



**ЭКОЛОГИЯ**  
промышленных городов

**ВСЕРОССИЙСКАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ**

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Казань, 2025

Сборник тезисов  
Всероссийской  
научно-практической  
конференции  
«Экология  
промышленных городов»



Казань, 5–7 ноября 2025 года

## ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- Минобрнауки РФ
- РАН
- Научный совет РАН по глобальным экологическим проблемам
- Минэкологии РТ
- Академия наук РТ
- ФИЦ КазНЦ РАН
- Журнал общей химии
- Консорциум «Экология промышленных городов»
- Татарстанское отделение РХО им. Д. И. Менделеева
- Журнал «Экологическая химия»

## НАУЧНАЯ ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

- Аналитический мониторинг окружающей среды
- Очистка воздуха, утилизация газовых выбросов в том числе декарбонизация
- Очистка природных и сточных вод
- Утилизация твердых отходов и очистка почв
- Получение полезных продуктов путем переработки отходов (с участием СИБУР)
- Микропластик в окружающей среде

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

### СОПРЕДСЕДАТЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ:

- Вице-президент РАН, академик РАН С. Н. Калмыков (Москва)
- Министр экологии и природных ресурсов РТ А. В. Шадриков (Казань)
- Координатор Консорциума «Экология промышленных городов», академик РАН О. Г. Синяшин (Казань)

### ЗАМЕСТИТЕЛИ СОПРЕДСЕДАТЕЛЕЙ:

- Зам. министра экологии и природных ресурсов РТ О. В. Манидичева (Казань)
- Зам. директора ФИЦ КазНЦ РАН, к.т.н. Ф. М. Янбаев (Казань)

### СЕКРЕТАРЬ КОНФЕРЕНЦИИ:

- К.х.н., Р. Р. Заиров (Казань)

### ЧЛЕНЫ КОМИТЕТА:

- Академик РАН В. И. Бухтияров (Новосибирск)
- Академик РАН С. В. Гарнов (Москва)
- Академик РАН А. Л. Максимов (Москва)
- Академик РАН А. О. Терентьев (Москва)
- Чл.-корр. РАН С. В. Люлин (Санкт-Петербург)
- Чл.-корр. РАН Д. Г. Яхваров (Казань)
- К.х.н. С. Д. Баженов (Москва)
- Д.х.н. И. А. Веселова (Москва)
- Д.б.н. С. В. Гудков (Москва)
- Д.х.н. С. С. Карлов (Москва)
- К.т.н. П. В. Соколовский (Москва)
- Д.х.н. В. А. Яковлев (Новосибирск)

## ЛОКАЛЬНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Зам. директора ФИЦ КазНЦ РАН,  
к.т.н. Ф. М. Янбаев

### ЗАМЕСТИТЕЛЬ:

Гл. ученый секретарь ФИЦ КазНЦ РАН,  
к.х.н. С. А. Зиганшина

### СЕКРЕТАРЬ:

К.х.н. Р. Р. Заиров

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| • К.х.н. Ш. З. Валидов   | • Э. М. Лебедева        |
| • К.х.н. И. Ф. Сахапов   | • Т. А. Корнев          |
| • К.х.н. Г. Р. Низамеева | • К.х.н. З. Н. Гафуров  |
| • В. А. Васильева        | • К.х.н. И. Р. Низамеев |
| • К.х.н. А. П. Довженко  | • А. П. Бебякина        |



## СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	5
СЕКЦИЯ 2. ОЧИСТКА ВОЗДУХА, УТИЛИЗАЦИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ	66
СЕКЦИЯ 3. ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД	77
СЕКЦИЯ 4. УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ И ОЧИСТКА ПОЧВ	92
СЕКЦИЯ 5. ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ	108
СЕКЦИЯ 6. МИКРОПЛАСТИК В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ	128

# СЕКЦИЯ 1

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



## ИССЛЕДОВАНИЯ В РАМКАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕСТКИ НА ХИМИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МГУ

Карлов С.С.

*МГУ имени М.В.Ломоносова, химический факультет, г. Москва*

*E-mail: s.s.karlov@chemistry.msu.ru*

В докладе исполняющего обязанности декана химического факультета будут проанализированы исследования, проводимые на химическом факультете МГУ или с участием сотрудников химического факультета МГУ, направленные на решение актуальных экологических проблем. В современном мире повестка, связанная с экологией, привлекает особое внимание как научного сообщества, так и всего человечества в целом в связи с потенциальными рисками значительного изменения условий существования человека в комфортной окружающей среде. В настоящее время сформулированы глобальные экологические вызовы, которые сильнее всего воздействуют на будущее людей: глобальное изменение климата, сокращение биологического разнообразия, истощение природных ресурсов, загрязнение окружающей среды, проблема пресной воды. На химическом факультете проводятся исследования в области анализа экотоксикантов разной природы в различных средах, разработки способов предотвращения загрязнения окружающего мира промышленными загрязнителями, а также минимизации последствий уже нанесенного вреда.

Кроме того, в докладе будет описана образовательная деятельность, реализуемая на химическом факультете МГУ и направленная на подготовку специалистов-химиков, специализирующихся в области экологической химии и охраны окружающей среды.

Отдельное внимание в докладе будет уделено функционированию и полученным результатам научно-образовательной школы Московского университета ««Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» как в области научных исследований, так и в области образования. Школа была создана в МГУ в 2020 году и объединила ученых и преподавателей биологического, географического, химического факультетов и факультетов почвоведения и наук о материалах МГУ.

**Благодарность:** Исследование частично выполнено в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для реализации крупных научных проектов по приоритетным направлениям развития науки и техники (075-15-2024-646), а также при поддержке Российского научного фонда, Программы развития МГУ, других источников финансирования.



## О ПРОГРАММЕ ООН ПО ВОЗДУХУ ЕВРОПЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МХОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯДЕРНО- ФИЗИЧЕСКИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ЕЕ РАСШИРЕНИИ В АЗИЮ И СТРАНЫ ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА

**Фронтасьева М.В.**

*ЛНФ ОИЯИ, г. Дубна Московской области*

*E-mail: marina@nfjinr.ru*

В кратком историческом обзоре сообщается о развитии и основных этапах метода биомониторинга со мхами, который используется для изучения атмосферных выпадений различных загрязняющих веществ в Европе: тяжёлых металлов и микроэлементов, азота, стойких органических загрязнителей (СОЗ), а также радионуклидов техногенного и природного происхождения. Подчёркивается важность этих исследований в контексте Европейской Экономической Конвенции ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (LRTAP). Примеры из долгосрочной деятельности Международной программы по оценке воздействия загрязнения воздуха на естественную растительность и сельскохозяйственные культуры (UNECE ICP Vegetation), созданной в 1987 году, иллюстрируют тенденции в поведении загрязнителей воздуха. В соответствии с долгосрочной стратегией Конвенции LRTAP по расширению участия и улучшению качества воздуха в Восточной Европе, на Кавказе, в Центральной Азии и Юго-Восточной Европе, предпринимаются усилия по расширению программы на Азиатско-Тихоокеанский регион. На данный момент 36 стран выразили заинтересованность в участии в одновременном сборе мхов-биомониторов в Европе в 2025–2026 гг., наряду с 14 странами из Азиатско-Тихоокеанского региона. Обзор также охватывает аналитические методы и подходы к интерпретации данных, связанных с технологией биомониторинга со мхами. Для многих тяжёлых металлов самые низкие концентрации, как правило, были обнаружены на севере и западе Европы, а более высокие концентрации – на юго-востоке региона. Для некоторых металлов удалось выявить влияние точечных источников в пределах региона (например, сурьмы и кадмия), в то время как другие имели либо более рассредоточенные источники в пределах региона (например, свинец), либо более равномерное распределение (например, цинк), что указывает на наличие трансграничных источников на больших расстояниях вне пределов региона.

### Литература

United Nations Economic Commission for Europe International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops. <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/>



# АНТРОПОГЕННОЕ ДАВЛЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ РОССИИ

Фрумин Г.Т.

*Российский Государственный педагогический университет им. А. И. Герцена*

Антропогенное воздействие как угроза биосфере на уровне руководителей государств стало рассматриваться, начиная с 1970-х годов. В России в 1990 г. стартовала программа “Глобальные изменения природной среды и климата” [1].

Согласно [2], любые современные технологии направлены на все более эффективное использование природных ресурсов (потребление и разрушение биомассы для удовлетворения потребностей человека) и тем самым – на перестройку окружающей среды. Чем больше численность населения и выше его потребности, тем больше затрачивается энергии в процессе использования технологий для получения продуктов потребления.

Цель исследования – оценка коэффициентов антропогенного давления на территории промышленных городов РФ (К).

По данным работы [2] было выявлено следующее корреляционное уравнение, связывающее коэффициенты антропогенного давления (К) с плотностью населения (ПН, человек/км<sup>2</sup>) [3]:

$$\log(K) = -0.97 + 0.90\log(\text{ПН}).$$

Приведенная зависимость была использована для расчетов величин коэффициентов антропогенного давления на различные территории промышленных городов (таблица).

**Таблица 1.** Коэффициенты антропогенного давления на территории промышленных городов РФ в 2025 году.

Город	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	К	Город	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	К
Норильск	7589,51	333	Тверь	2711,9	132
Москва	5182,23	236	Череповец	2632,52	128
Санкт-Петербург	4029,17	188	Казань	2257,83	112
Иваново	3402,66	162	Иркутск	2186,67	109
Новосибирск	3238,14	155	Калининград	2174,86	108
Тула	3122,15	150	Петрозаводск	2075,9	104
Нижний Новгород	2917,71	141	Чебоксары	1980,32	99
Киров	2803,69	136	Мурманск	1572,14	81
Красноярск	2765	134	Екатеринбург	1392,63	72

## Литература

1. Гончарова, А.Б., Колпак, Е.П., Гасратова, Н.А., Модели антропогенного давления на экосистему: учебное пособие. Казань: Бук, 2024, 102 с.
2. Кондратьев, К.Я., Донченко, В.К., Лосев, К.С., Фролов, А.К., Экология. Экономика. Политика, С.-Петербург: СПбНЦ РАН, 1996, 827 с.
3. Фрумин Г.Т. Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование. СПб.: Синтез, 1998, 96 с.



## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ АГЕНТОВ, НЕГАТИВНО ВЛИЯЮЩИХ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

Гарнов С.В.<sup>а</sup>, Гудков С.В.<sup>а,б\*</sup>

*а) ИОФ РАН, г. Москва*

*б) ВИМ, г. Москва*

*E-mail: \*S\_makariy@rambler.ru*

Доклад будет посвящен описанию разработанных методов детектирования и нейтрализации химических и биологических агентов, негативно влияющих на состояние окружающей среды промышленных городов. Будет обсуждаться устройство и функционал мультилучевого компактного оптического комплекса-анализатора для детекции фузариоза. Компактный флуоресцентный ЛИДАР для автономного мониторинга зеленых насаждений, водоемов и полей. Бесконтактные онлайн технологии детекции тяжелых металлов в сырье органического происхождения. Установки генерации холодной плазмы для производства плазмолитов – водных растворов для дезинфекции поверхностей (от биотканей и пищевых производств до мытья напольных покрытий). Новые композиционные полимерные материалы, угнетающие или способствующие росту и размножению бактерий.

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



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

Румянцева М.Н.<sup>\*</sup>, Приходько К.Я., Кутуков П.С., Платонов В.Б.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

E-mail: \*roum@inorg.chem.msu.ru

Прогресс в создании газовых детекторов связан с разработкой мультисенсорных анализаторов, основным чувствительным элементом которых является массив сенсоров, содержащий до нескольких десятков элементов, обладающих частичной селективностью при детектировании разных групп опасных газов. Подобный анализ актуален не только для систем экологического контроля и безопасности, но также перспективен для разработки новых экспрессных методов анализа качества продуктов питания, медицинской диагностики. Возможности газоаналитического оборудования могут быть существенно расширены за счет комбинации следующих подходов: (i) использование новых чувствительных гибридных материалов с заданной спектральной зависимостью фотопроводимости; (ii) использование динамического режима температурной и/или фотоактивации; (iii) использование математического алгоритма анализа данных для обработки информации, поступающей от сенсорного массива. В работе обсуждаются результаты детектирования основных загрязнителей воздуха посредством газовых сенсоров резистивного типа, работающих в условиях динамического термического нагрева или периодической подсветки маломощным источником УФ или видимого диапазона спектра.

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

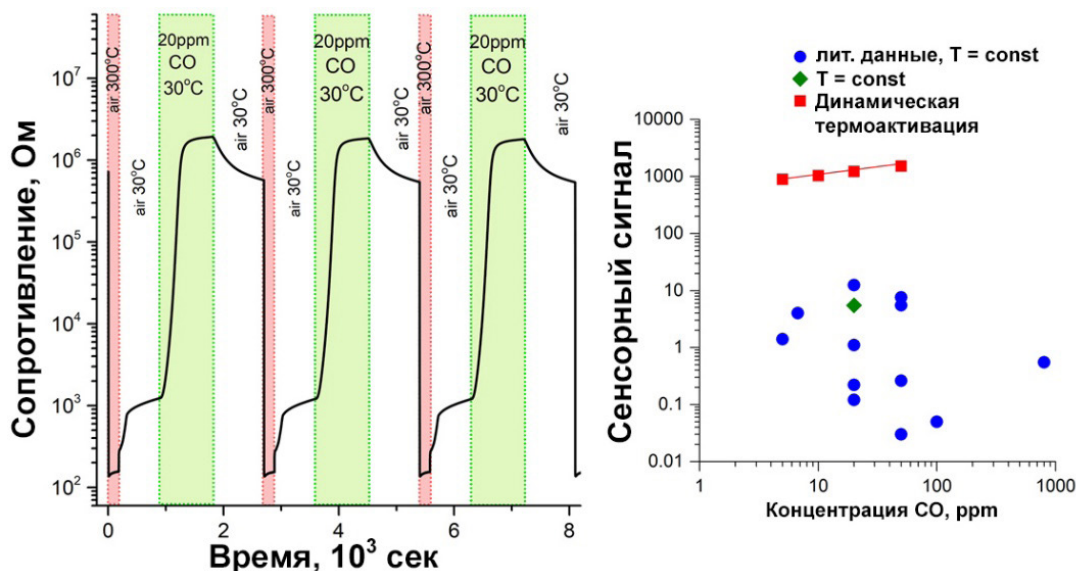


Рисунок 1. Сенсорный отклик полупроводниковых газовых сенсоров при детектировании СО в динамическом температурном режиме.



## СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ И ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И НЕФТЕПРОДУКТАХ

Веселова И.А. \*, Самоделова М.В., Капитанова О.О.

*Химический факультет МГУ, г. Москва*

*E-mail: \* irina.veselova@mail.ru*

Необходимость определения ПАУ (полимерных ароматических углеводородов) и ПАГС (полярных ароматических гетероциклических соединений) заключается в их воздействии на экологию и здоровье человека. Эти вещества представляют собой сложные органические соединения, которые часто образуются в процессе сжигания углеводородных топлив, при промышленных процессах и других источниках загрязнения. В связи с этим крайне актуальной становится разработка и внедрение высокочувствительных и экспрессных методов аналитического контроля техногенных загрязнителей. Традиционные инструментальные методы сталкиваются с проблемами трудоемкой пробоподготовки, высокой стоимости анализа и отсутствия возможности для *in situ* детекции.

Одним из перспективных решений для экомониторинга токсикантов является метод спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния (ГКР). Это современный быстроразвивающийся метод анализа, сочетающий селективность рамановской спектроскопии и высокую чувствительность, обеспечиваемую многократным усилением сигнала за счет использования плазмонных металлических структур. Увеличение распространенности компактных рамановских спектрометров и минимальная пробоподготовка делает метод спектроскопии ГКР всё более доступным для определения соединений разной природы на фоне сложной матрицы объектов окружающей среды для экологического мониторинга.

В результате проведенных исследований в рамках доклада будет обсужден новый подход к определению ПАУ и ПАГУ, основанный на образовании ими окрашенных комплексов с переносом заряда (КПЗ). Варьирование природы  $\pi$ -акцептора и изучение устойчивости КПЗ позволяет не только достигать требуемой селективности и чувствительности, но и значительно расширить круг исследуемых аналитов. Кроме того, мы предположили, что реакция образования КПЗ может быть использована для отделения компонентов матрицы или уменьшения их мешающего влияния на определяемое вещество, и как следствие, привести к улучшению метрологических характеристик за счет увеличения отношения сигнал/шум. Устойчивость ТНФ в водной среде делает возможным его применение для анализа ПАУ и ПАГС на нефтеперерабатывающих предприятиях, в сточных водах производств и объектах окружающей среды для оценки экологической ситуации.

**Благодарность:** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, номер проекта 075-15-2024-646.





## ХЕМОРЕЗИСТИВНЫЙ СЕНСОР НА ДИОКСИД АЗОТА НА ОСНОВЕ АНИЗОТРОПНОЙ СЕТИ Ni-NiO, ПОКРЫТОЙ НАНОЧАСТИЦАМИ CuS

Низамеев И.Р.\*, Низамеева Г.Р., Лебедева Э.М., Воробьева В.В., Заиров Р.Р.,  
Довженко А.П., Синяшин О.Г.

ИОФХ им. А. Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: \*inizameyev@iopsc.ru

Антропогенная нагрузка на окружающую среду возрастает из-за роста населения и масштабов производства. Основными источниками вредных выбросов ( $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , ЛОС) являются тепловая энергетика, химическая промышленность и транспорт, часто превышающие допустимые нормы [1]. Существующие методы детектирования газов (масс-спектрометрия, ИК-спектроскопия) дороги, громоздки и энергоемки, что ограничивает их применение для рутинного анализа. Перспективной альтернативой является разработка миниатюрных мультисенсорных газоанализаторов для экспресс-контроля оксидов серы и азота, обладающая значительным технологическим и экономическим потенциалом [2].

Данная металл-полупроводниковая система демонстрирует высокую чувствительность, обусловленную значительными изменениями электропроводности в модельной газовой смеси, и обеспечивает детектирование низких концентраций диоксида азота ( $\text{NO}_2$ ) как при комнатной, так и при высокой температуре (190 °C). Исследования селективности IDE-сенсора в отношении ряда парниковых и токсичных газов показали его измеримый отклик в диапазоне концентраций 1–50 ppm. Простота синтеза и низкая стоимость материалов позволяют рассматривать данный сенсор как перспективный компонент для современных портативных газоанализаторов.

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

### Литература

1. F. Cereceda-Balic, M. Vidal, P. Reyes et al. // Science of The Total Environment, V. 584–585, P. 901–910 (2017).
2. M.V. Nikolic, V. Milovanovic, Z.Z. Vasiljevic, Z. Stamenkovic // Sensors, V. 20, P. 6694 (2020).



## ФОТОИНИЦИИРОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО И ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ОТКЛИКА НА ИОНЫ МЕДИ КАЛИКСКУРКУМИНОИДА, ДОПИРОВАННОГО В МИЦЕЛЛЫ НА ОСНОВЕ ПЛЮРОНИКОВ

Ахмадеев Б.С. \*, Подъячев С.Н., Заиров Р.Р., Мустафина А.Р., Синяшин О.Г

ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: \*bulat\_ahmadeev@mail.ru

В работе синтезирован новый каликскуркуминоид и его структурный аналог, не содержащий каликс[4]ареновый фрагмент. Нерастворимые в воде куркуминоиды были переведены в водную среду путем их инкапсуляции в мицеллярные агрегаты на основе плюронигов с различной способностью к агрегации. Спектральные изменения, вызванные фотоиницированием и гидролитической деградацией куркуминоидов в воде, отслеживали с помощью УФ- и флуоресцентной спектроскопии в условиях темноты и на солнечном свете. Показано, что усиление флуоресценции и ее значительное подавление в присутствии ионов  $\text{Cu}^{2+}$  являются признаками фотоактивации, которая происходит после кратковременного облучения солнечным светом. При длительном освещении этот эффект исчезает. В результате установлено, что оптимальной системой для определения ионов  $\text{Cu}^{2+}$  является раствор каликскуркуминоида в мицеллах P123 после 1,5-часовой фотоактивации на солнечном свете. Данная система демонстрирует предел обнаружения 12,8 нМ и высокую селективность в ряду других d-металлов.

