружении переносилась на внутреннюю часть зонда, а затем смывалась тетрахлорметаном и анализировалась методами ИК-Фурье спектроскопии (IRaffinity 1s, Shimadzu, ATR) и газовой хроматографии (GC, Shimadzu).

Была проведена серия экспериментов пробоотбора пленки нефтепродуктов с помощью зонда [2] при различных условиях, а именно: глубине погружения, количестве погружений зонда для одного пробоотбора, времени погружения, скорости подъема.

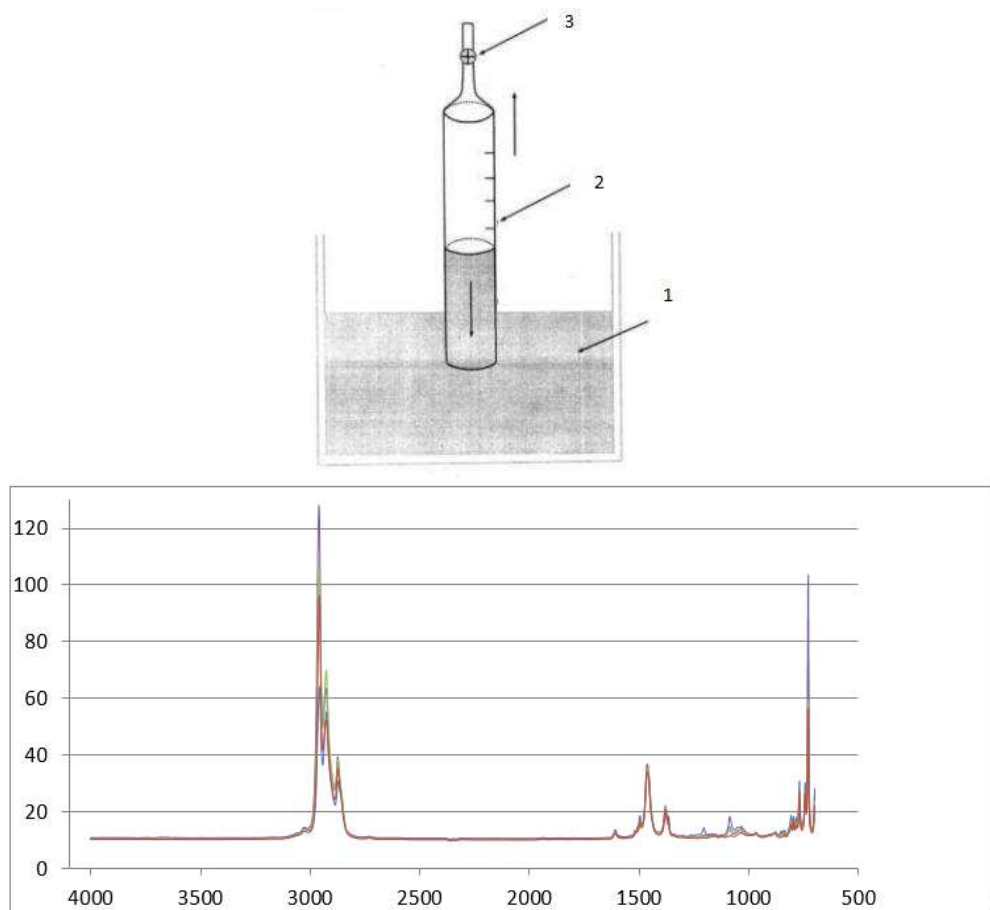


Рис.1. Конструкция зонда [2](1 –анализируемый образец; 2 –съемный зонд для автоматизированного пробоотборника; 3-прецизионный вентиль) и ИК-спектры образца бензина, отобранные зондами различных диаметров: 0,6 см, 0,9 см, 1,3 см)

Полученные ИК-спектры подтверждают, что все функциональные компоненты нефтепродуктов переносятся пробоотборником и могут быть проанализированы. Стоит отметить, что глубина погружения зонда не влияет на количество вещества, содержащегося в переносимой пленке на внутреннюю поверхность зонда. Метод газовой хроматографии подтвердил полноту переноса органического вещества при выбранном способе пробоотбора.

#### Литература

1. Galblaub O. A. et al. Oil spill cleanup of water surface by plant-based sorbents: Russian practices //Process safety and environmental protection. 2016. Т. 101. С. 88-92.
2. Патент 2604843 (2015)// Зуев Б. К. и др. Способ для отбора пленок нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и устройство для его осуществления. – 2016.

УДК 543.61, 543.631

**ПАРОФАЗНЫЙ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ ФЕНОФАЗ РАСТЕНИЯ  
«МОНАРДА ДУДЧАТАЯ»<sup>1</sup>****Иванова Р.Э., Толочилин Н.А., Онучак Л.А.**

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, Самара;  
e-mail: [regigaudeamus@mail.ru](mailto:regigaudeamus@mail.ru)*

Проведенное исследование позволяет рассмотреть возможность применения статического парофазного газохроматографического анализа для определения подлинности лекарственного растительного сырья «монарда дудчатая».

The conducted study allows us to consider the possibility of using static headspace-gas chromatographic analysis to determine the authenticity of medicinal plant raw materials "monarda fistulosa".

Одним из перспективных лекарственных растений является монарда дудчатая (*Monarda fistulosa* L.) семейства Яснотковые. Травя монарды дудчатой обладает высокой бактериальной, фунгицидной, противовоспалительной и другими видами биологической активности. В частности имеются данные об ингибирующей активности монарды дудчатой в отношении штамма *Burkholderia* при муковисцидозе. Однако на траву монарды дудчатой отсутствует фармакопейная статья как в Российской Федерации, так и за рубежом. Актуальной задачей является также разработка экспрессных инструментальных методов определения подлинности этого ценного лекарственного растительного сырья (ЛРС).

Цель работы заключалась в определении возможностей статического парофазного газохроматографического анализа при определении летучих и среднелетучих органических компонентов сушеного сырья «монарды дудчатой» (*Monarda fistulosa* L.) на разных этапах роста и развития растения.

Объектами исследования являлись высушенные образцы «монарда дудчатая», культивированного на территории ботанического сада Самарского университета. Сбор сырья осуществлялся в летние месяцы 2020 года согласно разным фенологическим фазам развития растения (образец №1 - вегетация в начале цикла развития; образец №2 - цветение; образец №3 - плодоношение). Газовую экстракцию осуществляли при температуре 100°C в течении 40 минут. Газохроматографический анализ

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSSS-2020-0016.

равновесной паровой фазы (РПФ) проводили с использованием капиллярной кварцевой колонки с малополярной 5%-дифенил-95%-диметилполисилоксановой неподвижной фазой (Rtx-5, 30м×0.32мм, d<sub>f</sub>=0.25 мкм) фирмы Restek (США). Хроматографический анализ проводили при линейном программировании температуры в следующем режиме: изотерма при температуре 40°С в течение 2 минут, далее линейное программирование температуры колонки со скоростью 40°С/мин до температуры 180°С. Данный режим согласуется с режимом, рекомендованным в атласе масс-спектров эфирных масел. На основе полученных экспериментальных данных определяли индексы удерживания компонентов Ван-ден-Доола и Кратца ( $I_i^T$ ) и относительные площади пиков ( $A_{отн,i}$ ).

В образце № 1 (листья, стебли) зарегистрировано 42 летучих компонента от  $I_i^T=373$  до  $I_i^T=1490$  ед. индекса, доминирующим соединением является пара-цимен с  $I_i^T=1026$ . В образце № 2 (листья, стебли, цветы) зарегистрировано 46 летучих компонента от  $I_i^T=381$  до  $I_i^T=1527$  ед. индекса, доминирующим является пара-цимен с  $I_i^T=1026$ . В образце № 3 (листья, стебли, плод-коробочка) зарегистрировано 46 летучих компонента  $I_i^T=395$  до  $I_i^T=1597$  ед. индекса, доминирующим является 1,8-цинеол,  $I_i^T=1028$ .

Сопоставлены составы РПФ исследованных образцов и обнаружено 17 идентичных компонентов, 11 из которых являются основными: α-туйен, α-пинен, β-пинен, 6-метил-5-гептен-2он, β-мирцен, 1,8-цинеол, лимонен, γ-терпинен, 1-нонен-3-ол, тимолметиловый эфир и куминальдегид. В связи с усложнением системы растения и появлением цветков и плодов в образцах № 2 и № 3 матрица компонентного состава РПФ заметно увеличивается относительно образца № 1 по основным компонентам.

Полученные headspace-спектры монарды дудчатой показывают, что спектр образца № 1 (Рис.1.а) заметно отличается от спектров образцов № 2 и № 3 (Рис.1.б). Образцы № 2 и № 3 практически идентичны по качественному составу.

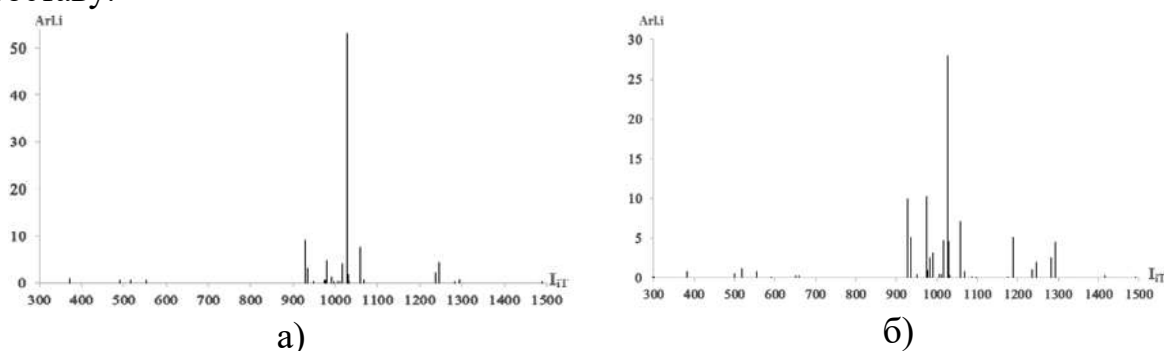


Рис.1. Диаграммы «относительная площадь пика – индекс удерживания»: а) – для летучих компонентов образца №1; б) – для летучих компонентов образца №2 и №3.

Следовательно, для определения подлинности ЛРС рекомендуется использовать растение в фенофазе цветения и плодоношения.

УДК 543.544.43

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ЛЕТУЧИХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ПЕРМЕТИЛИРОВАННЫМ  
 $\beta$ -ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ В ПОЛИФЕНИЛМЕТИЛСИЛОКСАНЕ  
МЕТОДОМ ОБРАЩЕННОЙ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ<sup>1</sup>**

**Кураева Ю.Г., Горбачёва Е.С., Фадеева Н.В., Онучак Л.А.**

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

*Королёва, Россия 443011, г. Самара, ул. Ак. Павлова, д. 1;*

*e-mail: [kuraeva81@mail.ru](mailto:kuraeva81@mail.ru)*

Изучена термодинамика комплексообразования изомеров ксилола и некоторых терпеновых соединений ( $\alpha$ -пинен, лимонен, камфен, ментол) с перметилованным- $\beta$ -циклодекстрином в полимерном растворителе полифенилметилсилоксане (ПФМС) по данным обращенной газовой хроматографии.