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



## АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПО ДАННЫМ ДЗЗ И OPENSTREETMAP

Алексеев Д.К., Сидельникова Е.А., Сапешко С.А., Леонтьева А.А.

*Российский государственный гидрометеорологический университет*

В последние годы изменение климата рассматривается как один из ведущих факторов, оказывающих влияние на здоровье населения. Это происходит как напрямую через увеличение количества дней с экстремальными температурами, наводнениями, штормами и т.д., так и косвенно, через воздействие экологических или социально-экономических факторов (например, сокращение объемов качественной питьевой воды, повышение уровня загрязнения атмосферного воздуха и др.). С учетом возможных последствий изменения климата в РФ последнее время активно формируется система из Национального, отраслевых, региональных и корпоративных планов адаптации. Например, в конце 2023 г. был утвержден Региональный план адаптации Санкт-Петербурга к изменениям климата. Положительными тенденциями становятся перспективное планирование водно-зеленого каркаса [1], расширение особо охраняемых природных территорий и организация экологического туризма на прилегающих к мегаполисам территориям. Одним из ключевых инструментов, способных обеспечить экологическую устойчивость городов, является формирование экологического каркаса. Под этим термином понимается целостная система, объединяющая особо охраняемые природные территории (ООПТ), водно-зелёные пространства, санитарно-защитные зоны, лесные массивы, городские парки и иные элементы природной структуры, образующих единую взаимосвязанную сеть.

Формирование экологического каркаса способствует решению целого комплекса задач за счет экосистемных услуг, выполняемых экологическим каркасом: снижение загрязнения воздушного бассейна, смягчение эффекта городского острова тепла, защита от шума (с помощью полос зеленых насаждений), снижение загрязнения водного бассейна, сохранение местной флоры и фауны, улучшение здоровья человека. Стандартом оценки растительного покрова по данным дистанционного зондирования является нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), чувствительный к фотосинтетически активной растительности. Результаты анализа спутниковых данных на основе мультиспектральных снимков за 2002 и 2018 годы позволили проследить пространственно-временную динамику озеленения в Санкт-Петербурге. В среднем для Санкт-Петербурга в 2018 г. характерна следующая картина: наблюдается общая тенденция снижения площади озелененных территорий по сравнению с 2002 г. во всех районах города, что хорошо прослеживается на снимках [2, 3]. Растительный покров неравномерно распределяется по территории города. В отдаленных окраинах он избыточен, когда в центральной части оказывается в явном дефиците. Озелененность города составляет 61,8 %, однако данный показатель сильно различается по отдельным районам. Главной гидрологической осью является река Нева, которая в центральной части города разделяется на множество рукавов, своего рода компенсируя недостаток растительности, а в западной части переходит в Невскую губу Финского залива. Доля городских водных объектов, не считая акватории Невской губы составляет 4,1%. Основные экологические ядра располагаются в Курортном и Петродворцовом районах, формируя зеленый морской фасад города. Они же обладают наибольшим количеством ООПТ и лесных массивов.

Общая площадь ООПТ – 100,5 км<sup>2</sup> (7% от площади города). Самый большой заказник «Левашовский» был создан 11 января 2023 и имеет площадь 27,04 км<sup>2</sup>. В центральной части города находятся ботанические сады и дендрологические парки федерального значения, которые имеют большое экологическое и природоохранное значение в условиях высокоурбанизированной территории. Распределение ООПТ по территории города также крайне неравномерно. К хорошо озелененным также можно отнести южные районы города, однако там меньше лесов и ООПТ, что обусловлено обилием сельскохозяйственных земель. Общая площадь зеленых насаждений общего пользования (далее – ЗНОП) – 77,12 км<sup>2</sup> (5,4% от площади города). Их распределение уже более равномерно по селитебной зоне. В центральной части широко распространены малые ЗНОП площадью менее 0,1 км<sup>2</sup>.



В целях поддержания экологического баланса и обеспечения благоприятных условий проживания, в различных странах предполагается обязательное выделение минимальных площадей незапечатанных территорий. Незапечатанными территориями являются все поверхности не покрытые твердыми материалами, такими как асфальт, бетон, здания и другие искусственные покрытия. Проанализировав различные подходы к определению минимального значения незапечатанных территорий, можно сделать вывод, что минимальная граница процентного содержания равна 30%. Практическая часть работы заключалась в оценке распределения незапечатанных поверхностей по районам города Санкт-Петербурга с использованием геоинформационной системы QGIS. Данные получены из открытого источника геоинформационных данных, который регулярно обновляется пользователями – OpenStreetMap. Установлено, что только 8 из 18 районов успешно выполняют норматив незапечатанных территорий (30%): Выборгский, Колпинский, Курортный, Московский, Петроградский, Петродворцовый, Приморский и Пушкинский. Большинство районов не достигают установленного норматива, что указывает на неравномерное распределение экологических зон по городу.

### Литература

1. Алексеев Д.К., Курочкина А.А., Примаков Е.А., Бубнова Я.В., Тенилова О.В., Рохлова Е.Л., Карманова А.Е., Панова А.Ю., Арапов С.В. Экологический туризм. Санкт-Петербург: Человек, 2024. 376 с.
2. Alexeev D., Dmitricheva L., Mikhteeva E., Kanukhina A. Dynamics of Green Areas in St. Petersburg and Adaptation to Climate Change. *Advances in Ecology and Environmental Engineering. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. Springer, Cham. (2024). DOI: 10.1007/978-3-031-64423-8\_3.
3. Алексеев Д.К., Примаков Е.А., Канухина А.Ю., Виноградов Ф.В. Динамика зеленых насаждений в Санкт-Петербурге и климатические риски. *Успехи современного естествознания*. 2024. № 8. С. 6-11. DOI: 10.17513/use.38297.



# ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СЕРОВОДОРОДА В УЛИЧНОМ ВОЗДУХЕ С ПОМОЩЬЮ МЭМС-СЕНСОРОВ

Гребенкина А.А.<sup>а,б,\*</sup>, Андреев М.Д.<sup>а</sup>, Кривецкий В.В.<sup>а,б</sup>

*а) Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия*

*б) Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-производственный комплекс «Технологический центр», 124498, Зеленоград, Россия*

*E-mail: \*nastya.greb@yandex.ru*

Мониторинг высокотоксичного сероводорода в атмосферном воздухе является актуальной задачей. В качестве чувствительных элементов для детектирования газов-загрязнителей могут применяться металлооксидные полупроводниковые МЭМС-сенсоры. Несмотря на то, что температурная модуляция повышает информативность сенсорного отклика, недостаточная точность определения концентрации газа, обусловленная дрейфом и нестабильностью базового сопротивления, остается проблемой [1]. Для повышения точности был применен гибридный метод Случайного Леса (классификация + регрессия). Накопление данных проводилось в течение нескольких недель с использованием трех МЭМС-сенсоров  $\text{SnO}_2/\text{SiO}_2$ , различающихся толщиной толсто пленочного чувствительного материала (3, 5 и 10 слоев), работающих в режиме температурной модуляции. Анализ важности признаков показал, что наиболее значимы признаки, связанные с гистерезисом сопротивления в температурном цикле. Обучение на оптимальном наборе признаков обеспечило приемлемую точность для нестабильных условий (рис. 1).

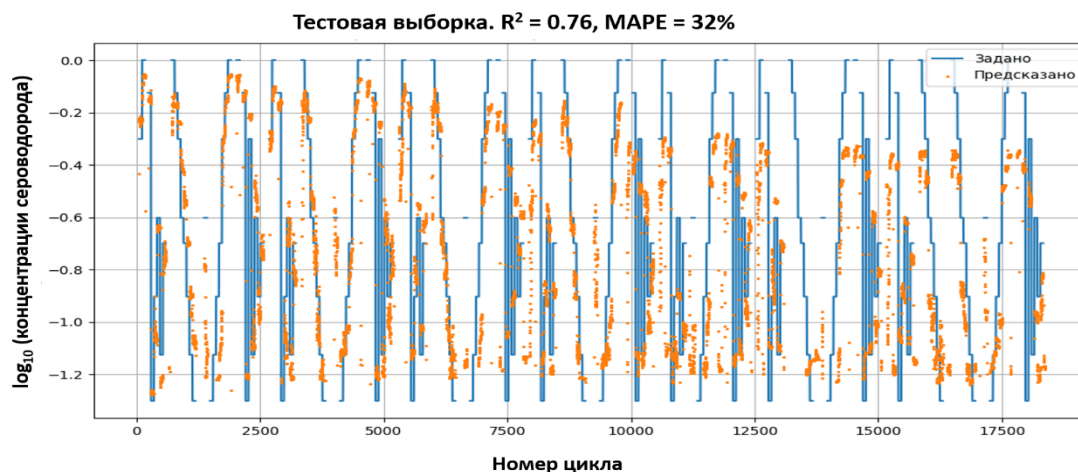


Рисунок 1. Результаты прогнозирования концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  (регрессия с помощью модели Случайного Леса).

**Благодарность:** Исследование выполнено в рамках гранта РНФ №221900703П

## Литература

1. Krivetskiy V., Efitov A., Arkhipenko A. et al. // Sensors and Actuators B: Chemical, 254 (2018), 502–513.



# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МХОВ-БИОМОНИТОРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И РАДИОНУКЛИДАМИ В РАЙОНЕ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (Г. ЯКУТСК)

Фронтасьева М.В.<sup>а,\*</sup>, Мамаева С.Н.<sup>б,#</sup>

а) ЛНФ ОИЯИ, г. Дубна Московской области

б) СВФУ им. М.К.Аммосова, г. Якутск

E-mail: <sup>\*</sup>marina@nf.jinr.ru, <sup>#</sup>sargylana\_mamaeva@mail.ru

Впервые в данном регионе метод мхов-биомониторов был применен для оценки пространственного распределения тяжелых металлов и микроэлементов в атмосферных выпадениях вокруг полигона твердых бытовых отходов (ТБО), расположенного на 9-м км Вилуйского тракта г. Якутска [1]. Исследование охватило территорию в радиусе 150 км от полигона. Содержание широкого спектра элементов (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, P, Pb, S, Sr, Sb, V, Zn и Hg) в пробах мха определяли методом оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС). В отобранных пробах мхов, лишайников и почвы параллельно проводили анализ на содержание естественных и техногенных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ) методом полупроводниковой гамма-спектрометрии. Данные ИСП-ОЭС показали значительное загрязнение территории, прилегающей к полигону. Выявлены повышенные концентрации элементов, характерных для токсичных отходов: бумажный мусор (Ba); металлический мусор (Al, Co, Cr, Fe, S и Pb). Также в пробах были обнаружены Cd, Cu, Mn, Ni, Sr, V, Zn и Hg. Гамма-спектрометрический анализ подтвердил наличие в образцах техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ , а также дочерних продуктов распада естественных радиоактивных рядов  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Обнаружение сходного набора тяжелых металлов и радионуклидов в атмосферной пыли города Якутска (согласно данным научно-технического отчета «Происхождение и состав пыли на территории МО г. Якутск») и в пробах биоты и почвы вблизи полигона позволяет предположить, что одним из значимых источников загрязнения окружающей среды являются продукты горения отходов на полигоне ТБО на 9-м км Вилуйского тракта. Процесс горения способствует переносу токсичных веществ и радионуклидов в атмосферу с их последующим рассеиванием и выпадением на прилегающие территории.

## Литература

Mamaeva, S.; Frontasyeva, M.; Petrova, K.; Kolodeznikov, V.; Ignatyeva, G.; Zakharov, E.; Kononov, V. Assessment of the Area of Heavy Metals and Radionuclides Deposition on the Environment of the Household Waste Landfill on the 9th km of Vilyuisky Tract in Yakutsk City. Atmosphere 2025, 16, 816. <https://doi.org/10.3390/atmos16070816>



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ БИОИНДИКАЦИИ И БИОМОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Горелова С.В.<sup>а,\*</sup>, Окина О.И.<sup>б</sup>, Фронтасьева М.В.<sup>в</sup>

а) ФГБОУ ВО ТГПУ им. Л.Н. Толстого, г. Тула

б) ФГБУН ГИН РАН, г. Москва

в) ОИЯИ, г. Дубна Московская обл.

E-mail: \*salix35@gmail.com

Как известно, биоиндикация и биомониторинг состояния окружающей среды возможны благодаря использованию разных организмов: как растений, так и животных. Но часто реакции разных видов на одно и то же воздействие являются разнонаправленными в зависимости от устойчивости и направленности биохимических реакций вида или даже сорта. Одни компоненты антиоксидантной системы могут замещаться другими. В связи с этим, важным фактором является определение видов – биомониторов и биоиндикаторов и маркерных признаков, которые могли бы проявляться у выбранных видов однонаправленно при воздействии интенсивного техногенного загрязнения атмосферного воздуха и почв.

Нами в течение более 15 лет были проанализированы различные признаки видов деревьев и кустарников, наиболее часто встречающихся в озеленении урбанизированных экосистем (на примере промышленно загрязненной модельной экосистемы – г. Тулы). Деревья и кустарники и их листья (свежий материал для биохимических анализов и прошедший пробоподготовку – для ИНАА и ААС) анализировались в условиях воздействия промышленных выбросов двух металлургических производств и автотранспортной эмиссии магистральных улиц города. Территория СЗЗ предприятий была загрязнена такими элементами, как Cu, Cr, V, Ni, Zn (Тулачермет) и Pb, Zn, Mn (Косогорский металлургический завод). СЗЗ автомагистралей содержала Pb, Cu, Mn выше уровня ПДК. За фоновую зону была взята территория центрального и Комсомольского парка города, где превышений ПДК и ОДК по токсичным элементам выявлено не было. Проводился анализ жизненности особей, изменения их морфологических и физиологических параметров.

Наибольшее снижение жизненности выявлено у таких видов как: каштан конский обыкновенный, тополь гибридный, туя западная (Глобоза и Коника), клен ясенелистный, клен остролистный, липа сердцевидная; боярышники кроваво-красный и однопестичный. При этом у перечисленных видов наблюдаются некротические изменения листовой пластинки до 18-35 %, а иногда до 45-65 % в



Рисунок 1. Некротические изменения побегов и выпадение растений туи западной из посадок в условиях интенсивного техногенного загрязнения среды.



зависимости от уровня загрязнения почв и вида, которые чаще проявляются в краевых некрозах, иногда в точечных (тополь, боярышники). Наиболее чувствительным к атмосферным выпадениям и токсикантам почв является каштан конский обыкновенный. У туи западной наблюдаются краевые некрозы ветвей и выпадение особей из посадок, которое может достигать 25%.

Изменение физиологических параметров лиственных деревьев лучше отражает состояние окружающей среды у молодых растений 1–3 года после посадки. При этом маркерными признаками являются: снижение содержания хлорофилла а у липы сердцевидной и клена остролистного до 2–2,5 раз, снижение содержания хлорофилла b у каштана конского до 2 раз, увеличение содержания каротиноидов до 6–9 раз у липы сердцевидной, до 3–4 раз у клена остролистного, до 40 % у взрослых растений туи западной (Глобоза) и до 30 % у молодых растений каштана конского.

Хорошим маркерным признаком является содержание низкомолекулярных антиоксидантов – аскорбиновой кислоты (АК) и глутатиона (GSH). Так, у молодых древесных растений липы сердцевидной, клена остролистного и взрослых растений туи западной (Глобоза) в условиях интенсивного техногенного загрязнения воздуха и почв увеличивается содержание АК до 2–3 раз у лиственных пород и до 16 % у туи, GSH – до 2–4 раз у лиственных пород и только на 5 % у туи (Глобоза). При этом у наименее устойчивого вида – каштана конского концентрация АК в условиях техногенного загрязнения снижается до 2,5 раза и глутатиона – до 5 раз.

Изучение биоаккумуляции элементов в растениях позволяет выявить как растения – биоиндикаторы техногенного загрязнения почв, так и растения – биоаккумуляторы токсичных компонентов, которые могут быть использованы для биоремедиации почв. В ходе работы с разными видами кустарников нами было установлено, что боярышники кроваво-красный и однопестичный, виноград амурский, вейгела гибридная и ива сетчатая являются биоиндикаторами загрязнения почв Fe и Pb, спирея иволистная и ива сетчатая – Zn, ирга круглолистная – Mn. Из древесных пород биоиндикатором загрязнения почв Fe и Mn является клен остролистный, Cu и Pb – каштан конский; Mn, Ni и Zn – береза повислая, Fe, Ni, Zn, As – тополь гибридный, Fe – липа сердцевидная, лиственница сибирская, рябина обыкновенная.

Таким образом, для биоиндикации и биомониторинга состояния окружающей среды можно использовать как морфологические признаки древесных (некрозы и хлорозы листа и жизненность), так и их физиологические параметры (содержание фотосинтетических пигментов, низкомолекулярных антиоксидантов – каротиноидов, АК, GSH) и биогеохимические характеристики – накопление токсичных элементов в листьях.



# ФОТОАКТИВАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Кутуков П.С.\* , Румянцева М.Н.

МГУ им. Ломоносова, г. Москва

E-mail: \*kutukovps@my.msu.ru

Существенным недостатком полупроводниковых газовых сенсоров на основе полупроводниковых оксидов является необходимость нагрева чувствительного слоя (термическая активация). Перспективной альтернативой термической активации является фотоактивация УФ-излучением. Данная работа посвящена исследованию процессов, происходящих на поверхности как немодифицированных нанокристаллических оксидов цинка, индия и олова, так и нанокмпозитов на их основе, модифицированных металлическими кластерами (Pd, Pt). Исследование проведено в атмосфере, содержащей NO<sub>2</sub> и летучие органические соединения (ЛОС) – загрязнители атмосферного воздуха ацетон или бензол, методом *in-situ* ИК-спектроскопии диффузного отражения (TR-DRIFTS), а также методами *in-situ* и *operando* масс-спектрометрии. Для режима *operando* была изготовлена специальная проточная ячейка с электродной сеткой (рис. 1). Это позволило регистрировать электрические параметры материала (проводимость, ВАХ, сенсорный сигнал) непосредственно во время масс-спектрометрического эксперимента.

УФ-активация ZnO при детектировании NO<sub>2</sub> приводит к ускорению ионособрции диоксида азота с образованием нитратов, а УФ-активация In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SnO<sub>2</sub>, напротив, приводит к замедлению этого процесса. При этом введение модификаторов (Pt, Pd) приводит к уменьшению эффективной адсорбционной ёмкости поверхности, за счёт формирования контактов Шоттки.

При детектировании ЛОС фотоактивация смещает адсорбционное равновесие газа-аналита, а также ускоряет реакцию окисления ЛОС на поверхности материала.

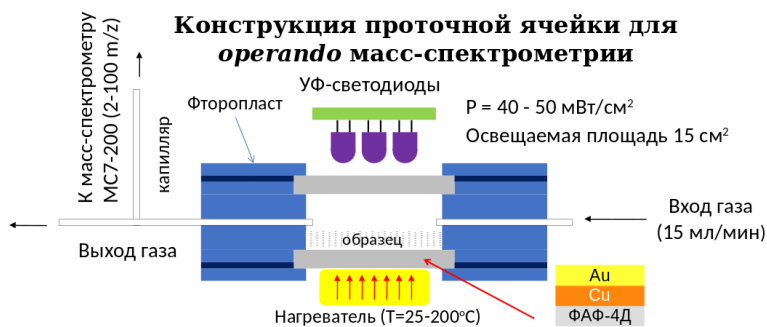


Рисунок 1. Конструкция проточной ячейки для *operando* масс-спектрометрии.