The thermodynamics of the complexation of isomers of xylene and some terpene compounds ( $\alpha$ -pinene, limonene, camphene, menthol) with permethylated  $\beta$ -cyclodextrin in a polymer solvent polyphenylmethylsiloxane (PFMS) was studied according to the data of inverse gas chromatography

Циклодекстрины представляют большой интерес для сорбционных технологий в силу своей уникальной способности к селективному комплексообразованию со многими структурными и оптическими изомерами органических соединений, разделение которых является важной задачей. Однако, работы по термодинамическим аспектам процессов сорбции и комплексообразования в подобных системах остаются актуальными.

Поэтому целью настоящей работы являлось изучение термодинамики сорбции и комплексообразования структурных (ксилол) и оптических ( $\alpha$ -пинен, камфен, лимонен, ментол) изомеров летучих органических соединений в системах «полифенилметилсилоксан – перметилованный  $\beta$ -циклодекстрин» с различным содержанием макроциклического агента.

Были изготовлены неподвижные фазы на основе ПФМС с разным содержанием Ме- $\beta$ -ЦД (0, 10, 15, 20 и 25 масс. %). Основной экспериментально определяемой величиной являлся удельный объём удерживания  $V_g^T$ , на основании которого рассчитывали константы распределения сорбата между газовой и жидкой фазой  $K_c$ . Константы устойчивости комплексов «сорбат-макроцикл» стехиометрического состава 1:1 рассчитывали с учетом допущения о неизменной структуре полимерного растворителя в присутствии растворенных веществ по уравнению:

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке гранта FSSS-2020-0016 в рамках выполнения госзадания Министерства образования и науки РФ.

$$K_c = K_c^0 \cdot (1 + K_1 \cdot C_{CD})$$

где  $K_c$ ,  $K_c^0$  – константы распределения сорбата для неподвижной фазы с Ме-β-ЦД и без добавки, соответственно,  $C_{CD}$  – концентрация макроцикла, моль/л.

Рассчитанные значения констант комплексообразования  $K_1$  для исследованных сорбатов возрастают с увеличением концентрации макроцикла до 20 % масс., затем резко падают при концентрации Ме-β-ЦД 25 %. По-видимому, с ростом количества макроцикла в полимере изменяется стехиометрия образуемых комплексов и используемое уравнение не соответствует.

Сопоставлены термодинамические характеристики сорбции (изменение внутренней энергии и энтропии), рассчитанные из линейных температурных зависимостей  $\ln K_c$ , на исходном полимере и фазах с макроциклом. Установлено, что для изомеров ксилола не наблюдается существенного усиления взаимодействий «сорбат – макроцикл» при внесении Ме-β-ЦД в полимер, а рост констант распределения обусловлен, в первую очередь, энтропийным фактором. В случае сорбции энантиомеров наблюдается рост внутренней энергии при внесении макроцикла в ПФМС, что свидетельствует об усилении межмолекулярных взаимодействий. Рост энтропии свидетельствует о локализации молекул сорбатов при образовании ассоциатов.

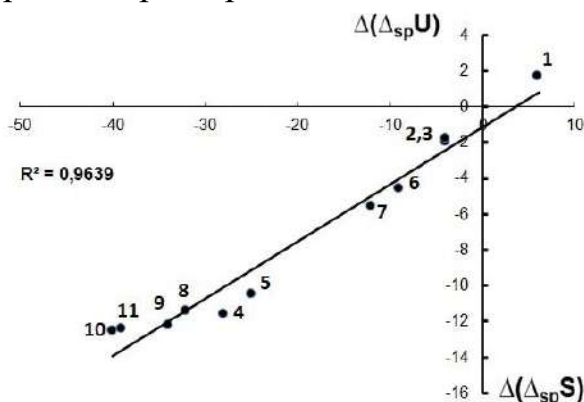


Рис. 1. Соотношения величин  $\Delta(\Delta_{sp}U)$  и  $\Delta(\Delta_{sp}S)$  для неподвижной фазы «ПФМС – 15%-Ме-β-ЦД»: 1 – о-ксилол, 2 – м-ксилол, 3 – п-ксилол, 4 – (+)-лимонен, 5 – (-)-лимонен, 6 – (+)-камфен, 7 – (-)-камфен, 8 – (+)-ментол, 9 – (-)-ментол, 10 – (+)-α-пинен, 11 – (-)-α-пинен.

Для оценки термодинамики комплексообразования рассчитывали  $\Delta(\Delta_{sp}U)$  и  $\Delta(\Delta_{sp}S)$  из разности соответствующих термодинамических функций сорбции на колонках с Ме-β-ЦД и без добавки. Рассчитываемые величины не зависят от модельных представлений о механизме комплексообразования, а реально отражают вклады как процесса комплексообразования, так и всех сопоставляющих эффектов ( сольватация, изменение структуры растворения и т.д.).

Из полученных данных следует, что для изомеров ксилола на всех исследуемых фазах «полимер – макроцикл» имеет место эндотермическое комплексообразование, сопровождающиеся увеличением подвижности молекул, а для энантиомеров – экзотермический эффект и локализация молекул в полости макроцикла. Образование комплексов «сорбат – макроцикл» обуславливает выраженные селективные свойства исследуемых неподвижных фаз «ПФМС – Ме-β-ЦД».

УДК 544.32

**КОМПЛЕКСЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТОРАСЕМИДА С  
ГИДРОКСИПРОПИЛ- $\beta$ -ЦИКЛОДЕКТРИНОМ:  
УФ-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ И ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОЕ  
ИССЛЕДОВАНИЕ <sup>1</sup>**

**Каменская А.И., Кураева Ю.Г., Чернова А.А., Онучак Л.А.**

*Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королева, Россия 443011, г. Самара, ул. Ак. Павлова, д.1;  
e-mail: [kuraeva81@mail.ru](mailto:kuraeva81@mail.ru)*

Изучено комплексообразование торасемида с гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрином в растворах методами аффинного капиллярного электрофореза и УФ-спектрометрии. На основании зависимости эффективной электрофоретической подвижности от концентрации макроцикла рассчитана константа связывания «торасемид-макроцикл». По данным УФ-спектрометрии подтверждено образование комплексов со стехиометрией 1:1.

The complexation of torasemide with hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin in solutions was studied by the methods of affinity capillary electrophoresis and UV spectrometry. Based on the dependence of the effective electrophoretic mobility on the concentration of the macrocycle, the binding constants "torasemide -macrocycle" were calculated. According to UV spectrometry data, the formation of complexes with a stoichiometry of 1: 1 was confirmed.

В настоящее время наиболее активно изучаемыми объектами химии соединений включения являются комплексы циклодекстринов, уникальное строение которых позволяет образовывать комплексы включения типа «гость-хозяин» с различными типами молекул. Благодаря своим свойствам циклодекстрины находят широкое применение в фармакологии в качестве «контейнеров» для лекарственных препаратов за счет инкапсулирования различных гидрофобных молекул. Знание констант устойчивости комплексов позволяет улучшать физико-химические свойства лекарств (таких как растворимость, стабильность, биодоступность, проницаемость и др.). Поэтому целью настоящей работы являлось изучение комплексообразования «торасемид – гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрин» в водных растворах методами аффинного капиллярного электрофореза и УФ-спектрометрии.

Для проведения исследования использовалась система капиллярного электрофореза «Капель-105М» со спектрофотометрическим детектированием и системой жидкостного охлаждения. Условия

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке гранта FSSS-2020-0016 в рамках выполнения госзадания Министерства образования и науки РФ.

электрофоретического эксперимента: 20 кВ, 20°C, 220 нм. В качестве ведущего электролита в работе использовали боратный буфер (pH=9,18).

Для расчета констант комплексообразования рассчитывали электрофоретическую подвижность аналитов при варьировании концентрации гидроксипропил-β-циклодекстрина в ведущем электролите (до 7 мМ). Введение в ведущий электролит макроциклического агента приводит к изменению времен миграции препарата и метки ЭОП, что косвенно свидетельствует об ассоциации между ГП-β-ЦД и аналитом. Для определения константы связывания  $K_1$  использовали линейную форму уравнения в виде двойного обратного графика:

$$\frac{1}{(\mu_i - \mu_f)} = \frac{1}{(\mu_c - \mu_f)K_1} \cdot \frac{1}{[CD]} + \frac{1}{(\mu_c - \mu_f)},$$

где  $\mu_f$  – электрофоретическая подвижность свободной формы аналита;  $\mu_c$  – электрофоретическая подвижность связанной формы аналита;  $[CD]$  – концентрация макроцикла в буферном электролите.

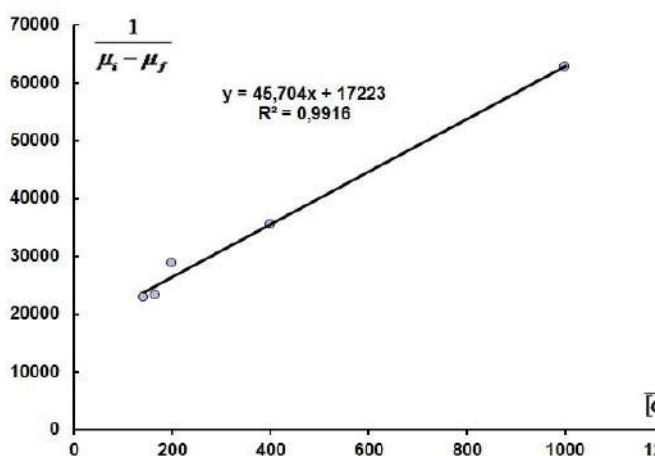


Рис. 1. Зависимость в координатах  $\frac{1}{(\mu_i - \mu_f)}$  от  $\frac{1}{[CD]}$  для определения констант связывания

Рассчитанное значение константы связывания составило  $377 \text{ M}^{-1}$ .

Сопоставление УФ-спектров свободного торасемида и в комплексе с ГП-β-ЦД показало, что при образовании комплекса наблюдается незначительный гипсохромный сдвиг с гипсохромным эффектом.

Наблюдаемый эффект однозначно свидетельствует об образовании комплексов «торасемид - ГП-β-ЦД».

Для определения стехиометрии образуемых комплексов использовали метод построения диаграмм Джоба.

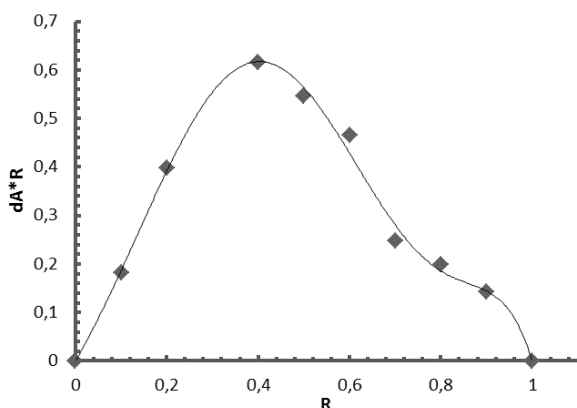


Рис. 2. График Джоба для комплекса «торасемид- ГП-β-ЦД»

Из рис. 2 видно, что максимум на диаграмме близок к 0,5, что свидетельствует о стехиометрии комплекса 1:1.