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



# ЛАЗЕРНО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ОНЛАЙН ДИАГНОСТИКИ В ЭКОЛОГИИ И АГРОИНДУСТРИИ

Леднев В.Н.<sup>\*</sup>, Сдвиженский П.А., Першин С.М.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

E-mail: <sup>\*</sup>vasilylednev@gmail.com

Быстрый рост городских агломераций привел к повышенной экологической нагрузке как в парковых зонах, так и в сельскохозяйственных хозяйствах, удаленных от промышленных предприятий. В связи с этим в настоящее время представляет большой интерес разработка новых методов непрерывного автоматизированного мониторинга. Представлены результаты применения методов лазерно-индуцированной плазмы, комбинационного рассеяния света и лазерно-индуцированной флуоресценции для диагностики соответственно химического элементного состава, фазового/молекулярного состава и количества хромофоров в различных объектах. В докладе представлены возможности современных методов лазерного дистанционного зондирования для решения прикладных задач в экологии и сельском хозяйстве. Рассмотрены принципы работы и возможности лидарных систем (LIDAR, LIght Detection And Ranging), разрабатываемых в ИОФ РАН им. А.М. Прохорова. Обсуждаются возможности компактных приборов, способных обеспечивать экспресс-измерения, включая зондирование с различных дронов (т. е. беспилотных летательных аппаратов или морских транспортных средств).

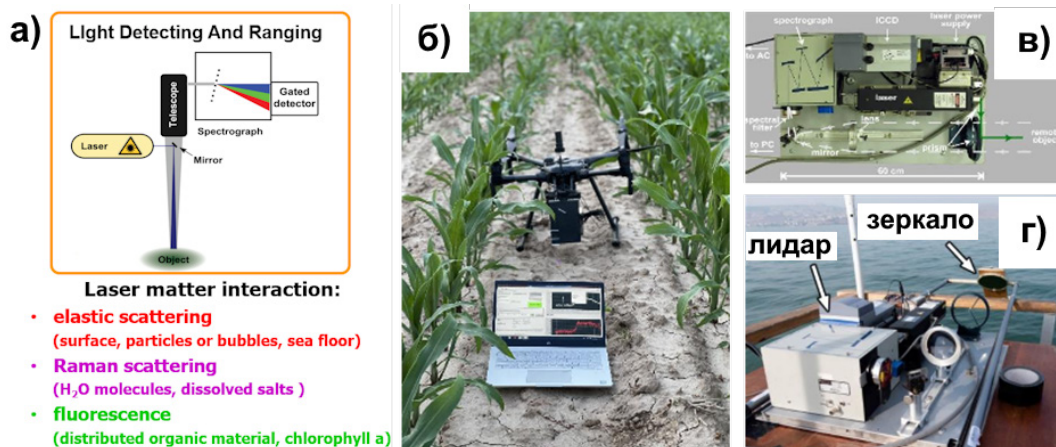


Рисунок 1. Лидарное зондирование: (а) – схема лазерного дистанционного зондирования, (б) – фотографии дрона, с установленным компактным флуоресцентным лидаром, (в) – лидар комбинационного рассеяния света, (г) – измерения акватории с борта платформы.

**Благодарность:** Исследование выполнено за счет средств гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для реализации крупных научных проектов по приоритетным направлениям развития науки и техники (проект 075-15-2024-646).



# СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ВОДЕ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ГИГАНТСКОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ

Самоделова М.В.<sup>\*</sup>, Солонцов И.К., Капитанова О.О., Веселова И.А.

*Химический факультет МГУ, г. Москва*

*E-mail: \*mariya.basowa@yandex.ru*

Рост численности населения и активное развитие аграрного и промышленного комплексов приводят к усилению антропогенного воздействия на биосферу. В результате происходит накопление экотоксикантов различного происхождения в объектах окружающей среды. Многие из этих ксенобиотиков обладают выраженной токсичностью и устойчивостью к разложению, а также способностью к аккумуляции в живых организмах. В связи с этим крайне актуальной становится разработка и внедрение высокочувствительных и экспрессных методов аналитического контроля техногенных загрязнителей. Традиционные инструментальные методы сталкиваются с проблемами трудоемкой пробоподготовки, высокой стоимости анализа и отсутствия возможности для *in situ* детекции.

Одним из перспективных решений для экомониторинга токсикантов является метод спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния (ГКР). Это современный быстроразвивающийся метод анализа, сочетающий селективность рамановской спектроскопии и высокую чувствительность, обеспечиваемую многократным усилением сигнала за счет использования плазмонных металлических структур. Увеличение распространенности компактных рамановских спектрометров и минимальная пробоподготовка делает метод спектроскопии ГКР всё более доступным для определения соединений разной природы на фоне сложной матрицы объектов окружающей среды для экологического мониторинга.

Предложены гибридные сенсорные системы для определения различных техногенных загрязнителей и биологических пигментов в воде с помощью спектроскопии ГКР. Синтезированы сенсорные поверхности с программируемыми спектральными характеристиками, дополнительно функционализированные компонентами, обеспечивающими селективное связывание целевых аналитов, улучшение сродства определяемых веществ с плазмонной подложкой и минимизацию матричных эффектов при исследовании сложных образцов. Связывание определяемых компонентов в окрашенные комплексы позволило достичь дополнительного усиления сигнала за счет эффекта резонансного рамановского рассеяния, а смещение полосы поглощения аналитов сделало возможным направленный выбор длины волны возбуждающего лазерного излучения для максимизации эффекта усиления.

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



# СПЕКТРОСКОПИЯ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Сдвиженский П.А.<sup>\*</sup>, Леднев В.Н., Рогачевская А.В.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

E-mail: <sup>\*</sup>pausdw@gmail.com

В современных условиях роста масштабов хозяйственной деятельности человека особую возрастает актуальность оперативного экологического мониторинга различных объектов, выявления зон загрязнения тяжелыми металлами. Традиционные методы анализа, обладая высокой точностью, требуют сложной пробоподготовки, стационарных лабораторных условий и значительных временных затрат, что ограничивает их применение для экспрессного анализа в полевых условиях.

В таких условиях перспективным является применение метода спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы (СЛИП) (см. рисунок 1) [1]. Метод основан на применении лазерного импульса для создания плазмы на поверхности образца, по эмиссионным спектрам этой плазмы проводят качественный и количественный элементный анализ. Преимущества СЛИП включают высокую скорость анализа, минимальную пробоподготовку, возможность дистанционного и многоэлементного определения состава.

В докладе будет представлен обзор мирового опыта применения спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы для экологического мониторинга. Также будет представлен собственный

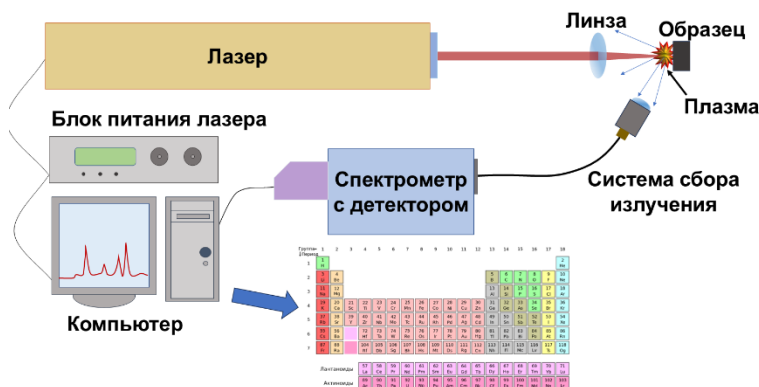


Рисунок 1. Принципиальная схема спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы.

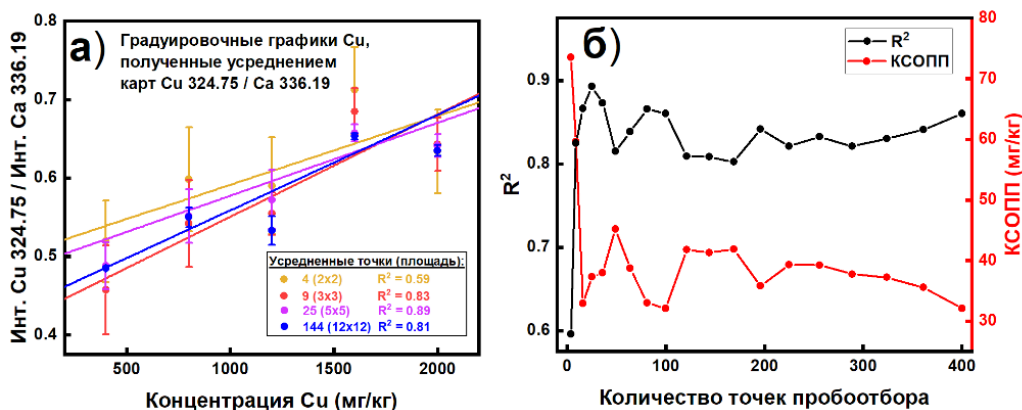


Рисунок 2. (а) – Градуировочные графики для меди в почве, построенные для различного числа точек лазерного пробоотбора (4, 9, 25, 144 точек); (б) – зависимость коэффициента детерминации ( $R^2$ ) (черный цвет) и коэффициента среднеквадратичного отклонения (КСОПП) (красный цвет) от количества усреднения точек лазерного пробоотбора.



опыт авторов по применению спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы для элементного анализа объектов окружающей среды. Будет доложено о разработке и апробации методики количественного определения тяжелых металлов (на примере меди) в почвах, а также о подходах к определению селена – крайне важного микроэлемента в агроиндустрии.

Для проведения количественного анализа меди в почве были отработаны различные подходы к пробоподготовке и проведена оптимизация условий лазерного пробоотбора (области и количества точек пробоотбора) при измерениях методом СЛИП для улучшения чувствительности и точности анализа. Для проведения количественного анализа были построены градуировочные графики с различным количеством точек усреднения (рисунок 2). Оценено влияние количество точек лазерного пробоотбора на аналитические возможности СЛИП.

Продемонстрированные результаты подтверждают высокий потенциал метода СЛИП для решения задач экспресс-мониторинга окружающей среды.

**Благодарность:** Исследование выполнено за счет средств гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для реализации крупных научных проектов по приоритетным направлениям развития науки и техники (проект 075-15-2024-646).

### Литература

1. Cremers D.A., Radziemski L.J. Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. John Wiley & Sons, 2013. 452 с.



## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПАРКОВ МОСКВЫ

*Швецова М.С.<sup>а,\*</sup>, Каманина И.З.<sup>а,б</sup>, Зиньковская И.<sup>а,в</sup>*

*а) Объединённый институт ядерных исследований, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6, Российская Федерация  
E-mail: \*mks@nf.jinr.ru*

*б) Государственный университет «Дубна», 141982, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д.19, Российская Федерация*

*в) Национальный институт исследований и разработок в области физики и ядерной инженерии им. Хория Хулубей, Мэгуреле, ул. Реактор 30, МГ-6, Румыния*

Объектом настоящего исследования были выбраны 7 парков Москвы (Лосиный остров, Измайлово, Парк Победы, Царицыно, Сокольники, Останкино и Кузьминки-Люблино). На территории парков были отобраны листья, почва и проведен активный биомониторинг с применением техники «мох в мешках» [1]. Анализ образцов проводился методами нейтронного активационного анализа и атомной абсорбционной спектроскопии [2]. Для определения наиболее загрязненных участков на территории парков были рассчитаны геохимические показатели (Kс, Zс) [3]. В результате в образцах мха отмечалось увеличение концентраций со временем экспонирования элементов (Pb, Zn, Cu, Sb, V и др.). В образцах листьев, концентрации элементов (V, Mn, Zn, Co, Ni, As, Sb, W, Al и др.) возросли к концу вегетационного периода. В результате санитарно-гигиенической оценки почвенных образцов были выявлены незначительные превышения ОДК As (от 1,1 до 1,7) на трех участках парка Сокольники, первой и третьей точках парка Измайлово (1,3 и 1,4), во второй точке парка Останкино (1,3). Превышение ОДК Cd (1,6) и Zn (1,3) выявлены в первой точке парка «Сокольники». Отмечается аномально высокое накопление сурьмы в компонентах окружающей среды. Коэффициент концентрации (Kс) сурьмы в образцах мха составляет от 18,5 до 58,0, в листьях от 1,4 до 52,0 в почвах от 1,6 до 9,1. Комплексная эколого-геохимическая оценка (по состоянию трех компонентов окружающей среды) позволила ранжировать по уровню загрязнения территории рекреационных зон Москвы и выявить основные загрязнители.

### Литература

1. A. I. Madadzada, W. M., Hajiyeva, S. R., Veliyeva, et al. // Microchemical Journal. - P. 605-614 (2019)
2. S.S. Pavlov, A.Y. Dmitriev, M.V. Frontasyeva // J Radioanal Nucl Chem. V.309(1), (2016)
3. Н.С. Касимов // М.: ИП Филимонов М.В. (2013)



# МАГНИТО-РЕЛАКСОМЕТРИЧЕСКИЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА Gd/EU-СОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРОВ В ПРИСУТСТВИИ ФОСФАТОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Васильев В.А.<sup>а,б,\*</sup>, Довженко А.П.<sup>б,&</sup>, Корнев Т.А.<sup>а,б</sup>, Заиров Р.Р.<sup>а,б</sup>

*а) Химический институт им. А.М. Бутлерова, КФУ, г. Казань*

*б) ИОФХ им. А. Е. Арбузова, ОСП ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань*

*E-mail: \*vasiliev.lpcss@gmail.com, &aleksej\_dovghenko@mail.ru*

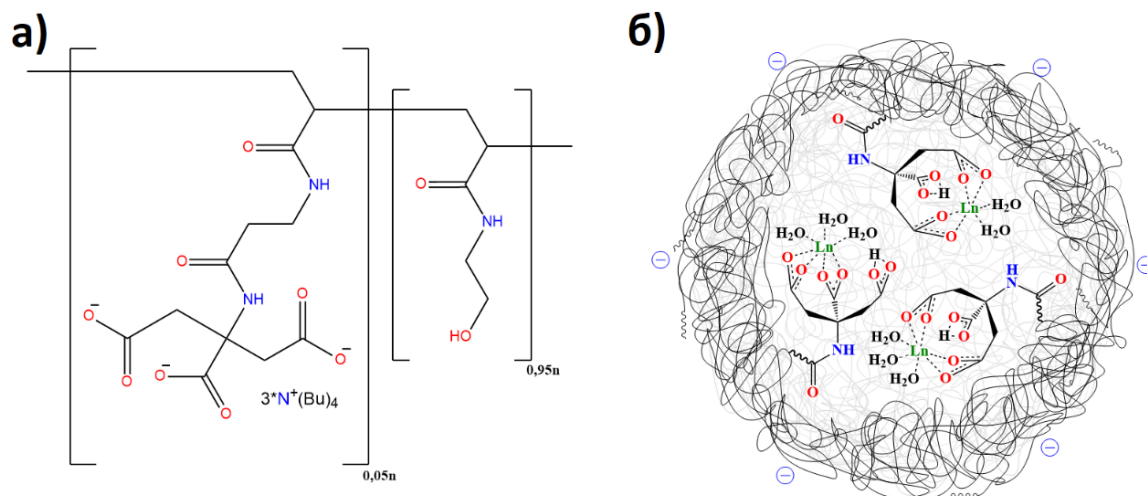
Полиэлектролиты играют значительную роль в разработке различных наноматериалов, в том числе носителей лекарств, терапевтических и противовирусных средств, сенсоров [1].

Лантаноиды известны своими фотофизическими характеристиками, в частности  $Gd^{3+}$ , благодаря наличию семи неспаренных электронов на f-подуровне, обладает выдающимися парамагнитными свойствами, а соединения  $Eu^{3+}$  проявляют характерную люминесценцию в красной области спектра.

Включение ионов лантаноидов в состав полиэлектролитных капсул позволяет создавать новые металлополимеры, обладающие уникальными сенсорными свойствами [2]. Изучение процессов координации и изменений в конформации полимерной цепи при варьировании различных параметров системы необходимо для разработки новых функциональных наноматериалов на основе полиэлектролитов.

В рамках данной работы был рассмотрен новый полиэлектролит р(CMDAA-со-HEAA), функционализированный амидными и трикарбоновыми группами, и его особенности координации с ионами  $Ln^{3+}$  (Рисунок 1). Внутрисферная координация и внешнесферное экранирование полимерными функциональными группами обеспечивают значительное усиление люминесценции ионов  $Eu^{3+}$  и увеличение значений продольной и поперечной релаксивности связанных ионов  $Gd^{3+}$  до 50 и 60  $mM^{-1}s^{-1}$  соответственно.

Изменения структуры наночастиц металлополимера, индуцированные изменениями pH среды, гидролиз ионов лантаноидов и изменения в соотношении связывания ионов лантаноидов были изучены методами динамического рассеяния света, просвечивающей электронной микроскопии, а также путём анализа люминесценции и магнитной релаксации протонов воды металлополимеров на основе  $Eu^{3+}$  и  $Gd^{3+}$  соответственно.



**Рисунок 1.** а) Молекулярная структура полимерной цепи р(CMDAA-со-HEAA);  
 б) Схематическая демонстрация координации ионов  $Ln^{3+}$  в металлополимерах.



Было продемонстрировано, что магнитно-релаксометрические характеристики металлополимера с включением  $Gd^{3+}$  более чувствительны к присутствию анионов  $HPO_4^{2-}$  и АТФ в сравнении с другими фосфатами, в то время как для металлополимеров на основе  $Eu^{3+}$  отклик люминесценции более выражен для АМФ. Данный эффект можно объяснить взаимодействиями, связанными с образованием тройных комплексов фосфат-лантаноид-полимер и отщеплением ионов лантаноидов от молекул полиэлектролита.

Факт того, что фосфаты влияют на люминесцентные и магнитно-релаксационные характеристики металлополимеров различным образом, может лечь в основу сенсорики на фосфат-ионы как в водных растворах, так и в составе полимерных тест-полосок.

**Благодарность:** Исследование выполнено при поддержке ПРИОРИТЕТ 2030

#### Литература

1. S.E. Herrera, M.L. Agazzi, E. Apuzzo et al. // *Soft Matter*, V.19, №11, 2013–2041 (2023).
2. J.M. Stanley, B.J. Holliday // *Coordination Chemistry Reviews*, V.256, №15–16, 1520–1530 (2012).





## ЭФФЕКТ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ПОЛЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОТ ВЫСОКИХ И НИЗКИХ ИСТОЧНИКОВ

Миллер Е.А.<sup>а,\*</sup>, Лукьянов А.Н.<sup>б</sup>, Баранов Н.А.<sup>в</sup>, Лезина Е.А.<sup>г</sup>, Зацепина О.Ю.<sup>д</sup>

*а) ООО«НПО»АТТЕХ», г. Долгопрудный*

*б) ФГБУ Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный*

*в) Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, г. Москва*

*г) ГПБУ «Мосэкомониторинг», г. Москва*

*д) «Экология» ГК Экостандарт*

*E-mail: \*rpo.attex@yandex.ru*

Задачи расчета полей диффузии концентраций от источников как городских, так и промышленных эмиссий загрязняющих веществ (ЗВ) в режиме экспертизы событий и в реальном времени не теряют своей актуальности. За последние десятилетия Гауссова модель атмосферной диффузии нашла широкое распространение на практике в силу своей простоты и прозрачности получения результатов [1]. Данная модель рекомендована для практического применения всеми международными организациями, включая Всемирную метеорологическую организацию (ВМО), Всемирную организацию здравоохранения (ВОЗ), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) и др. Ее преимущество перед другими моделями заключается в простоте и возможности расчетов без подключения к внешним серверам данных, беспрецедентном объеме использованного экспериментального материала и апробированности практически во всех регионах мира [2–5]. Выходными параметрами модели на расстоянии от источника до 10 км являются 3-х мерные поля концентрации ЗВ, у которых сравнительно высокая точность при достаточно простой параметризации всего многообразия влияющих на рассеяние и перенос ЗВ параметров [6]. Модель связывает интенсивность выброса постоянных высоких и низких источников эмиссий, с измеренной концентрацией в точке контроля при конкретных метеорологических условиях таких, как параметры температурной стратификации и характеристики ветра.

В случае доступности прямых измерений динамики температурной стратификации и ветра модель позволяет получить поля концентраций в режиме реального времени, учитывать суточную динамику условий накопления и с прогнозом сезонной статистики для места локации источников.