УДК 544

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ  
РЕКОНСТРУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЙ В ПРОШЛОМ<sup>1</sup>****Михеева Е.Е., Ларина Н.С.**

*Тюменский Государственный университет,  
625003 Тюменская область, г. Тюмень, ул. Володарского, д.6;  
e-mail: [nslarina@yandex.ru](mailto:nslarina@yandex.ru)*

Работа посвящена изучению закономерностей распределения некоторых геохимических показателей и тяжелых металлов (Fe, Mn) в донных отложениях различного гранулометрического состава озера Ранге-Тур (ХМАО). В ходе работы были выявлены некоторые особенности в распределении показателей, что позволило выделить 3 геохимических барьера.

The work is devoted to the study of the distribution patterns of some geochemical indicators and heavy metals (Fe, Mn) in the bottom sediments of various granulometric composition of Lake Rangetur (KhMAO). In the course of the work, some features were identified in the distribution of indicators, which allowed us to identify 3 geochemical barriers.

Исследования водных объектов, в частности донных отложений, являются одним из основополагающих направлений эколого-геохимического мониторинга окружающей среды. Озерные донные отложения (ДО) – уникальный природный объект, характеризующийся послойным отложением осадков из водной толщи, что позволяет использовать их для реконструкции состояния озерных систем в течение длительного периода времени. Такой подход в настоящее время широко используется в мировой практике [1-3].

Целью данной работы являлось выявление закономерностей послойного распределения общих геохимических показателей, органического вещества и некоторых тяжелых металлов (Fe, Mn) в донных отложениях различного гранулометрического состава озера Ранге-тур (ХМАО). Подготовка и анализ проб проводились в соответствии с рекомендациями [4,5].

Анализ вышеупомянутых показателей позволил выявить ряд закономерностей в их распределении по глубине донных отложений. В основном, донные отложения представлены мелкопесочной фракцией 50-100 мкм (рис.2). рН стабильно понижается до слабокислой реакции среды, что может свидетельствовать о закислении водоема в период его формирования. По мере приближения к поверхности донных отложений,

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-44-860010 на оборудовании ЦКП ТюмГУ (Министерство науки и высшего образования РФ, контракт 05.594.21.0019).

показатель удельной электропроводности снижается, содержание органического вещества, напротив, сопровождается резким ростом (рис.1). Анализ характера распределения интегральных показателей позволяет предположить, что климат с сухого и теплого сменился более влажным и холодным, что привело к снижению показателей [6]. Распределение металлов имеет достаточно неравномерный характер. Определяющими фракциями в накоплении железа являются мелкопесочные фракции, марганца – более крупные (рис.3). В каждой фракции можно выделить несколько характерных экстремумов. В распределении марганца можно выявить общую тенденцию увеличения показателя по мере приближения к поверхности донных отложений.

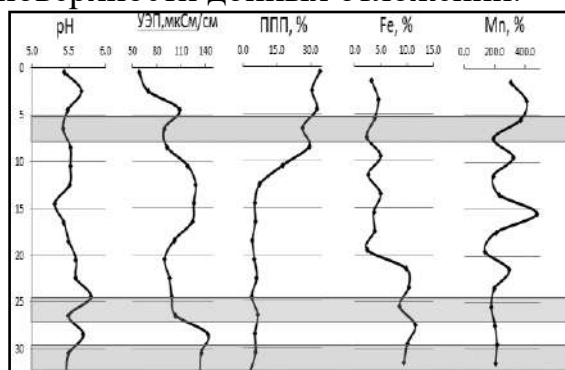


Рис.1. Зависимость определяемых показателей от глубины отбора колонки донных отложений

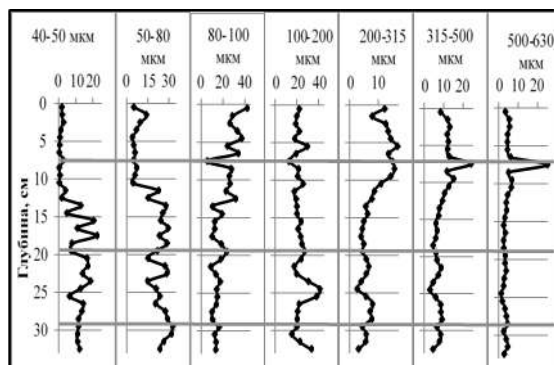


Рис.2. Распределение фракций разного размера частиц по глубине

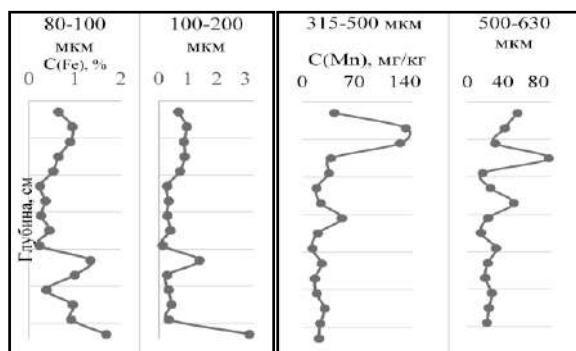


Рис.3. Распределение содержания железа и марганца в определяющих фракциях

По полученным данным была проведена геохимическая оценка динамики состояния донных отложений за период их формирования, выделено 3 геохимических барьера, определяющиеся аномально высокими значениями показателей.

#### Литература

1. D. G. Ballinger and G. D. McKee. Chemical Characterization of Bottom Sediments // Water Pollution Control Federation. 2009. №2. P. 216-227.
2. Даувальтер В.А., Кашулин Н.А. Оценка экологического состояния арктической пресноводной системы по результатам исследований содержания тяжелых металлов в донных отложениях // Геохимия. 2018. №8. С.805-819.
3. Maslennikova, S., Larina, N., Larin, S. The effect of sediment grain size on heavy metal content. Lakes Reserv. Ponds 6 // WATER RESOURCES AND WETLANDS. 2012 - P.43-54.
4. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околоводных экосистем. Методическое руководство/ Тюмень, 2011. Том 1. Полевые исследования. 128 с.
5. Ларина Н.С. Практикум по химико-экологическому мониторингу окружающей среды/ Н.С. Ларина, В.Г. Катанаева, Н.В. Ларина. Шадринск: Издательство ОГУП "Шадринский Дом Печати", 2007. 390 с.
6. Романова Т.И., Хабибуллина Р.Д. Геохимическое состояние природных вод на территории ХМАО-Югры // Наука и мир. 2016. №8. С.96-102.

УДК 544

**ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФИРОВ *o*-ФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ В  
ЭТИЛОВОМ СПИРТЕ И КРЕПКИХ СПИРТНЫХ НАПИТКАХ С  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ МИКРОЭКСТРАКЦИОННЫМ  
КОНЦЕНТРИРОВАНИЕМ С ФЛОТАЦИОННОЙ  
ДЕЭМУЛЬСИФИКАЦИЕЙ**

**Крылов В.А., Мосягин П.В., Панфилова Е.А.**

*Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия; e-mail: [k658995@mail.ru](mailto:k658995@mail.ru)*

Основными потребителями этилового спирта являются пищевая, фармацевтическая и парфюмерно-косметическая промышленность. Наиболее распространенными токсичными загрязнениями этанола являются эфиры *o*-фталевой кислоты (*o*-фталаты). Присутствие этих веществ в этаноле обусловлено их поступлением из пластифицированных материалов. Диэтилфталат используется также в качестве денатурирующей добавки к этанолу, полученному не из пищевого сырья.

Определение *o*-фталатов проводилось с предварительным концентрированием методом жидкофазной микроэкстракции с диспергированием экстрагента. В качестве пробоподготовки выбран метод жидкостно-жидкостной микроэкстракции с диспергированием экстрагента, позволяющий проводить эффективное абсолютное и относительное концентрирование. Существенным ограничением выбранного метода является стадия деэмульсификации, обычно реализуемая с помощью центрифугирования. Это ограничивает возможность автоматизации, вызывает риск разрушения стеклянных ампул для микроэкстракции и удлиняет процесс пробоподготовки. Для решения данной проблемы предложено проводить деэмульсификацию флотационным методом. В этом случае микрокапли экстракта сорбируются пузырьками барботируемого воздуха, достигают поверхности водной фазы и агрегируют.

Разработана методика высокочувствительного газохроматографического определения *o*-фталатов в этаноле и крепких спиртных напитках с электронозахватным детектированием. Диспергирование фазы экстрагента проводили с помощью ультразвукового излучения. В качестве экстрагента применили *n*-ксилол. Он удовлетворяет требованиям к экстрагентам, обладает невысоким значением давления насыщенных паров, что важно для снижения потерь экстракта при флотационной деэмульсификации. Диспергирование экстрагента и разрушение эмульсии проводили в ампуле, позволяющей барботировать воздух из капилляра, находящегося в нижней части ампулы. Барботирование воздуха осуществляли с помощью портативного насоса ПУ-2Э. Сбор экстракта проводили в капилляре, припаянном к верхней части ампулы. Установлено, что агрегирование фазы экстракта происходит за 1 минуту, что в 10 раз быстрее, чем при использовании центрифугирования. Достигнуты коэффициенты концентрирования 30-100, а пределы обнаружения *o*-фталатов понижены до  $5 \cdot 10^{-2}$  -  $7 \cdot 10^{-3}$  мг/л.

УДК 541. 123.7

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ СИСТЕМЫ  
Na,K||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O ПРИ 0<sup>0</sup>C В ОБЛАСТИ  
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГЛАЗЕРИТА (3K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> × Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

**Низомов И., Солиев Л., Шерзод С.**

*Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни,  
734003, Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 121; e-mail: [Isokhon@mail.ru](mailto:Isokhon@mail.ru)*

Методом трансляции исследованы фазовые равновесия системы Na,K||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O при 0<sup>0</sup>C в области кристаллизации глазерита (3K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>×Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Глазерит как равновесная фаза исследованной системы в области шестикомпонентного состава при 0<sup>0</sup>C участвует в формировании 7 инвариантных точек, 24 моновариантных кривых и 20 дивариантных полей.

The phase equilibria of the Na,K||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O systems at 0°C in the crystallization region of glazerite (3K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>×Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) were determined by the translation method. It has been determined that glazerite is involved in the formation of 20 divariant fields, 24 monovariant curves, and 7 invariant points.

Исследование многокомпонентных систем представляет интерес не только для установления закономерностей регулирующих фазовые равновесия в них, но и необходимо для создания оптимальных условий переработки полиминерального природного и технического сырья. Знание состояния фазовых равновесий в шестикомпонентной системе Na,K||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O кроме научного представляет также и практический интерес. В связи с созданием оптимальных условий переработки жидких отходов промышленного производства алюминия, содержащих соответствующим сульфатные, карбонатные, гидрокарбонатные, фторидные соли натрия и калия [1].

Решение данной задачи экспериментальным путем требует больших временных и материальных затрат, а также возникнут трудности при идентификации кристаллизующихся солей из-за обилия возможных вариантов фазовых равновесий.

В данной работе рассмотрены результаты исследование строения диаграммы фазовых равновесий системы Na,K||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>,F-H<sub>2</sub>O при 0<sup>0</sup>C в области кристаллизации глазерита (3K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>×Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Глазерит является равновесной фазой в 3-х из 14 четырёхкомпонентных системах и в 3-х из 6 пятикомпонентных системах [2], составляющих исследуемую шестикомпонентную систему. Фазовые равновесия в этих четырёх-и пятикомпонентных системах были исследованы ранее методом трансляции.

Метод трансляции вытекает из принципа совместимости элементов строения  $n$  и  $n+1$  компонентных систем в одной диаграмме и признан специалистами [3] как один из универсальных методов исследования многокомпонентных систем.

Для прогнозирования участие глазерита в формировании геометрических образов шестикомпонентной системы  $\text{Na,K}||\text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3,\text{F}-\text{H}_2\text{O}$  при  $0^\circ\text{C}$  использованы данные о фазовом составе невариантных точек пятикомпонентных систем в области кристаллизации глазерита, которые взяты из [4-6] и скомпонованы в табл.

**Таблица**

Фазовый состав осадков невариантных точек системы  $\text{Na,K}||\text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3,\text{F}-\text{H}_2\text{O}$  при  $0^\circ\text{C}$  в области кристаллизации глазерита на уровне пятикомпонентного состава

Невариантная точка	Фазовый состав осадков	Невариантная точка	Фазовый состав осадков
<b>Система <math>\text{Na,K}  \text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3-\text{H}_2\text{O}</math></b>		$E_{10}^5$	$\text{C}\times 10 + \text{Q} + \text{Bo} + \text{Гз}$
$E_1^5$	$\text{Mб} + \text{Hx} + \text{C}\times 10 + \text{Гз}$	$E_{11}^5$	$\text{Mб} + \text{C}\times 10 + \text{Bo} + \text{Гз}$
$E_2^5$	$\text{Ap} + \text{Kц} + \text{S} + \text{Гз}$	$E_{12}^5$	$\text{Bo} + \text{Kб} + \text{Q} + \text{Гз}$
$E_4^5$	$\text{Hx} + \text{Kц} + \text{S} + \text{Гз}$	<b>Система <math>\text{Na,K}  \text{SO}_4,\text{HCO}_3,\text{F}-\text{H}_2\text{O}</math></b>	
$E_5^5$	$\text{Q} + \text{C}\times 10 + \text{Hx} + \text{Гз}$	$E_{18}^5$	$\text{Bo} + \text{Mб} + \text{Hx} + \text{Гз}$
$E_6^5$	$\text{Ap} + \text{Q} + \text{S} + \text{Гз}$	$E_{19}^5$	$\text{Ap} + \text{Kб} + \text{Kц} + \text{Гз}$
$E_7^5$	$\text{Hx} + \text{Q} + \text{S} + \text{Гз}$	$E_{20}^5$	$\text{Kб} + \text{Kц} + \text{Hx} + \text{Гз}$
<b>Система <math>\text{Na,K}  \text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{F}-\text{H}_2\text{O}</math></b>		$E_{21}^5$	$\text{Bo} + \text{Kб} + \text{Hx} + \text{Гз}$
$E_9^5$	$\text{Ap} + \text{Q} + \text{Kб} + \text{Гз}$		

Анализ строение фрагмента диаграммы фазовых равновесий исследованной системы при  $0^\circ\text{C}$ , на уровне пяти (А) – и шестикомпонентного (Б) составов показывает на участие глазерита в формировании следующего количества геометрических образов:

Уровень компонентности	А	Б
Невариантные точки	14	7
Моновариантные кривые	21	24
Дивариантные поля	9	20

### Литература

1. Низомов И. Солиев Л. // Журнал неорганической химии. 2019. Т.64. №4. С.425-429.
2. Справочник экспериментальные данные по растворимости многокомпонентных водно-солевых систем. 2004. Т. 2. кн. 1-2. 1248с.
3. Л. Солиев. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции. (Книга 3). – Душанбе. изд. «Эр-граф». 2019. 236 с.
4. Ш. Х. Авлоев., Солиев Л. // Журнал неорганической химии. 2009. Т. 54. №6. С. 1046.
5. Солиев Л. Низомов И. // Журнал неорганической химии. 2011, Т. 56. №2. С. 331.
6. Солиев Л., Мусоджонова Дж. // Журнал неорганической химии. 2011, Т. 56. №7. С. 1188.

УДК 543.052, 543.062, 543.383.3

**ПРОБООТБОР ПЛЕНОК НЕФТЕПРОДУКТОВ С ВОДНОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ И ИХ АНАЛИЗ МЕТОДОМ  
ХРОМАТО–МАСС–СПЕКТРОМЕТРИИ****Грибова Е.Д.<sup>1</sup>, Зуев Б.К.<sup>1,2</sup>, Полотнянко Н.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Государственный университет «Дубна»,  
Россия 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19;

<sup>2</sup> ГЕОХИ РАН, Россия 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 19;  
e-mail: [polot.nat@gmail.com](mailto:polot.nat@gmail.com)

Изучены возможности нового подхода пробоотбора пленок бензина с водной поверхности. Последующий анализ нефтепродуктов осуществляли путем их десорбции с поверхности пробоотборника в органический растворитель и определения методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием.

The possibilities of a new approach for sampling gasoline films from the water surface have been researched. The subsequent analysis of petroleum products was carried out by desorption from the surface of the sampler into an organic solvent and their determination by gas chromatography with mass selective detection.

Для отбора пленки нефтепродуктов применяли оригинальный зонд – пробоотборник [1, 2], позволяющий точно определять площадь поверхности воды, с которой отбирается пленка. Для апробации нового метода пробоотбора использовали бензин, являющийся самым массовым нефтехимическим продуктом.

После удаления воды компоненты пленки десорбировали с внутренней поверхности зонда в тетрахлорметан. Анализ экстракта проводили с использованием метода газовой хроматографии с масс-селективным детектированием. Результаты анализа показали, что основными компонентами исследованных образцов бензина являются толуол, *m*-ксилол, *n*-этилтолуол и 1,2,4-триметилбензол. Дальнейший анализ раствора бензина в экстрагенте проводили в режиме мониторинга избранных ионов по площади пика, соответствующего наименее летучему компоненту 1,2,4-триметилбензолу, который был выбран в качестве маркера. Были исследованы серии пленок бензина с толщиной от 1.0 до 0.02 мм. Результаты показали, что предложенный метод и пробоотборник удовлетворительно работают в области толщин пленок от 0.390 до 0.022 мм. Данный подход позволяет не только определять толщину пленки, но и может быть использован для изучения процессов деградации пленок нефтепродуктов в разных условиях.

**Литература**

1. Патент РФ. № 2604843 от 22.11.2016.
2. Патент РФ. № 2679232 от 06.02.2019.

УДК 543.062, 543.423

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНО- И МИКРОЧАСТИЦ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ<sup>1</sup>****Бухарова Е.С.<sup>1</sup>, Цыганкова А.Р.<sup>1,2</sup>, Логашенко Е.Б.<sup>3</sup>,  
Гусельникова Т.Я.<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>ФГАОУ ВО НГУ, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д.2;<sup>2</sup>ФГБУН ИНХ СО РАН, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, д.3;<sup>3</sup>ФГБУН ИХБФМ СО РАН, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, д.8e-mail: [alphiya@yandex.ru](mailto:alphiya@yandex.ru)

Для оценки роли нано- и микрочастиц в воздухе рабочей зоны на хроническую обструктивную болезнь легких, был изучен химический состав угольных пылей, собранных на угольных шахтах. Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с дугой постоянного тока (АЭС ДПТ) были определены макро- (Al, Ca, Fe, Mg, Si) и микроэлементы (Cr, Mn, Ni, Pb и др.) в угольных пылях.

The nano- and microparticles role in the working area air on the chronic obstructive pulmonary disease is not known. To define this relationship the coal dust chemical composition was studied by the atomic emission spectrometry method with a direct current arc. Macro- (Al, Ca, Fe, Mg, Si) and microelements (Cr, Mn, Ni, Pb, etc.) in the coal dust have been determined.

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) – тяжелое заболевание, вносящее весомый вклад в снижение трудового долголетия, и является третьей причиной смерти от хронических неинфекционных заболеваний [1]. Молекулярно-клеточные механизмы этого процесса изучены недостаточно, кроме того, остаётся неизвестным роль твердых нано- и микрочастиц в воздухе рабочей зоны. Исследование элементного состава твердых нано- и микрочастиц позволит провести моделирование процесса внедрения и воздействия частиц на клеточные культуры и живые организмы.

Химический состав угольных пылей (УП) чаще всего определяют стандартными методами после озоления при 815 °С (ГОСТ 10538-87). Основными компонентами зольных остатков являются оксиды Si, Al, Fe и Ca – 10-30% мас., содержание элементов Mg, Ti, P, Na и K находится в диапазоне 0,3-2,6 % мас. [2]. Применяемые температуры могут привести к потере легколетучих компонентов, поэтому интересным представляется установить элементный состав УП без озоления пробы. По этой причине для анализа УП перспективно использование методов, которые не требуют предварительного растворения, например, метод АЭС ДПТ. Анализ

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-04-00836 А.

проводили на установке с модернизированным спектрографом PGS-2 (900шт/мм), оснащённой 8-кристальной фотодиодной линейкой МАЭС и генератором «Шаровая молния» [3]. Образцы сравнения готовили на основе графитового порошка, содержащего 4% NaCl, и примеси в диапазоне  $1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-2}$  % мас.

Исследуемые нами образцы отобраны из фильтров тонкой очистки дегазационной установки «Шахты им. 7 Ноября» Кузнецкого угольного бассейна. Анализу подвергали исходные УП и фракцию с размерами менее 0,050 мм (рассев ситовым методом по ГОСТ 2093-82). Порошки УП смешивали с графитовым порошком, содержащим 4% NaCl, последовательно разбавляя в 10, 100 и 1000 раз. В таблице 1 приведены сравнение результатов анализа для исходной УП и фракции <0,050 мм. Содержание элементов Ag, As, Au, Be, Bi, Cd, Ce, Er, Eu, Dy, Ga, Gd, Ge, In, Ir, Hf, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Pd, Pt, Ru, Sb, Sc, Sm, Tb, Tl, Tm Y, Yb находится ниже предела определения методики – н/о ( $5 \cdot 10^{-5}$ - $4 \cdot 10^{-2}$ ), % мас.

Таблица 1. Результаты анализа, % мас.

Элемент	Исходный	<0,050 мм	Элемент	Исходный	<0,050 мм
Al	0,6	2,0	Ni	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Ba	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	Pb	$7 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Ca	2,5	4,8	Si	~2	~5
Co	$9 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Sn	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Cr	$3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	Ti	$5 \cdot 10^{-2}$	0,1
Cu	$3 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	V	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Fe	2,9	~6	Zn	$5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Mg	1,0	~5	Zr	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Mn	$4 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$			

Как видно из таблицы элементный состав исходных УП и его фракции <0,050 мм существенно отличается. Наблюдается разница в содержании Al, Fe, Mg, Si и др. в 2 и более раз, т.е. наблюдается концентрирование аналитов в мелких фракциях УП. Также были определены токсичные элементы – Cr, Mn, Ni, Pb, концентрация которых находится в интервале от  $7 \cdot 10^{-4}$  до  $7 \cdot 10^{-2}$  % мас.