Технология расчета полей концентраций, по реальным измерениям температурной стратификации на основе данных метеорологических температурных профиломеров МТР-5 в приземном слое атмосферы и ветра у поверхности, была проверена по данным постов контроля уровня загрязнений и адаптирована к особенностям Московского мегаполиса в задачах ГПБУ «Мосэкомониторинг» в 2025 году. Дополнительно, проверялась технология расчета обратных факелов, которая определяет область вероятных эмиссий, формирующих концентрацию загрязнителя в точке контроля уровня загрязнений. Особое внимание уделялось решению задачи определения величины конкретного вклада каждого из потенциальных источников в измеренные показания концентраций на постах контроля загрязняющих веществ, что особенно важно для оценки эффективности природоохранных мероприятий и разделения ответственности в промышленных городах.

Основные результаты и технология адаптации представлены в докладе. В результате сочетания контроля метеорологических условий накопления и рассеяния ЗВ в приземном слое с расчетами 3х мерных полей концентраций в режиме реального времени доступно формирование планов природоохранных мероприятий промышленного города для конкретных локальных условий с целью недопущения критических уровней загрязнений, которые приводят к введению экстренных режимов по неблагоприятным метеорологическим условиям.

### Литература

1. Е.В.Харченко. Использование математических моделей переноса и рассеяния радионуклидов в атмосфере для управления рисками на стадии проектирования атомных электростанций: дис. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: -ФГБОУ высшего профессионального образования «российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, 2015. - 117 с.



2. Серия изданий по безопасности № 50-SG-S3. Руководства МАГАТЭ по безопасности. - Вена, 1982. – 105 с.
3. НТД 38.220.56-84 “Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения”. Часть 1. Приложения. - МХО Интератомэнерго, М., Энергоатомиздат, 1984 – 168 с.
4. Методы расчета распределения радиоактивных веществ в атмосфере и доз облучения населения. НТД МХО. - М., 1992 – 333 с.
5. Методические указания по расчету радиационной обстановки в окружающей среде и ожидаемого облучения населения при кратковременных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу (МПА-98). - Минатом России. М., 1999 – 127 с.
6. Гаврилов А.С., 1992, Экологический программный комплекс для персональных ЭВМ. Санкт-Петербург, Гидрометеониздат.



## АКТИВНЫЙ БИОМОНИТОРИНГ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В БИОИНДИКАТОРАХ, ЭКСПОНИРОВАННЫХ В ЯРОСЛАВЛЕ И ЭЛЕКТРОСТАЛИ, РОССИЯ

Вергель К.Н.<sup>\*</sup>, Зиньковская И.И., Чалигава О., Юшин Н.С.

*Объединенный институт ядерных исследований Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка  
Сектор нейтронного и активационного анализа и прикладных исследований, г. Дубна*

*E-mail: <sup>\*</sup>verkn@mail.ru*

Изучение воздействия промышленных предприятий на окружающую среду имеет важное значение для поддержания условий жизни и здоровья населения. Для оценки воздействия были проведены исследования загрязнения воздуха, вызванного двумя промышленными площадками. Летом 2022 и 2023 годов мешочки со мхом были размещены вокруг двух промышленных зон: нефтеперерабатывающего завода в Ярославле и промышленной зоны в Электростали. С помощью двух аналитических методов было определено содержание 15 элементов (Al, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, P, Pb, Sr, S, V, Zn и Hg). Практически на всех участках исследования наблюдались различные уровни накопления элементов, при этом наиболее интенсивное накопление наблюдалось в районе промышленной зоны Электростали. Для оценки степени аккумуляции загрязнителей мхами и выделения групп элементов, способствующих загрязнению воздуха, использовались коэффициент накопления (RAF) и коэффициент загрязнения (CF). Анализ главных компонентов выявил две группы элементов с общими источниками происхождения, связанными в основном с металлургической деятельностью, нефтепереработкой и транспортом. Кроме того, для оценки рисков для здоровья человека был рассчитан индекс потенциального экологического риска, продемонстрировавший различия в воздействии на окружающую среду двух промышленных предприятий.



# ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ДЫХАНИЯ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ПОЧВ УГЛЕОТВАЛОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ РЕМЕДИАЦИИ

Барсукова С.А., Пуликова Е.П., Горовцов А.В., Минкина Т.М.

Южный Федеральный Университет, г. Ростов-на-Дону

E-mail: [sonya.barsukova03@gmail.com](mailto:sonya.barsukova03@gmail.com)

В условиях интенсивного антропогенного воздействия одной из экологических проблем становится загрязнение тяжелыми металлами (ТМ) и полиароматическими углеводородами (ПАУ) почвенного покрова. Предприятия угледобывающей промышленности являются одними из основных источников загрязнения.

Для восстановления почвенного покрова территорий угледобывающей промышленности разработано множество методов, среди которых всё более востребованным становится применение углеродистых сорбентов (биочара). В настоящее время также является высокоэффективным их сочетание со штаммами микроорганизмов [3]. Оценка биологической активности почв имеет особую важность, поскольку она служит индикатором их экологического состояния и позволяет контролировать эффективность ремедиации [2].

Объектом данного исследования являлась техногенно нарушенная почва, расположенная на подножье породного углеотвала шахты им. В. И. Ленина в г. Новошахтинск. В качестве фоновой почвы был чернозем обыкновенный карбонатный ООПТ Персиановской заповедной степи. В загрязненную почву углеотвала им. В. И. Ленина вносили 2,5% биочара: древесный (Бдр); из соломы пшеницы (Бс); инокулированный нитрификаторами (БН); инокулированный ПАУ-деструкторами, а именно *Enterobacter ludwigii* (БП); инокулированный и нитрификаторами, и ПАУ-деструкторами (ББ). После внесения данных компонентов почва помещалась в вегетационные сосуды, увлажнялась до 60% полной влагоемкости и инкубировалась в течение 65 дней, после чего производили отбор проб почв для проведения анализа.

В ходе исследования были определены базальное (БД) и субстрат-индуцированное дыхание (СИД). При анализе БД 1,5 грамма почвы помещали в флакон, добавляли 0,15 мл дистиллированную воду, герметично закрывали, инкубировали 24 часа. Затем пробу воздуха из флакона отбирали шприцем, вводили в газовый хроматограф «Хроматэк-Кристалл 5000» с детектором теплопроводности,

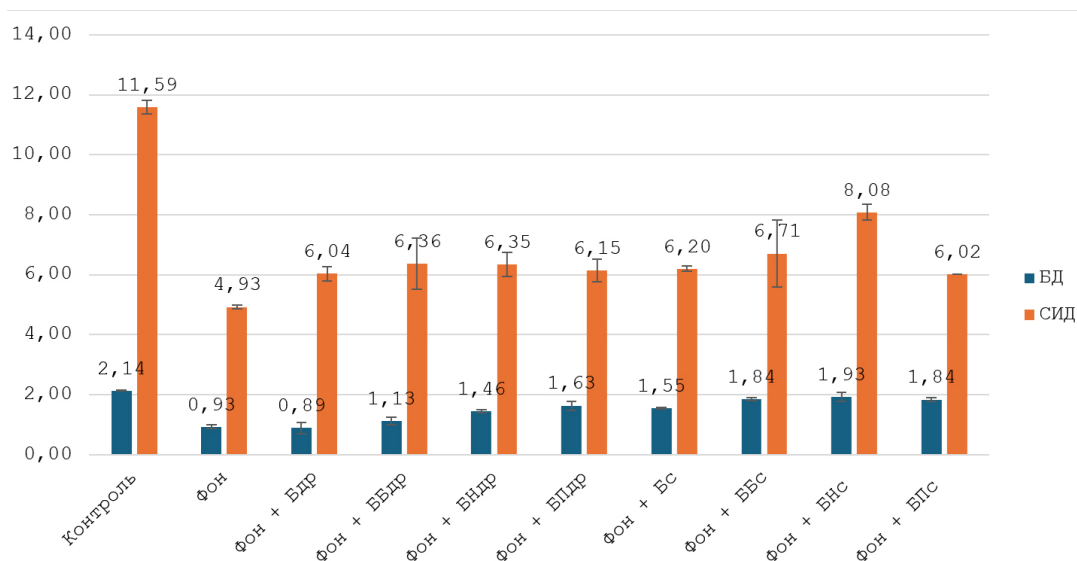


Рисунок 1. Результаты определения БД при ремедиации техногенно нарушенных почв углеотвалов.



для регистрации пика  $\text{CO}_2$ . При определении СИД во флакон вносили 0,15 мл 1% глюкозу, а срок инкубации составлял 4 часа [1].

Было выявлено значительное подавление БД и СИД в загрязненной почве, что меньше фоновых значений в 2,3 раза (рис. 1). Дальнейшее внесение углеродистых сорбентов способствовало увеличению выделения  $\text{CO}_2$ , что свидетельствует о восстановлении микробной активности почвы. При внесении древесного биочара наибольшее повышение активности наблюдалось в варианте с инокулированными нитрификаторами и ПАУ-деструкторами – БД увеличивалось в 1,22 раза, а СИД в 1,29 раза.

Наибольший эффект наблюдался при использовании сорбента, изготовленного из соломы пшеницы, инокулированного нитрифицирующими микроорганизмами. В этом случае БД увеличивалось в 2,1 раза, а СИД – в 1,6 раза по сравнению с фоновыми значениями, что свидетельствует об улучшении биологического состояния почвы под действием данного сорбента.

Таким образом, обнаружено, что загрязнение значительно снижает микробиологическую активность почвы. Внесение углеродистых сорбентов оказывает положительное влияние на микробное сообщество, способствуя восстановлению биологических процессов, что подтверждается ростом выделения  $\text{CO}_2$ . Максимальная эффективность наблюдалась при внесении сорбента, приготовленного из соломы пшеницы и инокулированного нитрификаторами.

**Благодарность:** Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение No 075-15-2023-587.

#### Литература

1. Ананьева Н. Д., Сусьян Е. А., Гавриленко Е. Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. – 2011. – №. 11. – С. 1327-1333.
2. Гринев Л. В., Сенькова Л. А., Мингалев С. К. Биологическая активность почвы // Аграрное образование и наука. – 2019. – №. 2. – С. 14.
3. Song B., Zeng G., Gong J., Liang J., Xu P., Liu Z., Ye S., Ren, X. Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals // Environment international. – 2017. – V. 105. – P. 43-55.



# КОНТРОЛЬ МИКРОКЛИМАТА КАК МЕРА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

**Иванов А.В.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»,  
г. Москва*

*E-mail: ivnv.arthur@yandex.ru*

В условиях реализации национального проекта «Экологическое благополучие» и федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» [1] особое значение приобретает предотвращение образования отходов у источника, особенно в промышленных городах с высокой концентрацией обрабатывающих производств. На предприятиях электронного приборостроения значительная доля технологических отходов (III класс опасности по ФККО) формируется не из-за несовершенства технологий, а вследствие нестабильных параметров микроклимата. В первую очередь, повышенной относительной влажности. На примере производственного участка площадью 18 м<sup>2</sup> (6×3 м) показано, что при температуре 26 °С и влажности 68 % доля брака составляет 4,8 %, что соответствует 36,0 кг опасных отходов в год. Основные дефекты: непропай (32 %), коррозия контактных площадок (25 %), смещение компонентов (18 %). Данные дефекты напрямую связаны с избыточной влажностью. После внедрения оптимизированного режима (Т = 24 °С, φ = 48 %) доля брака снизилась до 2,1 %, а объем отходов – до 15,75 кг/год, что дало снижение на 20,25 кг/год. Стабилизация микроклимата является простой, низкочастотной и высокоэффективной мерой предотвращения отходов, способствующей выполнению отраслевого целевого показателя вовлечения промышленных отходов в хозяйственный оборот (≥34 % к 2030 г.). Подход может быть масштабирован на другие производства и интегрирован в системы экологического менеджмента промышленных предприятий.

## Литература

1. Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла» // Правительство Российской Федерации. URL: <https://government.ru> (дата обращения: 08.10.2025).
2. Гашникова, Ю. А. Разработка математических моделей и решение оптимизационной задачи для выбора наилучшего проектного варианта организации работы участка лакирования и сушки изделий / Ю. А. Гашникова, Е. В. Алексеева, С. Г. Матвеев // Тринадцатые Чарновские чтения : сборник трудов XIII Всероссийской научной конференции по организации производства, Москва, 01 декабря 2023 года. – Москва: Некоммерческое партнерство Объединение контроллеров, 2023. – С. 15-23. – EDN EXXEQZ.
3. Адамова, А. А. Интеллектуальные методы системного управления технологичностью / А. А. Адамова // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2024. – Т. 1. – С. 120-127. – EDN LOHTCM.



## ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Дьяченко В.В.<sup>а</sup>, Девисилов В.А.<sup>б</sup>, Тимошенко Ф.А.<sup>б,\*</sup>, Шеманин В.Г.<sup>в</sup>

*а) Новороссийский политехнический институт – филиал Кубанского государственного технологического университета, г. Новороссийск*

*б) Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, г. Москва*

*в) Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск*

*E-mail: \*tfedor03@gmail.com, &devisilov@bmstu.ru*

Актуальность задач мониторинга качества атмосферного воздуха обусловлена растущим уровнем антропогенного воздействия на окружающую среду и влиянием загрязняющих веществ на здоровье людей и экологическую безопасность, что особенно характерно для городов и крупных промышленных агломераций. Традиционные методы анализа загрязнений, основанные на отборе проб с последующей отправкой в лаборатории для обработки данных, обладают рядом недостатков: временные затраты для анализа, отсутствие возможности отслеживания быстропротекающих процессов в режиме реального времени.

Современная система мониторинга атмосферы в России, осуществляемая Росгидрометом, основывается на использовании как устаревших, так и передовых методов. С одной стороны, до сих пор широко практикуется отбор проб 3-4 раза в сутки с последующей обработкой в аккредитованных лабораториях, что неэффективно из-за отсутствия оперативности анализа. С другой стороны, создают и развиваются станции точечного автоматического контроля, которые осуществляют непрерывные измерения, фиксируя разовые и усредненные значения концентраций веществ с высокой временной частотой.

Однако использования автоматических станций имеет существенный недостаток – «точечный характер» анализа. Это не позволяет оценить в полном объеме пространственную неоднородность загрязнений в атмосферном воздухе, оперативно идентифицировать источник выбросов и отследить траекторию переноса загрязняющих веществ.

Существуют сети стационарных постов, которые, благодаря разработанным математическим моделям, могут построить поля рассеивания загрязняющих веществ, а также решить обратную задачу – найти источник выбросов. Их применение позволит оперативно отслеживать концентрации в режиме реального времени и обрабатывать большое количество данных. Недостатком является сложность создания математических моделей для расчетов, определенные условия размещения, подведение электроснабжения, а также перекрестная чувствительность электрохимических сенсоров, которые используются в газоанализаторах, установленных в постах. Несмотря на применение разнообразного математического аппарата для компенсации перекрестной чувствительности, включая численные методы и алгоритмы оптимизации, фундаментальная сложность заключается в отсутствии общепринятой методологии учета многофакторных атмосферных воздействий. Это ограничение сохраняет принципиальную неразрешимость задачи в рамках существующих подходов [1].

В свете выявленных проблем существующих систем мониторинга, разработка и внедрение новых аналитических методов, способных обеспечить непрерывный, пространственно-детализированный контроль с расширенным перечнем параметров, становится насущной необходимостью. Этим критериям в полной мере отвечают технологии лазерного зондирования атмосферы [2, 3].

Ключевым преимуществом лазерных методов, таких как лидар (Lidar – Light Detection and Ranging), является их способность проводить дистанционные измерения в режиме реального времени, а также высокая избирательность. Уникальность спектральных характеристик молекул позволяет прибору осуществлять селективное детектирование целевых веществ, эффективно нивелируя влияние посторонних компонентов в воздушной среде. Возможность лидарных систем проводить дистанционный спектральный анализ открыла новые горизонты для исследований [3]. Метод успешно применяется в широком спектре задач: от высокоточного наземного мониторинга малых газовых компонентов атмосферы до аэрокосмического зондирования акваторий морей и океанов.





Особую значимость имеет применение этих технологий для контроля аэрозольного загрязнения [4]. Оптические пылемеры, основанные на лазерном рассеянии, способны с высочайшей частотой фиксировать концентрации взвешенных частиц PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>, представляющих наибольшую опасность для здоровья человека. Такая оперативность позволяет не просто констатировать факт превышения, но и в режиме, близком к реальному времени, идентифицировать источник пылеобразования и проследить динамику распространения загрязнения.

Существующая система Росгидромета, сочетающая ручной отбор проб и точечные автоматические станции, не позволяет осуществлять оперативный пространственно-распределенный контроль качества воздушной среды. Хотя современные сети стационарных постов с математическим моделированием частично решают эту задачу, они требуют сложных расчетов и имеют технические ограничения.

В этой связи технологии лазерного зондирования атмосферы представляются наиболее перспективным направлением развития мониторинговых систем. В работе обосновывается возможность контроля загрязнения атмосферы как промышленными загрязнениями, так и содержания и концентрации климатически активных газов. Выполнен аналитический анализ, представлены схемы лидарных систем и их аппаратного оснащения.

#### **Литература**

1. Коротченко И.В., Брежнева Е.О., Бондарь О.Г. Методы обработки сигналов газочувствительных датчиков в многокомпонентных газоанализаторах. 2016. С. 51-58.
2. Привалов В.Е. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы / В.Е. Привалов, А.Э. Фотиади, В.Г. Шеманин – СПб.: Издательство «Лань», 2012. 288 с.
3. Дьяченко В.В., Шеманин В.Г. Лидарный мониторинг парниковых газов в атмосфере. Новороссийск: Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, 2022. №4. С. 15-29.
4. Девисилов В. А., Дьяченко В. В., Шеманин В. Г. Лидарная технология измерения климатически активных газов для карбоновых полигонов // Экология и промышленность России, 2023 Т. 27 № 6 С. 30-35.





## ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА НА ДЕГРАДАЦИЮ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ХЕМОЗЕМЕ

Немцева А.А.\* , Дудникова Т.С., Барбашев А.И., Сушкова С.Н., Шуваев Е.Г.,  
Антоненко Е.М.

*Южный федеральный университет*

*E-mail: \*annemceva@srfedu.ru*

В условиях возрастающей промышленной нагрузки увеличивается степень вредоносного воздействия на окружающую среду, в том числе и почву. Одну из наиболее серьезных угроз представляет поступление в почву полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) – стойких органических загрязнителей, обладающих выраженной канцерогенной, мутагенной и тератогенной активностью. Агентством по охране окружающей среды США (U.S. Environmental Protection Agency) 16 представителей группы были внесены в список приоритетных загрязнителей. В России содержание в почве нормируется только для бенз(а)пирена (БаП). Его предельно допустимая концентрация (ПДК) составляет 20 нг/г [5]. ПАУ представляют собой серьезную экологическую проблему при их накоплении в местах размещения твердых бытовых отходов (ТБО) и промышленных стоков. Наибольшую опасность несут сточные воды нефтеперерабатывающих и коксохимических производств, где концентрации ПАУ могут превышать фоновые значения в сотни раз [3]. Даже после прекращения деятельности предприятий ПАУ десятилетиями сохраняются в почвах благодаря процессу «старения», в ходе которого загрязнители мигрируют вглубь почвенной матрицы и прочно сорбируются в нанопорах, становясь малодоступными для микробной деградации. Дополнительную актуальность проблеме придает риск миграции ПАУ в сельскохозяйственные культуры, что требует поиска эффективных и безопасных способов ремедиации. В отличие от энергоемких и длительных методов, таких как термическая десорбция, промывка почв и фиторемедиация перспективным направлением является применение сорбентов, в частности биочара. Биочар, получаемый путем пиролиза биомассы, представляет собой высокопористый высокоуглеродистый материал, что обуславливает его высокую сорбционную емкость и стабильность.