Предложенная АЭС ДПТ методика позволяет оценить концентрации элементов в широком диапазоне концентраций, при этом не требует длительной пробоподготовки, погрешность определения аналитов не превышает 20-30 % отн.

### Литература

1. ВОЗ [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd))
2. Ефимова О. С. и др. //Химия в интересах устойчивого развития. 2018. Т. 26. №. 6. С. 597-602.
3. Лабусов В. А. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. №. 1. С. 12-21.



УДК 543

**ПОЛУЧЕНИЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ ФЛАВОНОИДОВ И АМИНОКИСЛОТ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ *IRIS SIBIRICA L.* ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ<sup>1</sup>****Карпицкий Д.А., Бессонова Е.А., Карцова Л.А.**

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия 198504, г. Санкт-Петербург, г. Петергоф, Университетский пр-т, 26;  
e-mail: [karpickiy\\_dim@mail.ru](mailto:karpickiy_dim@mail.ru)

Предложен комплексный подход к селективному извлечению флавоноидов и аминокислот из листьев биотехнологического сырья *Iris sibirica L.* с последующим их хромато-масс-спектрометрическим определением. Методом ВЭЖХ-УФ-МС получены характеристические хроматографические профили аналитов в биотехнологическом сырье *Iris sibirica L.* В условиях целевого метаболического профилирования идентифицированы доминирующие флавоноиды в растительном сырье растения *Iris sibirica L.* Схемы эффективного извлечения аналитов из растительного сырья оптимизированы с помощью дизайна эксперимента.

In this study, the conditions for selective separation of phenolic compounds and amino acids in the leaves of biotechnological *Iris sibirica* by HPLC-DAD-MS were optimized. The schemes for effective extraction of analytes from plant materials was developed using fractional factorial experimental design. Chromatographic profiles of biotechnological raw materials *I. sibirica L.* were obtained and analyzed.

Растения рода Ирис широко используются в традиционной медицине для борьбы с бактериальными и вирусными инфекциями. Известно, что растения этого рода богаты вторичными метаболитами, которые относятся к классам флавоноидов, изофлавоноидов, тритерпеноидов, иронов, фенолов, хинонов, ксантонов и их гликозидов. Перспективным направлением получения лекарственных растений является применение биотехнологических подходов, позволяющих выращивать лекарственное сырьё высокого качества, а также регулировать его фитохимический состав. Растительная биомасса *Iris sibirica L.*, полученная методами биотехнологии, является ценным и малоизученным лекарственным сырьём с антимикробной активностью. В связи с этим требуется всестороннее изучение его состава и выявления основных параметров, влияющих на его характеристики с получением хроматографических профилей. Это, в свою

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №19-13-00370. Выражаем благодарность РЦ МАСВ и РЦ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» Научного парка СПбГУ за предоставленное оборудование.

очередь, позволит оптимизировать и контролировать качество производимого сырья по различным показателям.

Целью исследования явилась разработка подходов к селективному извлечению фенольных соединений и аминокислот из биотехнологического сырья *I. sibirica L.*, получение хроматографических профилей биологически активных аналитов и выявление закономерностей их концентрационных изменений в зависимости от гормонального состава питательной среды.

Методом обращённо-фазовой ВЭЖХ с диодно-матричным и масс-спектрометрическим детектированием с электроспреей ионизацией при положительной и отрицательной полярности найдены условия селективного разделения флавоноидов. Определение аминокислот методом ВЭЖХ проводили с использованием предварительной дериватизации дансилхлоридом, что позволило увеличить параметры удерживания аналитов в ОФ ВЭЖХ и обеспечить возможность их детектирования по поглощению в УФ области. Условия извлечения данных аналитов из растительных объектов, представленные в литературных источниках, весьма противоречивы, поэтому предварительно были построены дизайны экспериментов с целью оптимизации и выбора условий извлечения определяемых биологически активных веществ. Выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на извлечение: для фенольных соединений – концентрация метанола в составе экстрагента и совместное действие температуры и времени нагревания экстракта; для аминокислот – температура экстракции и также концентрация метанола в экстрагенте. Показано, что в найденных условиях обработка ультразвуком практически не оказывает влияния на степень извлечения аналитов.

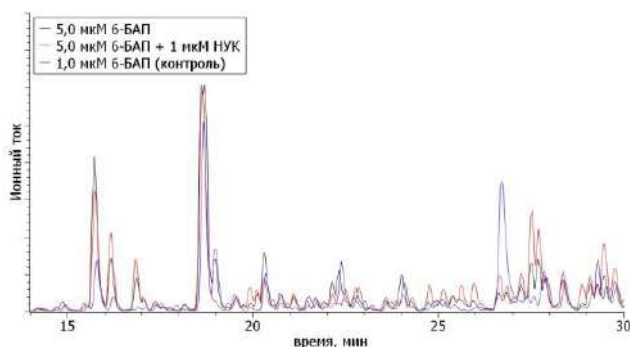


Рис. 1. Хроматографические профили растительного сырья *Iris sibirica L.*, выращенного на питательных средах с различным фитогормональным составом

В оптимизированных условиях получены и исследованы характеристические профили флавоноидов и аминокислот аэропонного и биотехнологического сырья *Iris sibirica L.*, выращенного на питательных средах с различным содержанием фитогормонов роста: 6-бензиламинопурина,  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты, полученного в ИХиХФТ АлтГУ. Выявлены основные метаболиты для контроля биотехнологического сырья. Идентифицированы соединения, относящиеся к классам флавонов, изофлавонов, фенольных кислот, ксантонов и других с применением программного обеспечения Metaboscrape 4.0.

УДК 543.3: 543.423.1

**ИСП-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЛОВА В ВОДАХ  
АЗОВСКОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ<sup>1</sup>****Абакумова Д.Д., Темердашев З.А., Абакумов П.Г.**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет, г. Краснодар,  
e-mail: [abakumova.dd@gmail.com](mailto:abakumova.dd@gmail.com)*

В работе рассматриваются особенности определения олова в морских водах Азовского и Черного морей, характеризующихся различной соленостью, методами ИСП-АЭС и ИСП-МС в сочетании с техникой генерации гидридов. Содержание олова в анализируемых водах варьировала от 0.14 до 2.36 мкг/дм<sup>3</sup>, что не превышает ПДК, установленной для объектов рыбохозяйственного назначения.

The work considers the features of tin determination in the sea waters of the Azov and Black Seas, characterized by various salinity, the methods of ISP-AES and ISP-MS in combination with hydride generation techniques. The tin content of the analyzed waters varies from 0.14 to 2.36  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ , which does not exceed the maximum permissible concentration established for fishery facilities.

При проведении экологического мониторинга определению тяжелых металлов уделяется особое внимание, поскольку многие из них являются суперэкоотоксикантами. Неорганическая форма нахождения олова в водных экосистемах относится к IV классу опасности, но его определение не менее важно, поскольку за счет биохимической активности этот токсикант может переходить в оловоорганические соединения, характеризующиеся высокой токсичностью.

Методы атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) и масс-спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) предпочтительны при определении олова в природных объектах за счет высокой чувствительности и широкого диапазона определяемых концентраций.

Азовское и Черное моря характеризуются различной соленостью (6 и 18 ‰ соответственно) и относятся к объектам рыбохозяйственного назначения, предельно допустимая концентрация (ПДК) олова для этой категории водоемов составляет 112 мкг/дм<sup>3</sup>. Анализ такого типа сложного водного объекта затруднен значительными матричными эффектами, что приводит к необходимости нивелирования этих влияний.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП «Эколого-аналитический центр» Кубанского государственного университета.

Для установления содержания олова в акваториях Азовского и Черного морей (табл. 1) использовали ИСП-спектрометрические методы с применением техники генерации гидридов.

Таблица 1 – Результаты определения олова в пробах воды Черного и Азовского морей

Объект	Содержание олова, мкг/дм <sup>3</sup>	
	ИСП-АЭС	ИСП-МС
Черное море (г. Новороссийск, зерновой терминал)	2.36±0.47	2.22±0.44
Черное море (г. Новороссийск, набережная)	0.59±0.12	0.62±0.13
Черное море (г. Новороссийск, порт)	1.37±0.28	1.33±0.27
Черное море (г. Туапсе, набережная)	0.15±0.03	0.14±0.03
Азовское море (ст. Голубицкая, Темрюкский торговый порт)	1.81±0.36	1.83±0.37
Азовское море (ст. Тамань, набережная)	0.22±0.04	0.23±0.05

Концентрация олова во всех проанализированных объектах оказалась значительно ниже установленных для этих водоемов значений ПДК. Наибольшая концентрация олова установлена в объектах судоходного назначения как в Азовском (торговый порт), так и в Черном море (зерновой терминал и порт), что вероятно связано с возможным использованием противообрастающих красок на основе оловоорганических соединений.

УДК 543

**К 75-ЛЕТИЮ ПЕРОВОГО ИЗДАНИЯ ИЗБРАННЫХ РАБОТ  
М.С. ЦВЕТА ПО ХРОМАТОГРАФИИ****Сенченкова Е.М.***ИИЕТ РАН, Россия, 125315, г. Москва, ул. Балтийская, д.14*

В преддверии 150-летия со дня рождения создателя хроматографии М.С. Цвета (1872-1919) вспомним о связанной с ним дате 75-летия первого издания избранных работ этого ученого в 1946 г. [1], вышедшего, спустя более четверти века после его кончины. Кому-то покажется странным юбилейное чествование такого непривычного и тогда парадоксального события – публикации малоизвестных трудов почти неизвестного исследователя. Однако теперь через десятки лет несомненно то существенное значение, которое это издание оказало для развития хроматографии в нашей стране.

Академик С.И. Вавилов всегда проявлял интерес к истории науки, а став президентом АН СССР, принимал участие во многих мероприятиях, связанных с историей нашей науки. Именно он стал инициатором создания в Академии наук издательской серии «Классики науки» (1944), первыми книгами которой через два года стали «Лекции по оптике» И. Ньютона в переводе с латинского языка и комментариями С.И. Вавилова и названные труды М.С. Цвета. Тогда как бы интуитивно академик поставил в один ряд классиков столь разных деятелей науки и уравнил их значимость. Если имя автора первой книги этой серии было хорошо известно всем еще со школьных лет, его труды изучались уже не одну сотню лет, то об авторе второй книги у нас знал лишь небольшой круг ботаников. К тому же некоторые из них, в частности известный физиолог К.А. Тимирязев считал вывод М.С. Цвета о неоднородности хлорофилла весьма сомнительным и даже ошибочным. Что касается отечественных химиков, то для них, за исключением биохимиков, труды ботаника М.С. Цвета тогда были вообще вне поля зрения.

С.И. Вавилов был убежден, что «физики, химики и биологи в неоплатном долгу перед этим ученым» [2]. Случайно активным сторонником того же мнения стал заведующий кафедрой физической и коллоидной химии Тимирязевской с.-х. академии Е.Н. Гапон после того, как весной 1945 г. побывал в Кенигсберге с инспекцией состояния библиотечных фондов разрушенного университета и других учебных заведений. В одном из книгохранилищ Е.Н. Гапон обратил внимание на неизвестную ему монографию венгерских химиков Л. Цехмейстера и Л. Чолноки (1938) с описанием успешного использования за рубежом, как там называли, «метода Цвета» для получения химически чистых ферментов, гормонов, витаминов и других сложных органических веществ [3]. Этот метод позволил уже в 1937–1939 гг. получить четыре Нобелевских премии химикам-органикам П. Карреру, Р. Куну, А. Бутенандту и Л. Ружичке, которые отдавали должное автору метода. С начала 1930-х годов появились и первые модификации хроматографической установки М.С. Цвета.

Чтобы ликвидировать отставание нашей науки в этой области, Е.Н. Гапон первым организовал использование хроматографии не только на своей, но и на других кафедрах ТСХА. Затем он обратился в правительственные инстанции и к Президенту АН СССР С.И. Вавилову с предложением создать в ТСХА научно-организационный центр по расширению и координированию хроматографических исследований. Однако путь реализации этих предложений оказался весьма тернистым [5].

Успехи использования уже и новых видов хроматографии, в частности при разработке в 1942-1945-гг. атомного оружия, не оставляли сомнений в необходимости форсирования отставания нашей науки в этой области. Старт в этом направлении начался с ускоренного издания избранных четырех публикаций М.С. Цвета в названной серии. Книга предназначалась не только для знакомства с трудами автора, но и в качестве руководства для освоения практических приемов и теоретических основ хроматографии в аспекте больших возможностей ее использования. Тому способствовала и включенная в издание обстоятельная статья физика Б.Я. Свешникова «Современное состояние хроматографического анализа». Так, почти через сорок лет любой наш читатель мог, наконец, ознакомиться с открытием и основными работами М.С. Цвета, а также понять их высокую значимость. К сожалению, той же ясности не было о самом авторе этих работ. Если за рубежом приверженцы хроматографического адсорбционного анализа сетовали о том, что ничего не знают о жизни создателя этого метода [3, S. IV], то ничего не знали о нем и его соотечественники.

Первые сведения о детских и студенческих годах М.С. Цвета сообщил в 1943 г. его коллега по Женевскому университету [4]. Однако составители избранных трудов М.С. Цвета и авторы краткой справки о нем так же физиологи растений академик А.А. Рихтер и профессор Т.А. Красносельская мало что могли добавить к тому сообщению. У издателей не было даже портрета Цвета в после студенческие годы. Лишь в последний момент в Архиве АН СССР была обнаружена фотография молодого М.С. Цвета в Санкт-Петербурге, по которой затем четверть века все имели представление о его внешности.

О том, насколько расширилось содержание и число иллюстраций во втором издании избранных трудов М.С. Цвета по сравнению с первым, можно судить по специальной о том публикации [5].

### Литература

1. *Цвет М.С.* Хроматографический адсорбционный анализ. Избранные работы / А.А. Рихтер, Т.А. Красносельская (отв. ред.). Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 274 с.
2. Личное сообщение профессора И.Е. Амлинского Е.М. Сенченковой об отношении С.И. Вавилова к трудам М.С. Цвета.
3. *Zechmeister L., Cholnoky L.* Die chromatographische Adsorptionsmethode. Wien, 2 Aufl. 1938. 354 S.
4. *Dhéré Ch. Michel Tswett.* Le créateur de l'analyse chromatographique par adsorption. Sa vie, ses travaux sur les pigments chlorophylliens // *Candollea*. 1943. Vol. 10. P. 23-73.
5. *Сенченкова Е.М.* Новое издание трудов М.С. Цвета // Годичная научная конференция ИИЕТ. М.: ЛЕНАНД, 2014. С. 91-99.

УДК 57.087.1;614.446

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И  
ТЕЛЕМЕДИЦИНА****Орлов Ю.Л.<sup>1</sup>, Шадеркин И.А.<sup>1</sup>, Орлова Н.Г.<sup>2</sup>, Рябков И.В.<sup>1</sup>,  
Лебедев Г.С.<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Институт цифровой медицины, Первый МГМУ им. И.М.Сеченова  
(Сеченовский Университет), Россия 119991, г. Москва, ул. Трубецкая 8-2;*<sup>2</sup> *Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Россия 125993,  
г. Москва, Ленинградский проспект, 49;  
e-mail: y.orlov@sechenov.ru*

Представлены подходы к развитию технологий электронного здравоохранения и телемедицины в Сеченовском Университете, а также решения в области дистанционного образования для студентов в области биоинформатики.

We discuss the approaches to the development of e-health and telemedicine technologies at Sechenov University, as well as solutions in the field of distance education for students on bioinformatics.

В связи с пандемией коронавирусной инфекции в мире активно внедряются технологии электронного здравоохранения, одним из глобальных направлений которого является телемедицина. Медицинские телеконсультации позволяют увеличить доступность медицинской помощи для населения удаленных территорий, пожилых и малоподвижных пациентов, что является особенно актуальным для мониторинга распространения коронавирусной инфекции за последний год. Первый Московский Государственный Медицинский Университет Минздрава России (Сеченовский Университет) и входящий в его состав Институт цифровой медицины занимаются проблемами цифровизации медицины, предоставляет платформу для обсуждения существующих вопросов развития медицинских технологий в мире. Издается «Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения» [1].

Проблемы цифровизации медицины в мире связаны с внедрением новых лабораторных диагностик, обработкой данных носимых медицинских устройств, в том числе с помощью мобильных телефонов.

Необходимо развитие компьютерных технологий как для анализа данных, так для образования в области цифровой медицины, особенно в связи с исследованиями по КОВИД-19 [2]. К крупным проектам по цифровизации медицины в России можно отнести платформу диагностики и анализа рисков развития заболеваний ВОТКIN AI, датчик Mhealth для пациентов для помощи пациентам с диабетом, платформу для анализа снимков «Третье мнение» [3].

Благодаря появлению современных информационных технологий произошел прорыв в медико-географическом картографировании и моделировании. Стали применяться геоинформационные системы, которые позволяют визуализировать географические объекты, а также производить анализ, планирование и моделирование, мониторинг инфекционных заболеваний. Разработана геоинформационная система Министерства здравоохранения Российской Федерации предназначенная для консолидации и графического отображения информации о ресурсах здравоохранения, в том числе о медицинских организациях, их структурных подразделениях в регионах, участвующих в реализации территориальных программ оказания гражданам медицинской помощи. Таким образом, решается сложная и многофакторная задача по планированию, координации и контролю деятельности всех компонентов системы на федеральном, региональном и муниципальном уровнях.

Применение аналитических функций мониторинга тенденций в здравоохранении, реализация программы улучшения управляемости и стратегического планирования, результаты аналитических исследований должны быть доступны в рамках интерактивных инструментальных панелей, настраиваемых для нужд экспертов в области организации здравоохранения. В плане применения дистанционных технологий в образовании разработан курс биоинформатики для студентов факультетов фармации и биоинженерии, основанный на использовании онлайн-программ. Использование онлайн-инструментов биоинформатики позволяет студентам решать задачи (практические работы) дистанционно, без использования стационарных компьютеров. Опубликован ряд студенческих работ по анализу списков генов, связанных с заболеваниями, в частности болезнью Паркинсона, метаболическим синдромом [4].

## Литература

1. *Шадеркин И.А., Шадеркина В.А.* Дистанционные медицинские консультации пациентов: что изменилось в России за 20 лет // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2021. 7. № 2. С. 7-17. doi: 10.29188/2712-9217-2021-7-2-7-17
2. *Галиева А.Г., Лузин А.Н., Орлова Н.Г., Куликова Д.К., Дергилев А.И., Орлов Ю.Л.* Биоинформационные подходы для анализа точек мутации генома коронавируса // В сборнике: Молекулярная диагностика и биобезопасность-2021. COVID-19: эпидемиология, диагностика, профилактика: (28-29 апреля 2021 г., Москва) / под ред. В.Г. Акимкина.- М.: ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021.- 144с. (ISBN 978-5-6045286-2-4) С. 23.
3. *Гусев А.В., Ившин А.А., Владзимирский А.В.* Российские мобильные приложения для здоровья: систематический поиск в магазинах приложений // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2021. 7. № 3. С. 21-31. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2021-7-3-21-31>
4. *Орлов Ю.Л., Галиева А.Г., Орлова Н.Г., Иванова Е.Н., Мозылева Ю.А., Анашкина А.А.* Реконструкция генной сети болезни Паркинсона для поиска генов-мишеней // Биомедицинская химия. 2021. 67. № 3, с. 222-230. doi: 10.18097/PBMC20216703222



УДК 57.087.1

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ТРАНСКРИПЦИОННОЙ РЕГУЛЯЦИИ В ГЕНОМАХ РАСТЕНИЙ<sup>1</sup>

**Орлова Н.Г.<sup>1</sup>, Кононов В.А.<sup>2</sup>, Орлов Ю.Л.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Россия 125993, г. Москва, Ленинградский проспект, 49; Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), Россия 125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20;*

<sup>2</sup> *Аграрно-Технологический Институт, Российский Университет Дружбы Народов, Россия 117198, ЮЗАО, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6  
e-mail: orlov@d-health.institute*

Развитие методов высокопроизводительного секвенирования ставит задачи разработки компьютерных программ для анализа транскрипционной регуляции у растений. Представлен набор статистических оценок и программа для анализа сайтов связывания транскрипционных факторов в модельных организмах растений.

The development of high-throughput sequencing methods challenges the problem of computer analysis of transcriptional regulation in crop plants. We present set of statistical methods and a program for the analysis of binding sites of transcription factors in model plant organisms.

Фундаментальная проблема исследования устойчивости растений к внешнему стрессу, вызванному, в том числе, патогенами на молекулярном уровне требует применения новых междисциплинарных методов основанных на биоинформационных подходах [1]. Развитие технологий высокопроизводительного геномного секвенирования, в том числе иммунопреципитации хроматина с последующим секвенированием (ChIP-seq), позволяет исследовать сайты связывания транскрипционных факторов и молекулярные механизмы транскрипционной регуляции в масштабе генома [2]. Актуальной становится разработка новых компьютерных инструментов анализа сайтов связывания транскрипционных факторов, их взаимного расположения и кластеризации в геноме, с возможностями визуализации и статистическими оценками вероятности возникновения таких кластеров [3,4]. Встают задачи функционального описания дистальных регуляторных районов транскрипции генов на основе данных ChIP-seq [5].

Научное направление компьютерного моделирования стресс-устойчивости растений является междисциплинарным, находится на стыке агробиологии, компьютерных технологий, методов математического

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Программы Стратегического Академического Лидерства РУДН.

моделирования, и соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технического развития РФ в части перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству.