Цель работы состояла в оценке эффективности применения биочара, полученного из шелухи риса на содержание ПАУ в хемоземе. Эксперимент проводили с двумя образцами почв. В качестве образца незагрязненной почвы использовали верхний слой (0–20 см) чернозема обыкновенного карбонатного, отобранного на территории ООПТ «Персиановская степь» (Ростовской область), а в качестве загрязненной почвы использовали образец хемозема, отобранный на территории бывшего хранилища жидких промышленных стоков предприятия легкой промышленности, расположенного в пределах озера Атаманского. В 50-е годы прошлого века активное промышленное развитие в районе города Каменск-Шахтинский привело к формированию крупного промышленного центра с химическими предприятиями. Вследствие этого, в долине реки Северский Донец появились пруды-отстойники и шламонакопители, которые использовались до 90-х гг. Аварийные выбросы, а также систематические промышленные сбросы в пойменные озера привели к уничтожению пойменных ландшафтов [1]. В настоящее время такие озера служат вторичным источником загрязнения. Итогом длительного сброса отходов с химических заводов стало поднятие уровня грунтовых вод и как следствие заболачивание почв, что существенно повлияло на миграцию опасных поллютантов [1]. Отбор проб почвы осуществлялся согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017 с глубины 0–20 см [2].

Отобранную почву высушивали на воздухе, очищали от растительных остатков и других включений, перетирали в фарфоровой ступке и пропускали через сито с диаметром отверстий 1 мм, помещали в сосуды объемом 2 л. Далее в почву вносился биочар, изготовленный путем ступенчатого пиролиза шелухи риса при температуре 500°C, скорости нагрева 15°C/сек, и конечном времени выдержки 30 минут. После чего почву инкубировали в течение 6 месяцев. Схема опыта включала: контроль (лугово-черноземная почва), хемозем, хемозем с внесенным биочаром. Полученный биочар вносили в количестве 5 % от массы почвы. Повторность опыта трехкратная.

Извлечение поллютантов из образцов почвы и растений проведено по методу ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.62-09 с заменой опасного растворителя этоксиэтана на менее опасный гексан [4]. Содержание ПАУ определено методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260. Для оценки устойчивости и персистентности загрязнения во времени были рассчитаны период полураспада и константа скорости разложения ПАУ по следующим формулам:

$$K_s = -\ln[(C_t/C_{исх})/t], \quad (1)$$

где  $C_{исх}$  и  $C_t$  – концентрации бенз(а)пирена в почве, исходная и в момент отбора образца эксперимента, – год.

$$T_{50} = 0.693/K_s. \quad (2)$$

Установлено, что в незагрязненной почве суммарное содержание приоритетных ПАУ составляет 323 нг/г. Содержание бенз(а)пирена не превышает ПДК, составляя 17 нг/г. В хемоземе, отобранном с территории бывшего шламонакопителя содержание ПАУ составляет 6404 нг/г, что превышает контрольные значения в 20 раз. Содержание БаП достигает 744 нг/г, что превышает ПДК в 37 раз. В составе ПАУ преобладают наиболее опасные высокомолекулярные соединения, такие как бенз(б)флуорантен, пирен и дибенз(а, h)антрацен. Перечисленные полиарены, за исключением дибенз(а, h)антрацена являются индикаторами техногенеза [6].

Применение биочара в дозе 5% от массы почвы за 6 месяцев позволило снизить суммарное содержание ПАУ в загрязненной почве в 3,7 раза – до 1732 нг/г. Внесение сорбента также способствовало снижению концентрации БаП на 72% – до 204 нг/г. Результаты расчета кинетических параметров разложения поллютантов показали, что константа разложения суммы ПАУ в контроле и необработанном хемоземе крайне низка – 0,13 и 0,24 соответственно, что свидетельствует о медленном естественном разложении. Внесение биочара в хемозем способствует увеличению константы разложения до 4,60, что указывает на способность используемого сорбента стимулировать биodeградацию ПАУ. Обратная тенденция отмечается для значений периода полураспада – применение биочара из шелухи риса способствовало снижению времени разложения суммы ПАУ с 3 лет до 2 месяцев.

В результате исследования установлено, что суммарное содержание полиаренов в хемоземе достигает 6404 нг/г, что превышает контрольные значения в 20 раз. Внесение сорбента в дозе 5% от массы почвы способствовало снижению суммарного содержания ПАУ на 75% – с 6404 нг/г до 1732 нг/г, а также снижению содержания бенз(а)пирена до 72 %. Выявлено, что внесение сорбента в хемозем принципиально изменяет кинетику разложения поллютантов, сокращая период полураспада с 3 лет до 2 месяцев. Полученные результаты свидетельствуют о способности биочара не только эффективно сорбировать загрязняющие вещества, но и существенно ускорять процессы их естественной деградации, что особенно важно при ремедиации почв, подверженных длительному техногенному воздействию.

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России, Соглашение № 075-15-2023-587, Соглашение № 075-15-2025-667) на оборудовании ЦКП «Биоинженерия почв», а также при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

#### Литература

1. Бауэр Т.В., Линник В.Г., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Невидомская Д.Г. Эколого-геохимические исследования техногенных почв в пойменных ландшафтах Северского Донца (бассейн Нижнего Дона) // Геохимия. – 2018. – № 10. – С. 956–966.
2. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. ПОЧВЫ. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: введ. 01.01.2019. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 9 с.
3. Журавлева Н.В. Методы оценки влияния процессов добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды // Вестн. науч. центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – № 4.
4. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.62-09 Количественный химический анализ почв //Методика выполнения измерений массовых долей полициклических ароматических углеводородов в почвах, донных отложениях, осадках сточных вод и отходах производства и потребления методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. – М.: Стандартинформ, 2009. – 11 с
5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Постановление главного государственного санитарного врача РФ от № 2 28.01.2021 г.
6. Хаустов А.П., Редина М.М. Индикаторные соотношения концентраций полициклических ароматических углеводородов для геоэкологических исследований природных и техногенных объектов // Геоэкология. Инженерная геоэкология, гидрогеология, геокриология. – 2016. – № 3. – С. 220–233.

# МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ: ВИДОВОЙ СОСТАВ И ЧИСЛЕННОСТЬ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ

Нестёркина Д.Д.\*, Глинская Е.В.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
имени Н. Г. Чернышевского, биологический факультет, Саратов, Россия

E-mail: \*nesterkina.darya@yandex.ru

Почва играет ключевую роль в поддержании биоразнообразия и устойчивости экосистем. Антропогенное воздействие снижает её продуктивность и ухудшает состояние окружающей среды [1]. Микроорганизмы играют ключевую роль в формировании почвенных биогеоценозов и поддерживают естественный баланс, участвуя в трансформации различных загрязняющих веществ, включая нефть и нефтепродукты, поэтому важно осуществлять систематический микробиологический мониторинг техногенно измененных почв [2].

Цель исследования – оценка численности и видового состава углеводородокисляющих бактерий антропогенно нарушенных территорий.

Объект исследования – 16 почвенных проб, отобранных из окрестностей села Духовницкое, Саратовской области [5]. Оно известно высоким уровнем развития аграрного сектора и промышленности. Следовательно, необходимо регулярно осуществлять микробиологическое исследование почв этого района [6].

Для выявления количества углеводородокисляющих микроорганизмов применялся метод серийных разведений почвенных образцов с последующим посевом на твердые питательные среды.

Выделение углеводородокисляющих микроорганизмов осуществляли на селективной среде М9 ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  – 6,0 г/л,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 3,0 г/л,  $\text{NaCl}$  – 0,5 г/л,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 1,0 г/л, агар – 20 г/л), с добавлением вазелинового масла в качестве единственного источника углеродного питания, а также на питательной среде Бушнелла-Ханса ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 1 г/л,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,2 г/л,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 0,02 г/л, цитрат железа – 0,001 г/л) с добавлением вазелинового масла в качестве единственного источника углеродного питания [7].

Идентификацию проводили по определителю бактерий Берджи путем анализа фенотипических признаков [8]. Также применяли метод MALDI-ToF масс-спектрометрии.

Анализ количественных показателей углеводородокисляющих почвенных бактерий показал, что наиболее высокая численность данных микроорганизмов (7,0 lg КОЕ/ г почвы) выявлена в образцах, отобранных в зонах расположения административного корпуса, озеленённой части парка и прилегающей к многоквартирному дому территории.

А в пробе, взятой на озеленённом участке между частными жилыми постройками, напротив, микроорганизмы, способные метаболизировать углеводороды, обнаружены не были.

Также была проведена работа по определению изолятов, в результате которой идентифицировано 13 штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов: *Bacillus amyloliquefaciens* 21, *B. clausii* 3, *B. clausii* 13, *B. clausii* 16, *B. holopilus* 12, *B. halodurans* 30, *B. mycoides* 40, *B. mycoides* 45, *B. niacini* 20, *B. thuringiensis* 50, *Streptomyces badius* 2, *S. badius* 25.

Большая часть выделенных бактерий, принадлежала к роду *Bacillus*. Согласно литературным источникам, эти бактерии отличаются наличием обширного набора ферментов, благодаря которым они способны усваивать различные органические вещества и интегрировать их в свои обменные процессы [1].

Также были идентифицированы изоляты, принадлежащие к роду *Streptomyces*. Вторичные метаболиты этого рода способствуют повышению сопротивляемости к биологическим, физическим и химическим нагрузкам [2].

Представители изолированных родов *Bacillus* и *Streptomyces* выступают ключевыми участниками растительно-микробных взаимодействий и обеспечивают протекание процессов циркуляции различных химических элементов в природе [1, 2].



В ходе проведенного исследования установлено, что наибольшее количество углеводородокисляющих бактерий выявлено в образцах почв из мест повышенной антропогенной активности (территория возле административного здания, парковые зоны, участок вблизи многоквартирного дома). Также было выделено и идентифицировано 13 штаммов бактерий родов *Bacillus* и *Streptomyces*. Эти результаты подчеркивают значимость регулярного контроля микробиологического состава почв в условиях техногенного воздействия.

## Литература

1. Y. Fan, T. Li, W. Liu, et al. Ann. Microbiol., V. 71, no 45 (2021).
2. L. T. Popoola, A. S. Yusuf. South African Journal of Chemical Engineering, V. 37, 206-213 (2021).
3. Духовницкое [Электронный ресурс]: <https://ru.ruwiki.ru/wiki/Духовницкое> (04.04.2025).
4. Большая Саратовская энциклопедия [Электронный ресурс]: <https://clck.ru/3Gd4Vd> (26.02.2025).
5. А. И. Нетрусов, М. А. Егорова, Практикум по микробиологии. М.: Академия, 2005. 608 с.
6. Дж. Хоулт, Определитель бактерий Берджи в двух томах. Том 2. М.: Мир, 1997. 368 с.
7. J. M. Buescher, W. Liebermeister, Microb. Cell Fact, V. 1, 1-15 (2018).
8. J. A. J. Sousa, F. L. Olivares, Chem. Biol. Technol. Agric, V. 3 (2016).



## ОЦЕНКА ЗАПАХОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Малых О.С.

ООО «АРСИ», г. Москва

E-mail: [olga.malykh@odorlab.ru](mailto:olga.malykh@odorlab.ru)

По мере роста численности населения в крупных городах плотность застройки постоянно увеличивается, и новое жильё зачастую оказывается расположенным всё ближе к ранее построенным объектам негативного воздействия на окружающую среду (НВОС) – промышленным предприятиям и коммунальным сооружениям. При этом жители таких новостроек часто сталкиваются с проблемой неприятного запаха: несмотря на то, что объекты НВОС обязаны обеспечивать неперевышение предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, во многих случаях этого бывает недостаточно для устранения запаха, который отдельно в России не нормируется. Для предотвращения или разрешения таких ситуаций необходимо, помимо стандартного анализа качественного и количественного состава проб воздуха, проводить органолептическую оценку запаха.

Исключительно методами аналитической химии определить, как воздух будет восприниматься обонянием человека, практически невозможно. Во-первых, способность вещества вызывать запах практически невозможно предсказать: она в большей степени определяется формой молекул, нежели физико-химическими свойствами вещества [1]. Во-вторых, зависимости между интенсивностью запаха и концентрацией пахучего вещества плохо изучены: обычно речь идёт о логарифмической зависимости, но коэффициенты уравнения индивидуальны для каждого одоранта [2]. В-третьих, совместное действие нескольких одорантов носит неаддитивный характер и не может быть предсказано теоретически, что объясняется явлениями синергизма (усиления общего запаха), маскировки (замены одного запаха другим) и нейтрализации (снижения или исчезновения запаха при добавлении нового вещества в смесь) [3]. По этим причинам оценка запаха осуществляется с привлечением экспертной комиссии.

Наиболее детально проработанным методом количественной оценки запаха является ольфактометрия. Для анализа газовоздушных проб из источников выбросов применяется динамическая ольфактометрия, а для оценки качества атмосферного воздуха – полевая ольфактометрия. Оба метода описаны в ГОСТ Р 58578-2019 «Правила установления нормативов и контроля выбросов запаха в атмосферу».

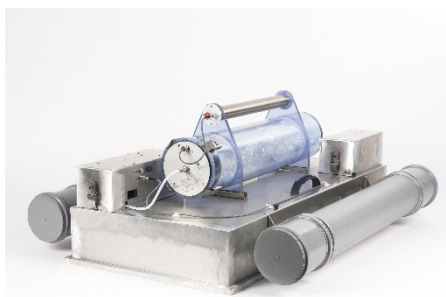
Первый этап исследований методом динамической ольфактометрии заключается в откачивании проб воздуха от источника в ПЭТ-мешки, предварительно проверенные на отсутствие запаха. Для этого используется пробоотборное устройство с вакуумным насосом, сконструированное таким образом, чтобы контакт отбираемого воздуха с частями устройства был минимальным (рис. 1 а). Для площадных источников требуется применение дополнительных приспособлений – колпаков (рис. 1 б, в). Для исключения возможности изменения состава газовой фазы за счёт адсорбции, конденсации или химических превращений проба должна поступить на анализ в ольфактометрическую лабораторию в течение 30 часов после отбора. В лаборатории проба в разных соотношениях разбавляется нейтральным воздухом без запаха с помощью ольфактометра (рис. 2) и с заданной скоростью подаётся на анализ членам экспертной комиссии, которые должны определить наличие или отсутствие запаха в каждом из образцов [4, 5]. При этом исследование проводится вслепую: эксперты не знают, какую пробу и в каком разбавлении они в данный момент анализируют и какие ответы дают другие члены комиссии.

В динамической ольфактометрии концентрация запаха измеряется в единицах запаха на кубический метр (ЕЗ/м³). Единица запаха – это количество одорантов в одном кубическом метре газовой смеси (при температуре 293 К и давлении 101,3 кПа) при достижении порога выявления экспертной комиссии. В процессе ольфактометрического анализа проб воздуха для каждого члена комиссии определяется индивидуальный порог выявления, который рассчитывается как среднее геометрическое между первым из двух последовательных значений разбавления (значение разбавления – это отношение общего объёма пробы к объёму пахучего воздуха в ней), при которых





а



б



в

**Рисунок 1.** Оборудование для отбора проб воздуха: а – стандартное пробоотборное устройство, применяемое или отдельно для точечных источников, или с дополнительными приспособлениями для площадных источников; б – пробоотборный колпак для неаэрируемых площадных источников; в – пробоотборный колпак для аэрируемых площадных источников.

данный эксперт верно определил наличие запаха, и предыдущим (большим) значением разбавления, при котором эксперт ещё не ощущал запаха. После исключения из анализа аномальных значений индивидуальных порогов выявления рассчитывается скорректированный порог выявления комиссии — среднее геометрическое из оставшихся после цензурирования выборки индивидуальных порогов выявления. Полученное значение численно равно концентрации запаха в исходной пробе воздуха в ЕЗ/м<sup>3</sup>, так как пороговая концентрация, т. е. такая концентрация, при которой вероятность ощущения запаха приближена к 50 %, равна 1 ЕЗ/м<sup>3</sup> [4, 5].

На основе измеренной концентрации запаха и известного расхода можно рассчитать массовый выброс запаха от данного источника в ЕЗ/с или ЕЗ/ч. Это значение может использоваться как для локальной оценки выброса запаха (например, при определении эффективности работы газоочистного оборудования или сравнительном анализе различных источников запаха на предприятии), так и для построения карт рассеяния запаха, которые позволяют определять и визуализировать запаховое воздействие источника на близлежащую местность. Для прогнозирования рассеивания запаха используются те же математические модели, что и при работе с загрязняющими веществами [5].

Полевая ольфактометрия применяется для контроля качества атмосферного воздуха на предмет наличия запаха в зоне интереса. Область поведения мониторинга определяется поставленными



**Рисунок 2.** Измерения с помощью ольфактометра TO8 evolution.



Рисунок 3. Измерения с помощью ольфактометра Nasal Ranger.

задачами и может находиться как на территории предприятия, так и в жилой зоне. Перед началом длительных наблюдений определяются конкретные точки измерений; они могут быть фиксированными или привязанными к направлению ветра (в случае проведения подфакельных измерений). Далее на протяжении всего периода исследований эксперты обходят заданные точки и оценивают запах с помощью полевого ольфактометра (рис. 3).

Работа полевого ольфактометра осуществляется за счёт наличия двух путей поступления воздушных потоков: через картридж очистки воздуха от запаха проходит фиксированный объём воздуха, а через выбранное отверстие градуированного диска атмосферный воздух проходит без очистки, а его объём зависит от диаметра выбранного отверстия. Внутри корпуса ольфактометра эти потоки смешиваются в разных соотношениях (в зависимости от выбранного отверстия) и за счёт силы вдоха эксперта, попадание которой в требуемый диапазон контролируется с помощью системы светодиодных индикаторов, поступают к носу эксперта. При вдохе эксперт должен определить, ощущается ли запах при данном разбавлении [5].

В полевой ольфактометрии единицей измерения служит отношение Dilution-to-Threshold (D/T) — наибольшее отношение объёма очищенного воздуха к объёму неочищенного воздуха, при котором экспертом ощущается запах.

Полевые измерения запаха должны носить повторяющийся характер и проводиться на протяжении длительного времени, чтобы такие исследования позволили определить частоту возникновения запаха той или иной силы в разных точках и получить достаточно полную картину запахового загрязнения рассматриваемой местности.

Примером длительного мониторинга запахового воздействия объекта НВОС методом полевой ольфактометрии могут служить исследования вблизи очистных сооружений в Калининградской области [6]. Неподалёку планировалось строительство нового объекта индустрии развлечений, и возникли опасения о возможности появления неприятного запаха в зоне интереса, в связи с чем было принято решение о превентивном проведении полевых исследований запаха. Для первого этапа исследований было выбрано 11 точек на местности: 2 точки у источников запаха (у приёмной камеры и у иловых карт) и 9 точек вдоль близлежащей дороги через каждые 200 метров по направлению от очистных сооружений к району планируемого строительства. За два месяца аттестованные эксперты провели 43 серии измерений, которые показали, что запах не распространяется дальше середины выбранного отрезка дороги, поэтому на втором этапе исследований точки мониторинга были расположены ближе к очистным сооружениям. Второй этап также длился около двух месяцев и включал в себя 43 серии измерений.

Анализ всего массива данных показал, что:

1. непосредственно у приёмной камеры запах присутствовал практически постоянно (98 % случаев), причём в большинстве случаев сила запаха составляла 60 D/T;
2. в непосредственной близости от иловых карт запах разной силы (от 2 D/T до 60 D/T) возникал время от времени (около 32 % случаев);
3. за пределами территории предприятия запах небольшой силы (от 2 D/T до 7 D/T) возникал редко (не более 10 % случаев для каждой отдельно взятой точки), при этом запах регистрировался только в точках мониторинга, расположенных вдоль дороги напротив источников запаха (приёмной камеры и иловых карт) в непосредственной близости от территории предприятия;
4. запах от очистных сооружений не распространялся дальше середины расстояния между очистными сооружениями и зоной планируемого строительства, и ни в каких местах пребывания людей, кроме автомобильной дороги в непосредственной близости от предприятия, запах не регистрировался.

Проведённые исследования свидетельствовали о том, что риска возникновения запаха в районе планируемого строительства не было, и это позволило принять окончательное решение о начале строительства. Впоследствии проблемы запаха в этом районе действительно не возникало.