Ранее было показано существование неслучайных кластеров сайтов связывания транскрипционных факторов, относящимся к регуляторным районам генов, энхансерам в геномах млекопитающих [4]. Геномы растений остаются недостаточно изученным объектом исследования с помощью технологии ChIP-seq, хотя обладают сложными механизмами транскрипционной регуляции экспрессии генов и ответа на стрессовые воздействия. Данная работа представляет новый программный инструмент и его применение для анализа сайтов связывания транскрипционных факторов в нескольких эволюционно удаленных модельных организмах растений. Приведены статистические оценки возникновения кластеров сайтов связывания, построено их распределение по размерам.

Показано существование неслучайных кластеров сайтов связывания во всех исследованных геномах растений, детально рассмотрены кластеры в геноме *Arabidopsis thaliana*. Представлена гипотеза об общем характере распределения кластеров сайтов связывания в геноме по числу различных транскрипционных факторов, обусловленном структурой регуляторной геномной сети. Предложен метод поиска регуляторных районов на основе статистики распределения сайтов связывания в геномах растений, представлены компьютерные инструменты такого анализа и визуализации.

## Литература

1. Спицина А.М., Брагин А.О., Дергилев А.И., Чадаева И.В., Твердохлеб Н.Н., Галиева Э.Р., Табиханова Л.Э., Орлов Ю.Л. Компьютерные средства анализа транскрипционных данных: программный комплекс ExpGene. // Программные системы: теория и приложения. 2017. 8. № 2(33), С. 45-68
2. Дергилев А.И., Спицина А.М., Чадаева И.В., Свичкарев А.В., Науменко Ф.М., Кулакова Е.В., Галиева Э.Р., Витяев Е.Е., Чен М., Орлов Ю.Л. Компьютерный анализ совместной локализации сайтов связывания транскрипционных факторов в геноме по данным ChIP-seq // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. 20. № 6. С. 770-778. doi:10.18699/VJ16.194
3. Orlov Y.L., Dergilev A.I., Dobrovolskaya O.B. Statistical estimates of the transcription factor binding sites cluster in Arabidopsis and distant plant species genomes // In: Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology. The 6th International Scientific Conference. Abstracts. Editors: Alexey V. Kochetov, Elena A. Salina. Новосибирск, 2021. С. 165. doi: 10.18699/PlantGen2021-149
4. Цуканов А.В., Орлова Н.Г., Дергилев А.И., Орлов Ю.Л. Программы статистической обработки, кластеризации и визуализации распределения сайтов связывания транскрипционных факторов в геноме // Вестник НГУ Серия: Информационные технологии. 2018. 16. № 3. С. 51-63. doi: 10.25205/1818-7900-2018-16-3-51-63
5. Subkhankulova T., Naumenko F., Tolmachov O.E., Orlov Y.L. Novel ChIP-seq simulating program with superior versatility: isChIP // Briefings in Bioinformatics. 2021. 22. № 4. P. bbaa352. doi: 10.1093/bib/bbaa352

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Абакумов П.Г.</i>	154
<i>Абакумова Д.Д.</i>	154
<i>Абгарян А.А.</i>	126
<i>Авакян М.М.</i>	125
<i>Айрапетян А.А.</i>	125
<i>Акмаев Э.Р.</i>	117
<i>Аллаярова Д.А.</i>	24
<i>Ананьева Г.С.</i>	81, 83, 84
<i>Аникина М.А.</i>	128
<i>Архипова С.И.</i>	34
<i>Асеева Н.В.</i>	96
<i>Бадалян В.А.</i>	125
<i>Бальбина В.А.</i>	29, 30
<i>Баторова Г.Н.</i>	14
<i>Батуева И.С.</i>	14
<i>Бежин Н.А.</i>	16, 17, 18, 21
<i>Бекетов В.И.</i>	94
<i>Беланова Н.А.</i>	91
<i>Белоусова Ю.О.</i>	105
<i>Бельков М.В.</i>	94
<i>Беляева А.А.</i>	101
<i>Беляков М.В.</i>	13
<i>Бердникова Т.В.</i>	122
<i>Берлина А.Н.</i>	137
<i>Бессонова Е.А.</i>	153
<i>Бизина Е.В.</i>	87
<i>Бобрешова О.В.</i>	133, 140
<i>Боголицын К.Г.</i>	7, 8, 64
<i>Бондарева Л.Г.</i>	72, 111
<i>Бондарь В.С.</i>	79
<i>Боровикова С.А.</i>	104
<i>Бродский Е.С.</i>	115

<i>Буланова А.В.</i>	57, 127, 129, 134
<i>Буряк А.К.</i>	1, 67, 104
<i>Бутырская Е.В.</i>	82
<i>Бухарова Е.С.</i>	152
<i>Бучельников А.С.</i>	79
<i>Ваганова Р.С.</i>	81, 83, 84
<i>Варфоломеева В.В.</i>	11, 85
<i>Васильев Ф.А.</i>	98
<i>Васияров Г.Г.</i>	71
<i>Веляев Ю.О.</i>	48
<i>Венглинская Е.Э.</i>	39
<i>Веньгина Д.А.</i>	68, 69
<i>Виноградов К.Ю.</i>	57
<i>Волков А.И.</i>	142, 143
<i>Вороник Н.И.</i>	55, 61
<i>Воронова О.А.</i>	44, 80
<i>Ганеев А.А.</i>	103
<i>Ганиева А.Ш.</i>	40
<i>Гапчина А.В.</i>	138
<i>Горбачёва Е.С.</i>	146
<i>Горбовская А.В.</i>	102
<i>Горбунов Р.В.</i>	47, 49
<i>Горбунова Т.Ю.</i>	47
<i>Горшков Н.И.</i>	64
<i>Грибова Е.Д.</i>	151
<i>Григорян А.А.</i>	125, 126
<i>Губаль А.Р.</i>	103
<i>Губанова Ю.К.</i>	42, 90
<i>Гуров К.И.</i>	51
<i>Гусев Е.С.</i>	47
<i>Гусельникова Т.Я.</i>	152
<i>Гуськов В.Ю.</i>	24, 40

<i>Даванков В.А.</i>	2
<i>Дашиева В.Ж.</i>	13
<i>Деруш А. 20</i>	20
<i>Дзантиев Б.Б.</i>	137
<i>Дзантиев Б.Б.</i>	139
<i>Дзарданов Д.В.</i>	100
<i>Добровольский В.И.</i>	68, 69
<i>Довгий И.И.</i>	5, 16, 17, 18, 21, 43
<i>Долгоносоев А.М.</i>	3, 23
<i>Долгушев П.А.</i>	26
<i>Дорожко Е.В.</i>	44, 80, 95
<i>Драньков А.Н.</i>	29, 30
<i>Дробь А.А.</i>	71
<i>Дроздов В.И.</i>	6
<i>Дрыгваль А.В.</i>	47, 49
<i>Евстигнеев М.П.</i>	79
<i>Еганян Л.Р.</i>	126
<i>Егорин А.М.</i>	32
<i>Егоров В.Н.</i>	74
<i>Егорченкова О.Е.</i>	124
<i>Ельникова А.С.</i>	133
<i>Еремин С.А.</i>	62, 63, 137
<i>Еремина Т.С.</i>	62
<i>Ерилина Д.А.</i>	144
<i>Ермаков В.В.</i>	122
<i>Ермолаева Т.Н.</i>	87
<i>Железнова С.Н.</i>	31
<i>Жердев А.В.</i>	137, 139
<i>Жердев Д.О.</i>	63
<i>Жумаев М.Т.</i>	116, 118
<i>Забегаетов И.А.</i>	52

<i>Зайцева Е.А.</i>	23
<i>Зарубо А.М.</i>	61
<i>Затираха А.В.</i>	102
<i>Звягин А.А.</i>	37
<i>Зенкевич И.Г.</i>	20, 86
<i>Зоров Н.Б.</i>	94
<i>Зубаирова К.Ф.</i>	120
<i>Зуев Б.К.</i>	56, 114, 144, 151
<i>Зяблов А.Н.</i>	75, 76, 113

<i>Ибрагимов Б.М.</i>	118
<i>Иванов А.В.</i>	99
<i>Иванова Р.Э.</i>	135, 145
<i>Ивченкова А.А.</i>	72

<i>Кайгородов Е.И.</i>	42, 90
<i>Каламбет Ю.А.</i>	12
<i>Каменская А.И.</i>	147
<i>Канюкова А.М.</i>	89
<i>Каракашев Г.В.</i>	13
<i>Каримова М.Р.</i>	137
<i>Карл Л.Э.</i>	33, 42, 90
<i>Карнаева А.Е.</i>	1
<i>Карпицкий Д.А.</i>	153
<i>Карпов С.И.</i>	91
<i>Карсункина А.С.</i>	54
<i>Карцова Л.А.</i>	153
<i>Кириллов А.С.</i>	64
<i>Козловская О.Н.</i>	16
<i>Козьмин Ю.П.</i>	12
<i>Колганова Т.С.</i>	133, 140
<i>Колесниченко И.Н.</i>	132
<i>Кологривева У.А.</i>	142, 143
<i>Колпакова Н.А.</i>	73
<i>Колячкина С.В.</i>	117

<i>Комова Н.С.</i>	137
<i>Кононов А.С.</i>	103
<i>Кононов В.А.</i>	156
<i>Копылова А.А.</i>	129
<i>Копытин К.А.</i>	136, 138
<i>Коренькова О.Б.</i>	55
<i>Короткова Е.И.</i>	44, 80, 95, 96
<i>Кочкина Г.В.</i>	120
<i>Крайский А.В.</i>	99
<i>Красиков В.Д.</i>	64
<i>Краснянская И.А.</i>	142
<i>Крашенинина С.В.</i>	106
<i>Крестьянникова Е.В.</i>	89
<i>Крохин Г.Б.</i>	121
<i>Крылов В.А.</i>	9, 149
<i>Кудрявцева А.Д.</i>	115
<i>Кузанын Л.А.</i>	125
<i>Кузнецов А.Н.</i>	47
<i>Кузнецова С.П.</i>	47
<i>Кузнецова Ю.А.</i>	141
<i>Кузьмина Т.Г.</i>	131
<i>Кулагина Е.И.</i>	136
<i>Кулешова В.А.</i>	133
<i>Кураева Ю.Г.</i>	146, 147
<i>Курбатова С.В.</i>	92, 123
<i>Куренкова О.В.</i>	15
<i>Куринная Ю.С.</i>	51
<i>Кушакова А.С.</i>	86
<i>Лагутин А.А.</i>	88
<i>Ланин С.Н.</i>	94, 113-1
<i>Лаптев А.Ю.</i>	106
<i>Ларин С.И.</i>	105
<i>Ларина Н.С.</i>	89, 105, 148
<i>Ларькина М.В.</i>	124