Другой пример применения ольфактометрии — это оценка запахового воздействия канализационно-насосной станции в Барнауле [6]. Жители новостроек в непосредственной близости от КНС постоянно жаловались на неприятный запах как на улице, так и в квартирах. Жалобы не прекратились и после установки газоочистного оборудования, и для поиска решения пришлось проводить комплексные исследования, включавшие в себя технологическую инспекцию, измерение концентраций загрязняющих веществ и концентрации запаха в выбросах до и после газоочистки, моделирование рассеивания запаха, полевой мониторинг запаха в жилой зоне, анализ экологической документации и результатов измерений концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, а также сбор жалоб от жителей в режиме реального времени.

Проведённая работа продемонстрировала, что:

1. установленные нормативы соблюдались: случаев превышения ПДК аммиака или сероводорода в атмосферном воздухе зафиксировано не было;
2. вентиляция КНС была спроектирована грамотно и препятствовала неконтролируемому распространению запаха из помещения;
3. эффективность газоочистного оборудования в части удаления нормируемых для данного объекта дурнопахнущих веществ была высокой: 99,6 % для сероводорода и почти 100 % для аммиака;
4. эффективность газоочистного оборудования в части удаления запаха оказалась высокой (78 %), но в данном случае недостаточной;
5. в рассматриваемом районе было выявлено две области возникновения запаха в атмосферном воздухе — вблизи КНС и вблизи камеры гашения;
6. запах в квартирах возникал преимущественно из-за работы КНС, а запах на улице — в основном из-за КНС и в меньшей степени из-за камеры гашения;
7. уровень запаха в жилой зоне после рассеивания на несколько порядков превышал зарубежные нормативы, достигая значения 2500 ЕЗ/м<sup>3</sup>.

Было показано, что, несмотря на отсутствие каких-либо формальных нарушений, ситуация с запахом в этом районе города была катастрофической. По результатам исследований был разработан и реализован проект модернизации КНС. В дополнение к уже имевшейся абсорбционной установке была внедрена вторая ступень газоочистки. Воздушный поток был разделён на четыре равные части, каждая из которых была направлена на отдельный адсорбер модели ВБС-45, что обеспечило максимальное время контакта и, следовательно, максимальную эффективность очистки. Кроме того, была смонтирована новая отводящая труба высотой около 40 м, что способствовало более значительному рассеиванию выбросов в атмосфере. После реализации проекта жалобы от жителей





прекратились, а сам проект занял третье место в номинации «Чистая вода» на V Межрегиональной межотраслевой премии профессионалов ЖКХ.

Таким образом, несмотря на отсутствие в юридическом поле нормативов запаха, проблема запахового загрязнения атмосферы становится всё более актуальной для густонаселённых областей. Грамотный подход к оценке потенциального или существующего запахового воздействия объектов НВОС позволяет предотвратить или решить проблему, снизив градус общественного напряжения.

## Литература

1. Пелоси П. Обоняние: Увлекательное погружение в науку о запахах. — М.: КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2020.
2. Р. Х. Райт. Наука о запахах. — М.: Книга по Требованию, 2013.
3. Сырчина Н. В., Пилин Л. В., Ашихмина Т. Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022, № 2.
4. EN 13725:2022. Air Quality – Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry.
5. ГОСТ Р 58578-2019 «Правила установления нормативов и контроля выбросов запаха в атмосферу».
6. Малых О. С., Свицков С. В. Практический опыт исследования запаха на предприятиях // Справочник эколога. 2023, №9.



## МЕСТО ФИТОИНДИКАЦИИ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Павлова Л.М.

ФБГУН ИГиП ДВО РАН, г. Благовещенск

E-mail: pav@ascnet.ru

Для наблюдений за состоянием окружающей среды существует многочисленный набор химических, физических, физико-химических, биологических, аналитических, информационно-математических и др. методов анализа. Выбор метода для определения качества параметров природных сред зависит от его чувствительности, информативности, возможности контролировать уровень загрязнения ниже предельно допустимого и т.д. Наиболее широко используемыми для эколого-токсикологической оценки степени воздействия разного рода загрязнений на живые организмы традиционно являются химико-аналитические методы, с помощью которых определяют количественные показатели наличия токсикантов, но отразить состояние экосистемы в целом такие методы не в состоянии. Тогда как методы биологического контроля, основанные на реакциях живых организмов, используемых в качестве аналитических индикаторов, позволяют получать оперативные и достаточно достоверные данные о состоянии окружающей среды. В качестве биоиндикаторов используют разные группы организмов, обитающих во всех геосферах – воде, почве, воздухе [1-4]. Главной особенностью использования биоиндикаторов для экологических исследований является то, что контролируются не показатели качества этих компонентов среды, а отклик биоты на ее изменение, что характеризует биологический мониторинг как весьма перспективное направление для выявления экологически значимых природных и антропогенных нагрузок на среду обитания.

Биоиндикация позволяет оценить комплексное воздействие различных факторов на живые организмы и экосистемы. В отличие от химического анализа, который фиксирует содержание отдельных загрязнителей, биоиндикация отражает суммарный биологический ответ с учетом синергизма и кумуляции загрязнителей. Кроме того, с помощью методов биоиндикации можно намного раньше по сравнению с химико-аналитическими методами обнаружить изменения в состоянии самих биоиндикаторов [5], что позволяет адекватно оценивать экологическую опасность загрязнений. Кроме того, существенным недостатком химико-аналитических методов является их высокая трудоемкость, необходимость приобретения дорогостоящего высокоточного аналитического оборудования, тогда как методы биоиндикации часто менее затратны и проще в реализации, позволяют обеспечить непрерывный мониторинг на больших территориях. Также по результатам биоиндикации можно определить зоны с наибольшей нагрузкой загрязнений, что способствует эффективному планированию природоохранных мероприятий. Биоиндикация не заменяет, а дополняет традиционные методы, обеспечивая многогранную и более точную картину состояния окружающей среды.

Многоуровневая структура биологических систем обуславливает и различные реакции биоиндикаторов; отклонения могут проявляться на уровне физиолого-биохимических, анатомо-морфологических или поведенческих реакций организма, а также на уровне флористических, ценологических, биогеоценологических или ландшафтных изменениях сообществ [2, 6]. При выборе биоиндикатора необходимо учитывать его соответствие основным требованиям – высокая степень чувствительности, быстрота ответных реакций на воздействие поллютанта-загрязнителя, повсеместное присутствие в большом количестве и с однородными свойствами на исследуемой территории. Таким требованиям для мониторинга состояния окружающей среды, особенно на антропогенно измененных территориях, в большой степени отвечают растительные организмы, использование которых для выявления изменений природной среды началось во второй половине XX века с работ многих зарубежных (Bowen H.J., Cannon H.L. и др.) и советских ученых (Ковальского В.В., Перельмана А.И. и др.) [7].

Города – это наиболее сильно измененные человеком участки биосферы, которые характеризуются значительным своеобразием основных экологических факторов и весьма специфическими техногенными факторами. Большинство урбанизированных территорий имеют сложную архитектурно-

планировочную застройку, повышенную промышленную и транспортную нагрузку. В городах ускоряются процессы обмена веществ и энергии, биологические компоненты изменяются в росте и развитии, чаще обновляются и отмирают, техногенные – динамично преобразовываются во времени. Техногенно обусловленное изменение микроклиматических параметров, состояния почвенного покрова и атмосферного воздуха достаточно остро сказывается на физиолого-биохимических и морфологических показателях растений, устойчивости их к фитопатогенам, продолжительности жизни, поэтому фитогеохимическая индикация является интегральной оценкой состояния городской среды [8, 9]. В качестве фитоиндикаторов могут выступать разные виды высших и низших растений или их сообщества. Но для городских условий универсальным чувствительным объектом, интегрирующим влияние всех вместе взятых экологических факторов, являются древесные растения [8].

Комплекс неблагоприятных антропогенных факторов в воздушной среде ощутимо воздействует на ассимиляционный аппарат растений и вызывает изменения содержания определенных биохимических соединений или показателей базовых биохимических процессов, например, концентрации хлорофилла [2]. Если человек и животное адаптированы к содержанию в воздухе ~ 21% (по объему) кислорода, то ассимиляционный аппарат растений приспособлен к значительно более низким концентрациям в атмосфере углекислого газа – порядка 0,03 % (по объему), и потому более чувствителен к вредным веществам в воздухе [6].

Из атмосферы растениями поглощается сравнительно мало химических элементов, большинство поступает в виде водных растворов через корни, на количество которых оказывает влияние ландшафтно-геохимические условия произрастания. Реакция растительных сообществ на каждый поллютант различна, но в целом носит угнетающий характер для всех зеленых насаждений. В растениях содержатся все химические элементы земной коры и их концентрации составляют не более  $1 \cdot 10^{-2}\%$  [10]. Превышения концентраций токсичных химических элементов в растениях вызывают такие общие проявления их действия, как ингибирование фотосинтеза за счет уменьшения хлорофилла, закрытие устьиц, дефицит АТФ для регенерации акцептора углекислого газа, снижение активности ферментов, нарушение транспорта ассимилятов и минерального питания, изменение водного баланса и гормонального статуса организма. Эти изменения проявляются в первую очередь на физиолого-биохимическом уровне, затем распространяется на ультраструктурный и клеточный уровни, и лишь после этого развиваются видимые признаки повреждения – хлорозы и некрозы листа, ассиметрии листовой пластинки, опадения листьев, торможение роста и др. [11–15].

Нами была показана очевидная связь между содержанием фотосинтетических пигментов в ассимиляционном аппарате некоторых древесных пород, аэротехногенным и почвенным загрязнением мест их произрастания на примере г. Благовещенска (рис. 1) [16, 17].

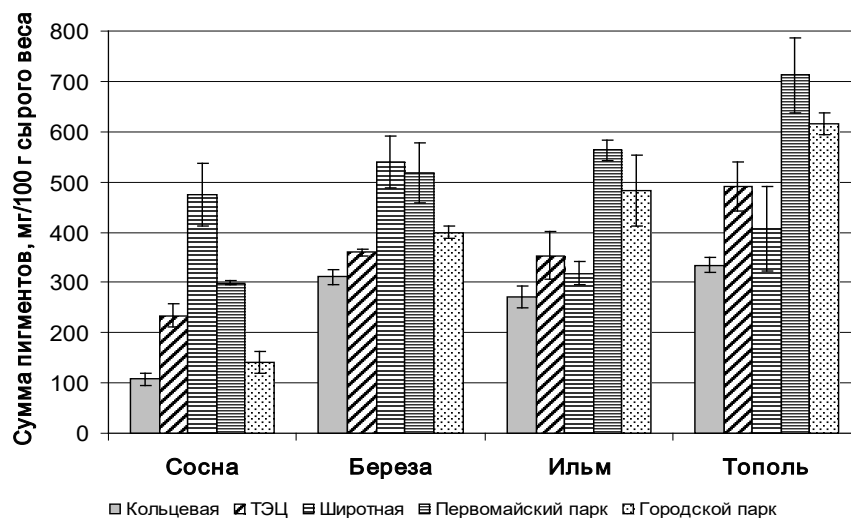


Рисунок 1. Суммарное количество основных групп фотосинтетических пигментов в вегетативных органах древесных пород, произрастающих в разных экотопах города Благовещенска.

Коллективом авторов [18] на примере городов Западной Сибири, в агломерациях которых расположены заводы по производству алюминия, в вегетативных органах тополя и на их поверхности выявлено наличие высоких концентраций фтора и F-содержащих частиц, и в эпидерме листовых пластин обнаружены патологии в виде хлоротических или некротических точечных пятен. А на территории городов с урановым производством на поверхности листьев тополей зафиксированы U-содержащие минеральные частицы [19]. По данным [8] фитогеохимический метод широко используется не только в ряде городов России (Москва, Кемерово, города Среднего Поволжья и др.), но и в Венгрии, Польше, Армении, Литве и др.

Наличие в почве токсичных веществ тоже пагубно сказывается на состоянии зеленых насаждений. Для характеристики почвенных условий, определения концентрации тяжелых металлов используют толерантные или индикаторные виды растений и их сообщества. Под воздействием токсикантов происходит ускоренное отмирание ветвей основной части кроны, снижение прироста, ослабление побегообразования, изменение габитуса у молодых деревьев, что является ответной реакцией на токсичность почвы. Мониторинговые исследования показателей почв на урбанизированных территориях опираются на методологические основы международных и межгосударственных стандартов [20], на основе результатов которых определяется комплексный показатель качества почвы.

В экологических исследованиях широкое распространение получили методы математической статистики: вычисление средних квадратических отклонений, дисперсии, коэффициентов вариации, распределений с помощью критериев Пирсона, Колмогорова, расчеты корреляции, корреляционных отношений, различных видов регрессий, дисперсионный и дискриминантный анализы, факторный анализ, метод главных компонент и др. методы, на основе которых выполняют математическое моделирование процессов и явлений в экологических системах [9]. Результаты биоиндикационных исследований – не исключение и обычно хорошо поддаются математической обработке. С помощью линейного и нелинейного дискриминантного анализа для каждого временного интервала можно выявить достаточно надежные биоиндикационные признаки для системы контроля среды.

С использованием комплексного подхода – биоиндикации и методов математической статистики авторами [21] выявлены сопряженные аномальные бромные биогеохимические области (Кулундинская и Северо-Казахстанская) природно-техногенного генезиса и закартированы локальные биогеохимические аномалии Вг на территориях, находящихся в зоне воздействия крупных теплоэлектростанций, вблизи транспортных узлов – автомобильного, железнодорожного и авиационного. Сочетание разных подходов в оценке качества окружающей среды достаточно эффективно и позволяет дать наиболее полную характеристику экологического состояния урбанизированной территории. При этом состояние экосистемы достаточно надежно можно оценить по результатам биоиндикации, а оценка физико-химических параметров каждой из составляющих экосистемы помогает понять, какие из антропогенных факторов значительно ухудшают компоненты окружающей среды и как именно это происходит [22, 23].

Таким образом, в системе экологического мониторинга урбанизированных территорий методы фитоиндикации качества водной, воздушной и наземной сред являются специфичными, достаточно информативными и потому – востребованными. Они дают возможность получения (1) ранней диагностики, а также динамики экологических изменений в урбанизированных зонах; (2) оценки биодоступности и биотоксичности многих синтезируемых человеком соединений; (3) интегральной оценки экологического состояния окружающей среды за счет суммарного воздействия многочисленных загрязнителей, их взаимовлияния и кумулятивных эффектов; (4) способствуют локализации источников загрязнений и зонированию территорий по уровню антропогенного воздействия; (5) более экономичны и практичны в использовании, (6) существенно дополняют методы химического и физического мониторинга, (7) помогают нормировать допустимую нагрузку на экосистемы.

**Благодарность:** Исследование выполнено по государственному заданию ИГиП ДВО РАН (тема № 122041800128-5).

#### Литература

1. В.Д. Туровцев, В.С. Краснов // Тверь: ТГУ, 260 (2004).
2. О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева и др. // М.: Академия, 288 (2007).
3. О.А. Неверова, Н.И. Еремеева Н.И. // Новосибирск, 265 (2006).
4. Н.И. Хотько, А.П. Дмитриев // Саратов: ГосНИИЭНП, 184 (2015).



5. Ю.В. Кладько, Л.Н. Скрипальщикова // Сибирский лесной журнал, № 6, 27-38 (2019).
6. Р.В. Кайгородов // Пермь: ПГУ, 151 (2010).
7. Е.В. Черненко // Дисс. На соиск. Уч. Степ....к.г.-мн.н., 262 (2016).
8. М.Д. Уфимцева, Н.В. Терехина, С.А. Банарь // Вестник СПбГУ, Сер. 7, В. 4, 121-129 (2008).
9. Н.Н. Гусарова, Ю.М. Мохоныко // Саратов, 134 (2014).
10. В.А. Алексеенко // М.: Логос, 627 (2000).
11. С.С. Мальхотра, А.А. Хан // М.: Гидрометиздат, 44-189 (1988).
12. М.В. Ларионов // Вестник КрасГАУ, № 11, 88-92 (2012).
13. М.Ю. Куприянова, И.И. Семенова // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, № 4(84), 74-78 (2014).
14. Е.Ю. Иванова // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. № 1, 157-162 (2013).
15. М.А. Клевцова, Т.Л.А. Фан // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология, № 3, 79-86 (2016).
16. Л.М. Павлова, И.М. Котельникова, Н.Г. Куимова и др. // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности, № 2, 11-19 (2010).
17. Л.М. Павлова, И.М. Котельникова, В.И. Радомская // Сб. Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии, 226-229, (2012).
18. D.V. Yusupov, L.A. Dorokhova, S.S.Ilenok et al. // Water, Air, & Soil Pollution, V. 232(9), (2021)
19. Л.А. Дорохова, Л.М. Павлова, Д.В. Юсупов // Сб. X Информац. школа молодого ученого, 424-433 (2022).
20. Г.С. Фомин, А.Г. Фомин // М.: Протектор, 304 (2001).
21. Д.В. Юсупов, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская и др. // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. Т. 332(1), 76-87 (2021).
22. Л.М. Павлова, В.И. Радомская, Л.П. Шумилова // Изв. СамНЦ РАН, Т. 18(2-2), 467-471 (2016).
23. С.П. Рысин // Научные ведомости. Сер. Естеств. Науки, Т. 9 (104), 290-295 (2011).



# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПРОГНОЗ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ АРМЕНИИ

Есаян П.А.

*Национальный политехнический университет Армении (НПУА), Армения, г. Ереван*

*E-mail: patyesayan@gmail.com*

Оценка пространственно-временной динамики накопления химических элементов (ХЭ), в частности тяжёлых металлов (ТМ), в почвах является одной из приоритетных задач современной экологии [1]. Для Армении, отличающейся сложным рельефом и сочетанием промышленных, сельскохозяйственных и горнодобывающих районов, важным направлением исследований является выявление пространственных различий в составе почв и оценка их изменений под влиянием природных и антропогенных факторов [2].

Целью настоящей работы является определение пространственных особенностей распределения и тенденций изменения содержания ХЭ в почвах различных регионов Армении, а также прогноз их динамики с использованием статистических моделей временных рядов.

Исследование охватывает три региона Армении: Раздан – промышленно развитый город в центральной части страны, характеризующийся значительной техногенной нагрузкой; Гавар – урбанизированный район с вулканическими почвами и геохимически активными породами и Мартуни – преимущественно сельскохозяйственная зона вблизи озера Севан.

Отбор проб проводился из верхнего слоя почвы (0–20 см) в различных подучастках каждого региона. Элементный состав почвенных проб определялся методом прямого рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с использованием портативного анализатора Thermo Scientific™ Niton™ [3]. В анализ были включены 13 элементов: Zr, Sr, Rb, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, V и Ba.

Для анализа временной динамики использовались три метода прогнозирования: линейная регрессия (LR), экспоненциальное сглаживание (ETS) и локально-взвешенная регрессия (LOESS) [4–6].

Каждая модель применялась индивидуально к средним годовым значениям по регионам, что позволило оценить вероятные изменения концентраций металлов.

Анализ показал выраженные пространственные различия между исследуемыми районами: Раздан характеризуется наиболее высокими уровнями Pb, Cu, Cr и Co вследствие промышленной и транспортной деятельности. Гавар демонстрирует повышенные содержания Ni и V, обусловленные особенностями геохимического состава пород региона. В Мартуни зафиксированы наименьшие концентрации элементов, что отражает сельскохозяйственный характер землепользования и слабое антропогенное воздействие.

Прогнозные расчёты показали, что:

- тенденции снижения Pb и As сохраняются во всех регионах, что свидетельствует о постепенном ослаблении техногенного давления;
- для Cr и V во многих моделях наблюдается устойчивый рост, связанный с активизацией процессов минерализации и выветривания пород;
- содержание Cu и Zn остаётся стабильным или незначительно возрастает, отражая сохранение умеренной антропогенной нагрузки;
- наименее выраженные изменения прогнозируются для Fe и Mn, что подтверждает их литогенную природу.

Применение различных моделей позволило выявить устойчивые тенденции снижения содержания Pb и As и роста Cr и V, подтверждая надёжность прогноза.

Таким образом, применение нескольких моделей позволило повысить достоверность прогноза и показать различия в поведении металлов между промышленными, урбанизированными и аграрными территориями.





### Выводы

1. Почвы Раздана сохраняют признаки промышленного загрязнения, однако тенденции снижения Pb и As указывает на возможное улучшение экологической ситуации.
2. Для Гавара характерно геогенное обогащение Ni и V, которое в перспективе может усиливаться из-за природных процессов.
3. Почвы Мартуни характеризуются наименьшими концентрациями исследуемых элементов, что указывает на слабое антропогенное воздействие и относительную чистоту территории.
4. Использование комбинированных статистических моделей позволяет не только оценить текущее состояние, но и предсказать возможные изменения, что важно для планирования мониторинга и природоохранных мероприятий.

### Литература

1. R.E. Avalyan, A.L. Atoyants, A.R. Sukiasyan, A.A. Kirakosyan, P.A. Yesayan, R.M. Aroutiounian Assessment of the condition and mutagenic potential of arable soils based on the soil-plant system, issue 3 (2025).
2. A. Sukiasyan, M. Kalantaryan, A. Atoyants, A. Kirakosyan, R. Aroutiounian A Combined Approach to the Assessment of the Level of Pollution and Toxicity by Macro- and Trace Elements of the Territories of Armenia with Different Anthropogenic Loads (2024).
3. Thermo scientific sample collection and preparation tools for exploration and mining [[https://www.malvernpanalytical.com/en/assets/pn12871\\_le\\_sample\\_prep\\_of\\_geological\\_or\\_mining\\_and\\_other\\_inorganic\\_samples\\_tcm50-95064.pdf](https://www.malvernpanalytical.com/en/assets/pn12871_le_sample_prep_of_geological_or_mining_and_other_inorganic_samples_tcm50-95064.pdf)].
4. J. Gareth, W. Daniela, H. Trevor, T. Robert, T. Jonathan An Introduction to Statistical Learning with Applications in Python (2023).
5. W. S. Cleveland, S. J. Devlin Locally Weighted Regression: An Approach to Regression Analysis by Local Fitting // Journal of the American Statistical Association. V. 83 (1988).
6. R. J. Hyndman, A. B. Koehler, R. D. Snyder, S. Grose A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods // International Journal of Forecasting, V. 18 (2002).



# СОДЕРЖАНИЕ ПРОЛИНА И АКТИВНОСТЬ СОД В ГОРЧИЦЕ САРЕПТСКОЙ (*BRASSICA JUNCEA*) ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ БИОСОРБЕНТОВ

Щепетова А.А., Бабенко А.А., Хако М.Д., Аллилуев И.А., Черникова Н.П.,  
Минкина Т.М.

ЮФУ, АБиМ, г. Ростов-на-Дону

E-mail: shepe.anna@yandex.ru

Накопление загрязняющих веществ растениями представляет значительную угрозу для сельского хозяйства и здоровья человека. Для оценки влияния поллютантов на растения важным показателем является их антиоксидантный статус, который отражает степень окислительного стресса и способность растения к адаптации. Так, пролин и фермент супероксиддисмутаза (СОД) играют ключевую роль в защитных механизмах растений при воздействии токсичных веществ [1]. Целью настоящего исследования являлось определение содержания пролина и активности супероксиддисмутаза (СОД) у растений в процессе фиторемедиации с использованием комплексных биосорбентов.

В качестве тест-культуры использовалась горчица сарептская (*Brassica juncea*). В эксперименте применяли сорбенты: биочар и биочар, инокулированный консорциумом микроорганизмов (*Bacillus atrophaeus* + *Pseudomonas taiwanensis* A10 + *Rhodococcus opacus* Nah7IF). Доза внесения сорбентов в почву составила 2%. Определение содержания пролина проводили с использованием реакции с нингидрином в кислой среде и последующим измерением оптической плотности при  $\lambda=560$  нм. Активность СОД определяли спектрофотометрически по ингибированию фотохимического восстановления NBT при  $\lambda=560$  нм.

Содержание пролина в побегах контрольных растений составило  $1,99 \pm 0,08$  мкмоль/г сырой массы. При выращивании горчицы на загрязнённой почве оно резко возросло, почти вдвое по сравнению с контролем (до  $3,589 \pm 0,4$  мкмоль/г). Добавление биочара привело к снижению содержания пролина в побегах ( $2,348 \pm 0,24$  мкмоль/г), а применение биочара, инокулированного консорциумом микроорганизмов – к его увеличению ( $6,927 \pm 0,49$  мкмоль/г). Стресс-индуцированное накопление пролина в растительных клетках помогает им адаптироваться к неблагоприятным условиям, защищая от инактивации белки, ДНК, а также ряд ферментов и другие важнейшие клеточные компоненты. В побегах контрольных растений активность СОД составила  $303,3 \pm 7,201$  Ед/(мин·мг) сырой массы. При выращивании растений в загрязненной почве активность СОД также повысилась ( $362,92 \pm 7,917$  Ед/(мин·мг)). Добавление же биосорбентов привело к снижению активности СОД по сравнению с загрязненной почвой: при внесении биочара до  $333,33 \pm 13,3$  Ед/(мин·мг), а при внесении биочара, инокулированного консорциумом микроорганизмов, – до  $316,52 \pm 17,65$  Ед/(мин·мг).

Таким образом, комбинированный препарат на основе биочара и микробного консорциума является наиболее перспективным для применения в фиторемедиации, усиливая адаптивный потенциал растений.

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-15-2023-587, и Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет-2030»).

## Литература

1. Morales M., Munné-Bosch S. Malondialdehyde: facts and artifacts // Plant physiology. – 2019. – V. 180, №. 3. – P. 1246-1250.





## СРАВНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПОЧВЕ ВБЛИЗИ НЧГРЭС ЗА ДВА ГОДА

Шуваев Е.Г.\*, Немцева А.А., Дудникова Т.С., Сушкова С.Н., Барбашев Ан.И.

*Южный федеральный университет, г.Ростов-на-Дону*

*E-mail: \*eshuvaev@sfnu.ru*

Города являются центрами интенсивного импактного загрязнения природной среды. В современных городах интенсивные потоки выбросов электростанций приводят к загрязнению почв канцерогенными экотоксикантами до опасных уровней концентраций. Наиболее опасными представителями загрязняющих веществ являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – органические соединения, в химической структуре которых присутствуют два или более конденсированных бензольных колец [1]. Некоторые представители ПАУ обладают канцерогенными свойствами, что создаёт угрозу для здоровья населения [2]. Бенз(а)пирен (БаП) является канцерогенным первого класса опасности, содержание которого нормируется в почве. Предельно допустимая концентрация (ПДК) БаП в почве составляет 20 нг/г. ПАУ поступают в окружающую среду через выбросы от стационарных источников, постепенно оседая на поверхностном слое почвы. Загрязнение происходит в основном в пределах санитарно-защитной зоны, однако, в зависимости от метеорологических условий, оседание происходит и на значительном удалении от стационарного источника. В связи с этим цель данной работы: сравнить содержание ПАУ в почве Новочеркасской Государственной районной электростанции (НЧГРЭС) за два года.

Для достижения поставленной цели на территории НЧГРЭС была заложена одна мониторинговая площадка на расстоянии 2 км в северо-западном направлении по линии преобладающего ветра. Проба почвы отбиралась в течении двух лет: в 2018 и 2019 годах. Вокруг предприятия сосредоточены сельскохозяйственные поля, на которых выращивают зерновые культуры. Почва представлена чернозёмом обыкновенным с содержанием физической глины 53,4%, ила – 28,4%, органического углерода 2,2%, pH – 7,7. Отбор проб почвы осуществлен методом конверта на глубину 0–10 см.

Содержание ПАУ в почве определяли с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260. Экстракцию ПАУ из образцов почв проводили гексаном в трехкратной повторности [3]. В исследовании определены ПАУ, входящие в список приоритетных поллютантов агентства по охране окружающей среды США, такие как: нафталин, фенантрен, флуорен, антрацен, аценафтен, аценафтилен, флуорантен, пирен, хризен, бенз(а)

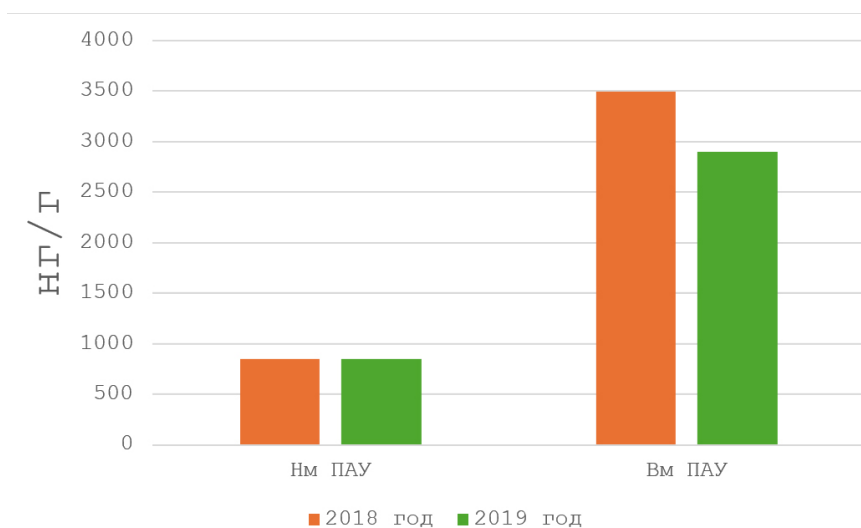


Рисунок 1. Сравнение содержания Нм и Вм ПАУ в почве за 2018 и 2019 года.

антрацен, бенз(b)флуорантен, бенз(k)флуорантен, бенз(a)пирен, дибенз(a,h)антрацен, бенз(g,h,i)перилен [4]. Результаты определения суммировались.

В результате исследования было установлено, что в 2018 году суммарное содержание ПАУ составило 4346,5 нг/г. Наибольший вклад в суммарное содержание внесли высокомолекулярные (Вм) ПАУ, к которым относятся бенз(a)антрацен, пирен, флуорантен, БаП, бенз(b)флуорантен, бенз(k)флуорантен, дибенз(a,h)антрацен, бенз(g,h,i)перилен. Содержание Вм ПАУ в почве за 2018 год равняется 3499,6 нг/г, что составило 77% от общей суммы. Содержание Нм соединений составило 852,7 нг/г. Среди индивидуальных соединений в почве, отобранной в 2018 году, преобладают фенантрен, пирен и антрацен. Содержание БаП составило 310 нг/г, что превышает ПДК в 15 раз.

В почве, отобранной в 2019 год, суммарное содержание ПАУ было меньше, чем в 2018 году и составило 3749,2 нг/г. Содержание Нм ПАУ в почве 2019 года составило 852,7 нг/г, что почти равняется содержанию ПАУ в почве за 2018 год. Снижение суммарного содержания ПАУ происходило за счёт уменьшения содержания Вм ПАУ. Содержание высокомолекулярных ПАУ в почве 2019 года составило 2896,5 нг/г, что на 603 нг/г меньше содержания Вм ПАУ за 2018 год. Содержание бенз(a)пирена увеличилось за год до 350,3 нг/г, что превышает ПДК в 17,5 раз.

Таким образом, в ходе исследования было установлено, что суммарное содержание ПАУ в почве НчГРЭС за два года уменьшилось с 4346,5 до 3749,2 нг/г. наибольший вклад в содержание ПАУ в почве за два года внесли высокомолекулярные ПАУ, в частности пирен, антрацен и бенз(a)пирен. Снижение содержания поллютантов в почве происходило за счёт уменьшения концентрации высокомолекулярных соединений. Содержание опасного БаП увеличилось в течении года примерно на 2 ПДК.

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России, Соглашение No 075-15-2023-587, Соглашение № 075-15-2025-667) на оборудовании ЦКП «Биоинженерия почв», а также при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

#### Литература

1. Никифорова Е. М., Кошелева Н. Е. Полициклические ароматические углеводороды в городских почвах (Москва, Восточный округ) // Почвоведение, 2011, № 9, с. 1114–1127.
2. Nisbet C., LaGoy P. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) //Regulatory Toxicology and Pharmacology 16, 1992, p. 290-300.
3. ПНД Ф 16.1:2.2:3.39–03. Методика выполнения измерений массовой доли 3,4-бенз(a)пирена в пробах почв, грунтов, донных отложений и твердых отходах методом ВЭЖХ с использованием анализатора жидкости
4. US EPA (US Environmental Protection Agency). Integrated Risk Information System (IRIS). - Washington, DC: Office of Research and Development, 2020. URL: [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris\\_drafts/AtoZ.cfm](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/AtoZ.cfm). (accessed March 20, 2024).

# ОЦЕНКА МИГРАЦИИ МЕТАЛЛОВ В ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ ПО БИОГЕОХИМИЧЕСКИМ КОЭФФИЦИЕНТАМ

Смехунов А.Е., Черникова Н.П., Чаплыгин В.А., Кабашнюк П.Ю.

ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

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

Для изучения процессов миграции и массообмена химических элементов между почвенным и растительным покровом используют различные биогеохимические коэффициенты. Коэффициент биологического поглощения (КБП) отражает потенциальную интенсивность поглощения элементов, а коэффициент актуальной биогеохимической подвижности (Вх) учитывает физиолого-биохимические функции элементов и конкретные почвенно-геохимические условия, характеризуя степень использования растениями подвижных форм элементов, содержащихся в почве.

Целью исследования являлось определение миграционных особенностей тяжелых металлов в системе почва-лекарственные растения импактной территории.

В зоне длительного аэротехногенного воздействия крупнейшей тепловой электростанции в Ростовской области на юге России – ОАО «Новочеркасская ГРЭС» (НЧГРЭС), заложены мониторинговые площадки по генеральному направлению ветров на разном удалении (1,2–5,7 км). На основе абсолютных данных тяжелых металлов (ТМ) в черноземе обыкновенном и ценофлоре рассчитывали КБП, как частное от деления содержания ТМ в надземной части растений на их валовое содержание в почве). В зависимости от величины КБП все химические элементы можно разделить на две основные группы: группа «биологического накопления» ( $\text{КБП} > 1$ ) и группа «биологического захвата» ( $\text{КБП} < 1$ ) [1]. Вх рассчитывали, как отношение концентрации металла в сухой массе надземной части растения к содержанию его подвижных соединений в почве [2]. Величина  $\text{Вх} > 1$  означает значительную аккумуляцию элемента растением из почвы.

Величины коэффициентов потенциальной (КБП) и актуальной (Вх) биогеохимической подвижности, рассчитанных для цикория обыкновенного, увеличивались при удалении от НЧГРЭС, а для тысячелистника наблюдалась обратная тенденция (табл. 1). Исследуемые металлы относятся к группе «биологического захвата» ( $\text{КБП} < 1$ ), при этом Mn и Ni являются элементами слабого захвата, а Zn, Cd, Pb, Cu и Cr – элементами среднего захвата. В зависимости от Вх, сильнее всего цикорий поглощает Zn и Cd, тысячелистник Zn и Pb, а менее – Mn.

**Таблица 1.** Биогеохимические коэффициенты тяжелых металлов импактной зоны НЧГРЭС.

№ пло- щадки (км, направле- ние)	Mn		Zn		Ni		Pb		Cu		Cd		Cr	
	КБП	Вх	КБП	Вх	КБП	Вх	КБП	Вх	КБП	Вх	КБП	Вх	КБП	Вх
Цикорий обыкновенный ( <i>Cichorium intybus</i> )														
T2 (1,6 СЗ)	0,03	0,06	0,27	0,50	0,05	0,11	0,14	0,28	0,13	0,30	0,99	1,70	0,15	0,40
T3 (2,9 СЗ)	0,02	0,04	0,36	0,81	0,04	0,13	0,14	0,32	0,16	0,46	0,41	0,84	0,14	0,42
T4 (5,7 СЗ)	0,03	0,08	0,30	0,86	0,05	0,14	0,19	0,45	0,21	0,61	0,33	0,72	0,19	0,74
Тысячелистник щетинистый ( <i>Achillea setacea</i> )														
T1 (1,2 СЗ)	0,02	0,04	0,19	0,36	0,08	0,20	0,41	1,06	0,14	0,32	0,12	0,20	0,28	0,73
T2 (1,6 СЗ)	0,04	0,07	0,22	0,38	0,08	0,17	0,37	0,73	0,13	0,27	0,07	0,11	0,13	0,31
T3 (2,9 СЗ)	0,02	0,06	0,25	0,57	0,06	0,17	0,19	0,43	0,16	0,46	0,01	0,02	0,16	0,49
T4 (5,7 СЗ)	0,03	0,10	0,50	1,42	0,07	0,22	0,20	0,47	0,24	0,69	0,03	0,07	0,18	0,69



Таким образом, исследуемые металлы относятся к элементам среднего биологического захвата, за исключением Mn и Ni. Цикорий обыкновенный и тысячелистник щетинистый характеризовались значительной аккумуляцией Zn, Cd и Pb, что подтверждает их техногенный привнос за счет тепловой электростанции.

**Благодарность:** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-10097П) в Южном федеральном университете.

## Литература

1. Добровольский В. В. Д 56 Основы биогеохимии: Учебник для студ. высш. учеб. заведений/Всеволод Всеволодович Добровольский.—М.: Издательский центр «Академия», 2003.—400 с. ISBN 5-7695-1098-6.
2. Енчилик П.Р. Биологическое поглощение и биогеохимическая подвижность микроэлементов в лесных ландшафтах Центрально-Лесного государственного природнобиосферного заповедника / П.Р. Енчилик, Е.Н. Асеева // Проблемы региональной экологии, 2018. – № 4. – С. 93–98.



## **КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С УЧЕТОМ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ**

**Гошин Е.Г.**

*ФГБУ «ВИМС», г. Москва*

*E-mail: goshin@vims-geo.ru*

Доклад посвящен вопросам гидрогеологии, отражаемым в технических проектах месторождений твердых полезных ископаемых. Приводятся требования нормативно-правовых актов по данному аспекту, перечисляются типичные ошибки, допускаемые при проектировании, связанные с вопросами гидрогеологии на разрабатываемых месторождениях твердых полезных ископаемых, а также приводятся рекомендации по их неопущению.

В докладе приведены примеры негативных экологических последствий, связанных с нерешенными проблемами горнопромышленной гидрогеологии на постэксплуатационном этапе жизненного цикла освоения месторождений.



# АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛИНА И ГЛУТАТИОНА У *TANACETUM VULGARE* L. ПРИ РОСТЕ В ИМПАКТНОЙ ЗОНЕ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС

Бабенко А.А.\*, Хако М.Д., Черникова Н.П., Аллилуев И.А.

ЮФУ, АБиМ, г. Ростов-на-Дону

E-mail: \*ba8encko.ar@yandex.ru

Выбросы угольных электростанций приводят к аккумуляции тяжелых металлов (ТМ) в почвах, что представляет угрозу для экосистем и здоровья человека. Изучение адаптивных реакций рудеральных растений, таких как пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.), на стресс является актуальной задачей. Важными компонентами антиоксидантной защиты растений, играющими ключевую роль в детоксикации и осморегуляции, являются низкомолекулярные антиоксиданты, в частности, глутатион и пролин [1]. Целью настоящего исследования явилась оценка содержания тяжелых металлов, пролина и глутатиона у пижмы обыкновенной, произрастающей в импактной зоне Новочеркасской ГРЭС.

Исследования проводились на фоновом участке (Персиановская заповедная степь) и в импактной зоне (в 1.6 км от Новочеркасской ГРЭС). Отбирали образцы почвы и растительного материала. Содержание ТМ в почве определяли при помощи спектроскана МАКС-ГВМ (Россия), в растениях при помощи атомно-абсорбционного спектрометра Квант-2 (КОРТЭК, Россия). Концентрацию пролина определяли с использованием нингидринового метода при длине волны 520 нм, а концентрацию глутатиона — с реактивом Элмана при длине волны 412 нм. Все измерения проводились на спектрофотометре Beckman DU 800 (Beckman Coulter, США).