<i>Лащенко Т.Н.</i>	33, 42
<i>Ле Д.Т.</i>	82
<i>Лебедев Г.С.</i>	156
<i>Лебедев С.Н.</i>	109
<i>Лебедев Я.О.</i>	47, 49
<i>Лежнина М.Г.</i>	141
<i>Липских М.В.</i>	80
<i>Липских О.И.</i>	44, 80
<i>Литвинова А.О.</i>	119
<i>Лихих Т.Н.</i>	117
<i>Лобко В.В.</i>	31
<i>Логашенко Е.Б.</i>	152
<i>Логунова Д.В.</i>	44
<i>Лузанова В.Д.</i>	113-1
<i>Лялькин Е.А.</i>	103
<i>Майоров Д.В.</i>	48
<i>Малахова И.И.</i>	64
<i>Малахова Л.В.</i>	31
<i>Маркова Е.С.</i>	88
<i>Мартина Ю.В.</i>	136
<i>Мартыненко Н.А.</i>	47
<i>Маслов К.В.</i>	32
<i>Матюшин Д.Д.</i>	1, 67
<i>Махмадов Х.Р.</i>	116
<i>Машарова В.А.</i>	120
<i>Меренкова А.А.</i>	113
<i>Милютин В.В.</i>	21
<i>Миненкова И.А.</i>	1
<i>Мирзоева Н.Ю.</i>	34, 97
<i>Мироненко Н.В.</i>	130
<i>Мирошниченко О.Н.</i>	34, 35
<i>Михайлова А.В.</i>	131
<i>Михеева Е.Е.</i>	148
<i>Мосейченко И.Н.</i>	34



<i>Москалев П.В.</i>	37, 45
<i>Москалюк Е.А.</i>	7
<i>Мосягин П.В.</i>	149
<i>Музафарова Д.З.</i>	118
<i>Мурашова А.И.</i>	31
<i>Мухаметова Л.И.</i>	62, 63, 137
<i>Муханова И.М.</i>	132
<i>Мухина И.В.</i>	144
<i>Назипов М.Р.</i>	81, 83, 84
<i>Наливкин И.А.</i>	41
<i>Нестеренко П.Н.</i>	70, 94, 106, 113-1
<i>Нестерович Д.С.</i>	114
<i>Низомов И.</i>	150
<i>Никитина Д.А.</i>	20, 86, 107
<i>Новикова Е.А.</i>	54
<i>Ноибова Н.З.</i>	118
<i>Норбоева Б.С.</i>	14
<i>Носкова Т.В.</i>	59
<i>Олимджонова Н.В.</i>	116
<i>Онучак Л.А.</i>	135, 136, 145, 146, 147
<i>Орехова Н.А.</i>	51
<i>Орличеня В.В.</i>	58
<i>Орлов Ю.Л.</i>	156, 157
<i>Орлова Н.Г.</i>	156, 157
<i>Павленко М.</i>	80
<i>Павлова Л.В.</i>	132
<i>Панина М.С.</i>	59
<i>Панфилова Е.А.</i>	149
<i>Папина Т.С.</i>	
<i>Папынов Е.К.</i>	29, 30
<i>Параскив А.А.</i>	38, 50, 97
<i>Парийчук М.Ю.</i>	136

<i>Паршина А.В.</i>	133, 140
<i>Паршина А.Э.</i>	8
<i>Патрушев Ю.В.</i>	22, 25
<i>Перевозникова А.Ю.</i>	58
<i>Першукевич П.П.</i>	94
<i>Петришина И.В.</i>	80
<i>Петрова Е.К.</i>	102
<i>Пирогов А.В.</i>	88
<i>Платонов И.А.</i>	54, 128, 132
<i>Платонова Т.В.</i>	128
<i>Подолina Е.А.</i>	141
<i>Подчуфарова Д.П.</i>	59
<i>Полотнянко Н.А.</i>	151
<i>Полунина И.А.</i>	100
<i>Полякова Н.В.</i>	28
<i>Попик М.В.</i>	88
<i>Попов А.С.</i>	98
<i>Поповичев В.Н.</i>	53
<i>Постников В.А.</i>	99
<i>Прокурин С.В.</i>	68, 69
<i>Проскурнин В.Ю.</i>	34, 35, 38, 50, 97
<i>Пыцкий И.С.</i>	1
<i>Радкевич А.В.</i>	55, 61
<i>Разницына В.М.</i>	129
<i>Роговая И.В.</i>	56
<i>Рожманова Н.Б.</i>	106, 113-1
<i>Рудаков О.Б.</i>	10, 19, 77, 78
<i>Рудаков Я.О.</i>	19, 77, 78
<i>Рудакова Л.В.</i>	19, 78
<i>Рыжкин С.А.</i>	92
<i>Рылькова О.А.</i>	53
<i>Рябков И.В.</i>	156
<i>Савельева Ю.О.</i>	138

<i>Садовникова А.А.</i>	88
<i>Садыков С.О.</i>	77
<i>Сакиб М.</i>	44
<i>Сафронова Е.Ю.</i>	133, 140
<i>Селеменев В.Ф.</i>	10, 19, 78, 91, 130
<i>Семенова А.М.</i>	41
<i>Семенюк Д.Ф.</i>	41
<i>Сенин В.Г.</i>	131
<i>Сенченкова Е.М.</i>	155
<i>Серебренникова К.В.</i>	139
<i>Сибаров Д.А.</i>	13
<i>Сигора Г.А.</i>	27
<i>Сидельников В.Н.</i>	25
<i>Сидоров И.Г.</i>	35, 97
<i>Симакина Я.И.</i>	131
<i>Синицкая Т.А.</i>	124
<i>Синяева Л.А.</i>	91
<i>Сироткина В.П.</i>	117
<i>Скробнева К.С.</i>	128
<i>Славинская Г.В.</i>	15
<i>Слепченко Г.Б.</i>	73, 112
<i>Смоленков А.Д.</i>	101
<i>Собина А.В.</i>	65
<i>Солиев Л.</i>	116, 118, 150
<i>Соловов Р.Д.</i>	58
<i>Соловьева Д.А.</i>	46
<i>Соломоненко А.Н.</i>	44, 95
<i>Сотникова Ю.С.</i>	26
<i>Староверов С.М.</i>	71
<i>Стеблевская Н.И.</i>	28
<i>Стецюк А.П.</i>	34, 53
<i>Стулов П.Е.</i>	142
<i>Сухов И.Б.</i>	13
<i>Сухова Е.А.</i>	57

<i>Тананаев И.Г.</i>	5, 29, 30, 32, 43
<i>Тарабанько И.Е.</i>	138
<i>Темердашев З.А.</i>	154
<i>Терентьев А.В.</i>	11, 85
<i>Терещенко Н.Н.</i>	34, 38, 50, 97
<i>Титова Е.В.</i>	71
<i>Токарь Э.А.</i>	32
<i>Токранов А.А.</i>	127
<i>Токранова Е.О.</i>	127
<i>Толочилин Н.А.</i>	135, 145
<i>Торосян Н.Р.</i>	126
<i>Ужель А.С.</i>	102
<i>Умралиева А.Н.</i>	99
<i>Фадеева Н.В.</i>	146
<i>Фадейкина И.Н.</i>	144
<i>Фам К.Н.</i>	49, 112
<i>Фарафонова О.В.</i>	87
<i>Федорова Н.Е.</i>	72, 111
<i>Федорова О.В.</i>	120
<i>Финкельштейн Е.Е.</i>	92
<i>Фролова М.А.</i>	43
<i>Хабаров В.Б.</i>	108, 109
<i>Хабтемариам Г.З.</i>	140
<i>Хальзова С.А.</i>	75
<i>Хамизов Р.Х.</i>	4
<i>Ханина М.А.</i>	141
<i>Ходькова Ю.С.</i>	117
<i>Холин А.Ю.</i>	123
<i>Хоменко Т.Ю.</i>	27
<i>Хорохордин А.М.</i>	77
<i>Хоружий Д.С.</i>	36, 110
<i>Хрущев А.Ю.</i>	117

<i>Цыганкова А.Р.</i>	152
<i>Чекусова П.И.</i>	120
<i>Чернобровкина А.В.</i>	93, 98, 101
<i>Чернова А.А.</i>	147
<i>Чикурова Н.Ю.</i>	93, 101
<i>Чужикова-Проскурнина О.Д.</i>	38
<i>Чуклин А.А.</i>	43
<i>Чучина В.А.</i>	103
<i>Шадеркин И.А.</i>	156
<i>Шанин И.А.</i>	137
<i>Шановалова А.А.</i>	76
<i>Шапошник А.В.</i>	37, 45
<i>Шарафутдинова Ю.Ф.</i>	24, 40
<i>Шафигулин Р.В.</i>	57, 127, 129, 134
<i>Шашков М.В.</i>	26
<i>Шаяхметова Р.Х.</i>	24
<i>Шеболкина О.А.</i>	106
<i>Шемякина А.О.</i>	93
<i>Шерзод С.</i>	150
<i>Шестакова Н.Н.</i>	13
<i>Шибецкая Ю.Г.</i>	16
<i>Шибецкая Ю.Г.</i>	18
<i>Шимолин А.Ю.</i>	65
<i>Шмелев А.А.</i>	134
<i>Шолохова А.Ю.</i>	67, 104
<i>Шоль Л.В.</i>	60
<i>Шпигун О.А.</i>	88, 98, 101, 102
<i>Шульгин В.Ф.</i>	52
<i>Шульгина Е.В.</i>	7
<i>Шуплецова П.А.</i>	105

<i>Эйрих С.С.</i>	<b>60</b>
<i>Яковлева Е.Ю.</i>	<b>22</b>
<i>Янковская В.С.</i>	<b>119</b>
<i>Яшин Я.И.</i>	<b>66</b>
<i>Roessner F.</i>	<b>91</b>



## МультиХром

- Управление более чем 250 хроматографами и отдельными устройствами различных производителей: Agilent, Gilson, Knauer Metrohm, “Люмэкс”, “Аквилон”, “Хроматек”, “ПортЛаб” и др.
- Оригинальные методы предельного подавления шумов, адаптивной аппроксимации пиков и разделения перекрывающихся пиков по форме.
- Спектральный анализ и многоканальная хроматография: идентификация и расчет количества компонента по спектру пика, разделение перекрывающихся пиков с помощью факторного анализа.
- Поддержка капиллярного электрофореза с дополнительными методами обработки данных.
- Специализированный модуль для гель-проникающей хроматографии.
- Обработка данных планарной хроматографии и гель-электрофореза.
- Создание документов заданного образца; выдача отчетов в форматах PDF, RTF, HTML; статистические отчеты для группы хроматограмм.
- Поддержка требований «Надлежащей лабораторной практики» (GLP, GMP) и электронного документооборота.

*Научное издание*

**ВСЕРОССИЙСКИЙ СИМПОЗИУМ  
И ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ»**

**СБОРНИК ТРУДОВ СИМПОЗИУМА**

*Издано в авторской редакции и корректуре.  
Подготовка материалов: Т.А. Кулькова*

Формат 60x90/16. Бумага офсетная.  
Тираж 120 экз. Заказ № 1454.  
Подписано в печать 18.10.2021 г.

Отпечатано в ООО «Издательский дом «Граница»  
123022 Москва, улица 1905 года, д. 7, стр. 1  
Тел.: +7 499 259-88-13, +7 495 971-00-75.  
E-mail: [granica\\_publish@mail.ru](mailto:granica_publish@mail.ru)  
<http://granicagroup.ru>