Почва импактной зоны характеризовалась превышением валового содержания ТМ относительно фона: Cu – в 4.5 раза, Zn – в 2.5, Pb – в 2.9, Cd – в 8.2 раза. Аккумуляция ТМ в тканях пижмы в импактной зоне также была существенно выше: в побегах содержание Cd превышало фоновые значения в 4.2 раза, Pb – в 2.4, Ni – в 1.9, Cr – в 1.8 раза, с превышением предельно допустимых уровней для Pb, Cd, Ni и Cr.

В ответ на токсический стресс у пижмы активизировались механизмы антиоксидантной защиты. Содержание пролина в побегах и корнях в импактной зоне увеличилось в 1.5 и 2.3 раза соответственно, что свидетельствует о его ключевой роли в осморегуляции и стабилизации клеточных структур. Содержание глутатиона в побегах возросло на 10%, отражая усиление детоксикационного потенциала и участия в аскорбат-глутатионовом цикле.

Таким образом, стресс, вызванный ТМ в зоне влияния Новочеркасской ГРЭС индуцирует перестройку низкомолекулярного звена антиоксидантной системы пижмы обыкновенной, выражающуюся в аккумуляции пролина и глутатиона. Полученные данные подтверждают важную роль этих метаболитов в адаптационной стратегии пижмы и свидетельствуют о ее перспективности для фитомелиорации загрязненных территорий.

**Благодарность:** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-10097П) в Южном федеральном университете.

## Литература

1. Trchounian A., Petrosyan M., Sahakyan N. Plant cell redox homeostasis and reactive oxygen species // Redox state as a central regulator of plant-cell stress responses. – Cham : Springer International Publishing, 2016. – С. 25-50.



# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЖИЛЫХ РАЙОНАХ ГОРОДА МОСКВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И МОРФОЛОГИИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Ногачева А.И.<sup>\*</sup>, Таскина А.А.<sup>‡</sup>, Колесников Е.А.

НИТУ МИСИС, г. Москва

E-mail: <sup>\*</sup>nastya.nogachyova@yandex.ru, <sup>‡</sup>ta.arins@yandex.ru

Загрязнение атмосферного воздуха твёрдыми аэрозольными частицами является одной из наиболее острых экологических проблем мегаполисов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью установления связи между морфологией, химическим составом и источниками происхождения аэрозолей, формирующихся в условиях высокой антропогенной нагрузки [1].

Целью настоящей работы являлась идентификация источников эмиссии городских аэрозолей на основе комплексного анализа элементного состава и морфологических особенностей твёрдых частиц. Исследуемой территорией были выбраны два района г. Москвы – Коньково и Гагаринском – с различной степенью антропогенной нагрузки. Отбор проб осуществлялся при помощи аспирационного оборудования на фильтры.

Установлено, что вблизи автотранспортных магистралей и строительных площадок преобладают частицы диаметром менее 2 мкм, обогащённые тяжёлыми металлами – Pb, Zn, Fe, W. В парковых и жилых зонах доминировали минеральные частицы размером 2–10 мкм, содержащие Si, Al, Ca, K и Mg, что указывает на природное происхождение и вторичное пылеобразование. Во всех исследованных точках, средние концентрации для частиц PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> находились в пределах допустимых значений, установленных для городских условий. Морфологический анализ подтвердил присутствие частиц сферической и неправильной формы, соответствующих продуктам сгорания, минеральной пыли, вторичных аэрозолей и др.

Полученные результаты демонстрируют значительный вклад локальных источников эмиссии в формирование аэрозольного загрязнения городской атмосферы. Комплексный анализ морфологических и химических характеристик твёрдых частиц доказал свою эффективность для дифференциации природных и антропогенных аэрозолей и может быть использован в системах экологического мониторинга и при разработке программ по улучшению качества атмосферного воздуха [2].

**Благодарность:** Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект № 25-29-00537).

## Литература

1. Hinds W.C., Zhu Y. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. – New York: Wiley-Interscience, 2022.
2. Ismailov F.A. Atmospheric Aerosol. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019.



# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

**Гусев А.В.<sup>а,\*</sup> Шахрамьян М.А.<sup>а,б,&</sup>**

*а) Российский государственный социальный университет, г. Москва*

*б) Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва*

*E-mail: \*gusevandre2015@yandex.ru, &MAShakhramanyan@fa.ru*

В соответствии с [1, 2] развитие технологий цифровой экономики в области экологии и природоохранной деятельности, включающие разработку эффективных систем экологического мониторинга, являются приоритетными задачами. В работе представлен проект программно-аппаратного комплекса, предназначенного для автоматизированного определения ключевых параметров качества воды с использованием технологий компьютерного зрения и интеграции данных в модель цифрового двойника.

Аппаратная часть комплекса включает датчики для измерения физико-химических показателей воды (температура, pH, мутность, концентрация нефтепродуктов и др.), а также камеры для съемки водной поверхности. Программная часть реализована на языках Python и Nim и решает задачи сбора данных, их фильтрации, передачи на сервер и анализа.

Ключевым элементом является алгоритм компьютерного зрения, который по изображениям с камер в автоматическом режиме определяет такие параметры, как наличие плёнок на поверхности воды (нефтепродукты, органические вещества) и концентрацию взвешенных веществ. Это позволяет осуществлять мониторинг в режиме, близком к реальному времени, и дополнять данные с традиционных датчиков.

Все поступающие данные интегрируются в виртуальную модель – цифровой двойник водного объекта. Цифровой двойник – это виртуальная модель реального объекта или системы, которая позволяет имитировать его поведение и прогнозировать результаты различных воздействий [3]. Модель позволяет визуализировать текущее состояние, выявлять пространственные закономерности в распределении загрязнений и прогнозировать их динамику с помощью методов машинного обучения. При наличии информации об источниках сбросов (мощность выбросов, покомпонентный состав) можно определить конкретную область нахождения источника негативного воздействия, а если их несколько, то оценить вклад каждого из них в то или иное превышение нормативных значений.

Внедрение комплекса создает новые возможности для контроля и надзора. Для надзорных органов система предоставляет инструмент для автоматического документирования фактов загрязнения. При обнаружении превышений ПДК или аномального изменения какого-либо наблюдаемого параметра алгоритм фиксирует событие с привязкой ко времени и координатам, формируя вещественное доказательство для последующих административных процедур. Таким образом, комплекс не только решает техническую задачу мониторинга, но и способствует формированию новой модели взаимодействия.

Функциональная схема работы комплекса представлена на рис. 1.



Рисунок 1. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса.

Предложенный подход демонстрирует повышение оперативности контроля за счет автоматизации и использования компьютерного зрения, а также расширение аналитических возможностей за счет создания цифрового двойника. Комплекс может быть интегрирован с существующими системами экологического контроля.

#### Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 15 декабря 2023 г. № 3664-р «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования, относящейся к сфере деятельности Министерства природных ресурсов и экологии РФ».
2. Указ Президента РФ от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».
3. В.С. Валиев, Д.В. Иванов, Д.Е. Шамаев, Р.Р. Хасанов. Создание цифровых двойников в рамках цифровой трансформации экологического мониторинга // Российский журнал прикладной экологии. 2022. С. 29-33.



## ТЕХНОГЕННАЯ НАГРУЗКА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ АЭРАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Куля Д.Н., Дьяченко В.В.

НПИ КубГТУ, г. Новороссийск

E-mail: Dashshok2020@gmail.com, v-v-d@mail.ru

Новороссийск – один из самых экологически неблагополучных городов России с точки зрения аэрозольного загрязнения. Здесь находится несколько цементных заводов, производящих тонкодисперсные аэрозольные частицы, которые являются носителями микроэлементов, как изначально, так и сорбируя на своей поверхности элементы, находящиеся в парогазовой форме. От размера частиц аэрозоля зависит как дальность переноса, «время жизни аэрозолей» [1], но и их геохимическая специфика и токсичность [2].

Неудовлетворенность жителей города существующим контролем запыленности воздуха привела к разработке в 2022 году проекта «За чистый Новороссийск» [3]. Проект заключается в формировании сети лазерных датчиков, с помощью которых проводится анализ воздуха и формируется база данных состояния воздуха, доступная общественности. Датчики определяют концентрацию частиц PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>, а также влажность. Их действие основано на регистрации рассеянного частицами пыли лазерного излучения длиной волны 650 нм. Измерения происходят круглосуточно, каждые 150 секунд и передаются по wi-fi в специальное мобильное приложение, где систематизируются. Приведем краткий анализ мониторинга запыленности воздуха с нескольких датчиков, размещенных в разных районах города, отличающихся факторами формирования, уровнем концентрации и динамикой аэрозольного загрязнения [4, 5].

Территория Новороссийска очень контрастна с точки зрения аэрозольного загрязнения. Один из наиболее загрязненных районов города – район с. Борисовка, где расположен мусорный полигон. Уровень аэрозольного загрязнения здесь превышает ПДК в течение 2-3 месяцев в году. А возгорание мусора на полигоне приводит к резкому ухудшению ситуации. При этом отмечаются превышения ПДК в 20, 30 и даже 40 раз, на протяжении 1-2 недель, пока горит свалка. В прошлом году это повторялось дважды, а в этом один раз. Поэтому мусорный полигон представляет собой опасность как для местных жителей, так и экологической обстановки города в целом. Другой причиной возникновения аэрозолей является работа промышленных предприятий, которые выбрасывают в атмосферный воздух множество твердых частиц (сажа, зола, пыль) и различных газов (оксиды углерода и азота, соединения серы). В г. Новороссийске находятся цементные заводы, производящие 17–25 % эмиссии аэрозолей от стационарных источников всего Краснодарского края. Для изучения их влияния на воздух были рассмотрены показания с датчиков, расположенных рядом с цементным заводом «Пролетарий» и цемзаводом Верхнебаканский. Содержание частиц в атмосферном воздухе в обоих случаях соответствует ПДК, но среднее содержание повышено. Причем, в поселке Верхнебаканский оно ниже. Возможно, это объясняется тем, что поселок расположен на перевале, который хорошо продувается всеми ветрами, а это способствует выносу и разубоживанию пыли в АПС данной местности. С другой стороны, в случае масштабных выбросов пыли цемзаводом это бы не спасло район от загрязнения. Как было в 80-90-х годах, когда весь поселок и деревья были покрыты пылью.

К техногенным источникам аэрозолей относится и автотранспорт. Транспорт обеспечивает более интенсивное загрязнение воздуха, чем деятельность заводов, но также ниже ПДК. Деятельность цемзаводов обеспечивает загрязнение атмосферы более мелкими частицами – PM<sub>2,5</sub>, а деятельность автотранспорта загрязняет атмосферу как крупными частицами – PM<sub>10</sub>, так и мелкими – PM<sub>2,5</sub>[6].

Исследования показывают, что формирование повышенных концентраций, потенциально токсичных взвешенных частиц в атмосфере возможно даже при отсутствии ярко выраженного техногенного загрязнения, а в результате взаимодействия метеорологических, гидрологических, геоморфологических и градостроительных особенностей, а также низкого уровня озеленения и благоустройства. Все это необходимо учитывать при оценке состояния окружающей среды

**Таблица 1.** Сравнение средних и максимальных значений за февраль 2024 г. с семи пунктов мониторинга.

	Средние значения, мкг/ м <sup>3</sup>		Макс. значения, мкг/м <sup>3</sup>		Время превышения ПДК, мин	
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
Набережная	12,9	3,8	21	7	-	-
ул. Уютная Колонка	13	6,8	25	14	-	-
ул. Элеваторная	20	8	42	14	-	-
с. Борисовка	40,3	11,3	109	29	8000	-
п. Мысхако	5	3	409	214	1146	840
п. Верхне- баканский	8,58	2,24	14,38	5,12	-	-
с. Глебовское	17	5,6	30	8	-	-

и проектирования населенных пунктов. Такой факт обнаружен в курортном пригороде – п. Мысхако [4, 5]. Особо следует отметить влияние на запыленность атмосферы влажности воздуха и близость водного объекта. Поэтому одно из самых низких значений среднегодовой концентрации обнаруживается в центре города, на набережной (табл. 1).

Дифференцированная оценка источников загрязнения воздуха пылью свидетельствует о, в целом, благополучной ситуации с контролем негативного влияния на окружающую среду цемзаводов и критической важности контроля транспортного загрязнения (преимущественно от грузовых дизельных машин). Но самое важное это контроль состояния полигона ТКО и предупреждение его возгораний, которые рожают масштабное загрязнение окружающей среды токсичными продуктами горения. В обоих случаях формируется большое количество сажи, загрязняющей воздух. Кроме того, один фактор, например ветер, в зависимости от силы и направления, может, как уменьшать концентрацию взвешенных частиц (п. Верхнебаканский, набережная Новороссийска), так и увеличивать (п. Мысхако) ее в конкретной точке. Рассматривая показания датчиков загрязнения воздуха, можно с уверенностью сказать – на содержание взвешенных частиц в атмосфере во многом влияет влажность воздуха. Это подчеркивает необходимость влажной уборки в городе и ее влияние на подавление распространения аэрозольного загрязнения в окружающей среде. Другим фактором очищения атмосферы является озеленение.

В связи с этим, для получения объективных данных о процессах формирования воздушного загрязнения, своевременного предупреждения о масштабном переносе ЗВ, а также создания моделей массопереноса в атмосфере и идентификации аэрозолей различного происхождения, необходимо более широкое распространение инициативы жителей города в рамках проекта «За чистый Новороссийск» по размещению лазерных датчиков загрязнения воздуха и исследование атмосферы населенных пунктов методами лазерного зондирования. При этом важным фактором повышения эффективности работы системы мониторинга является расширение перечня контролируемых параметров. Для определения источника различных аэрозолей атмосферного воздуха или техногенных аэродисперсных потоков, целесообразно использование многоволновых лидаров, которые позволяют дистанционно определить микрофизические характеристики аэрозольных частиц [6].

#### Литература

1. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М. 1998. – 413 с.
2. «За чистый Новороссийск»: [Электронный ресурс]. URL: <https://vk.com/zachin23>. (Дата обращения: 1.09.2025).
3. Дьяченко В.В., Шеманин В.Г., Вишневецкая В.В. Влияние техногенеза и геохимии аэрозолей на состояние окружающей среды и здоровье населения Юга России // География и природные ресурсы. – 2023. – Т. 44, № 4. – С. 46-58. – DOI 10.15372/GIPR20230405.
4. Дьяченко В.В., Куля Д.Н. Лазерное зондирование аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха над мусорным полигоном в г. Новороссийске / Лазеры. Измерения. Информация. – 2024. – Т. 4, № 4(16). – С. 45-51.
5. Дьяченко В.В., Куля Д.Н., Мореходов А.А. Оптический мониторинг аэрозольного загрязнения воздуха в г. Новороссийске / Лазеры. Измерения. Информация. – 2024. – Т. 4, № 3(15). – С. 37-45.
6. Дьяченко В.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Исследование дисперсного состава приземного атмосферного аэрозоля оптическими методами // ЛАЗЕР-ИНФОРМ, № 18, 2005.



# РАСЧЕТ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОГО НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА НА ОСНОВЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ГАУССОВОЙ МОДЕЛИ

Баранов Н.А.

*Вычислительный центр им. А. А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, г.Москва*

*E-mail: barnik.al@gmail.com*

Расчет распространения загрязняющих примесей от различных источников являются актуальной задачей как в сфере городской, так и промышленной экологии. Эффективным инструментом решения этой задачи для оперативного анализа экологической ситуации, а также задачи локализации источников загрязнения по данным мониторинга является гауссова модель переноса загрязняющих примесей [1 - 5]. В условиях гипотезе о стационарности источника загрязнения модель позволяет рассчитывать 3d-поля концентрации загрязняющих примесей с учетом условий стратификации, высоты инверсии, а также скорости ветра. При этом также предполагается, что перенос примеси происходит вдоль направления ветра, которое является неизменным.

Вместе с тем нередкими являются ситуации, когда по пути распространения загрязняющего вещества может происходить поворот вектора скорости ветра, что изменяет траекторию распространения факела загрязняющего вещества, которая становится криволинейной. Традиционная гауссова модель факела не позволяет выполнять расчеты концентрации примеси в таких условиях.

В рамках данной работы предложена модификация гауссовой модели, обеспечивающая возможность оперативного расчета полей концентрации загрязняющих веществ в условиях переменного направления ветра. Отметим, что источником данных о направлении ветра могут служить измерения как в районе самого источника загрязнения, так и на пунктах мониторинга экологической обстановки.

Модернизация гауссовой модели основана на гипотезе, что диффузия примеси в горизонтальной плоскости происходит в направлении, перпендикулярном локальному направлению скорости ветра, а расстояние, которое определяет величину коэффициентов диффузии в вертикальном и горизонтальном направлениях, вычисляется вдоль траектории распространения примеси.

Таким образом, при расчете полей концентрации в условиях переменного направления ветра в качестве первого этапа выполняется расчет траектории распространения загрязняющего вещества без учета атмосферной диффузии. После этого на основе гауссовой модели выполняется расчет диффузии в вертикальном направлении и горизонтальном направлении, перпендикулярном направлению ветра в локальных точках траектории.

В работе представлены результаты расчетов для ряда модельных примеров. Расчеты выполнены для различных категорий устойчивости атмосферы и высоты источника загрязнения. Представленные результаты отражают явления повышения концентрации в зоне вогнутости траектории и ее понижения в зоне выпуклости. Степень повышения уровня загрязнения в зоне вогнутости траектории распространения примеси определяется кривизной траектории, то есть интенсивностью повороте вектора скорости ветра.

Представленные результаты показывают возможности применения модифицированной гауссовой модели для оперативной оценки полей концентрации загрязняющих веществ в условиях переменного по направлению поля ветра.

## Литература

1. Lushi E., Stockie J. M. An inverse Gaussian plume approach for estimating atmospheric pollutant emissions from multiple point sources // Atmospheric Environment. 2010. V. 44. Iss. 8. P. 1097-1107.
2. Wang J., Wang B., Liu J., Cheng W., Zhang J. An inverse method to estimate the source term of atmospheric pollutant releases // Atmospheric Environment. 2021. V. 260: 118554.
3. Ajayi O. O., Ngene B. U., Ogbiye S. A. Plume Model: A Simple Approach to Air Quality Control // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2021. V. 1036: 012017.
4. Paraschiv S., Coman G., Paraschiv L. S. Simulation of plume dispersion emitted from industrial sources based on Gaussian model // AIP Conf. Proc. 2019. V. 2123. Iss. 1: 020059.
5. Micallef A., Micallef C. The Gaussian plume model equation for atmospheric dispersion corrected for multiple reflections at parallel boundaries: a mathematical rewriting of the model and some numerical testing // Sci. 2024. V. 6. No. 3: 48.





## ОЦЕНКА РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Колесникова Е.В.\* , Репина Д.А., Сазонова К.Д.

РГГМУ, г. Санкт-Петербург

E-mail: \*astra-j@mail.ru

Согласно статистике Росстата доля населения, имеющая респираторные патологии, составляет более 50%, поэтому сейчас одной из самых актуальных задач является оценка и контроль рисков здоровья для населения от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [1, 2].

Санкт-Петербург, в котором проживает более 5.5 миллиона человек, по численности жителей занимает второе место в стране после Москвы. В мегаполисе сосредоточены различные промышленные отрасли, которые способствуют выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух и возникновению негативных последствий для здоровья жителей. Особую роль в загрязнении атмосферного воздуха города играют топливно-энергетический комплекс и автотранспорт.

Исходные данные для работы собраны из архивов организации «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» и представляют собой усредненные ежемесячные значения концентраций загрязняющих веществ за период с 2013 по 2023 гг., полученные с 9 стационарных постов (взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, хлористый водород, аммиак, озон, фенол, толуол и ксилолы).

Оценка риска здоровью была произведена по стандартной схеме, то есть в 4 этапа: идентификация опасности, оценка экспозиции, оценка зависимости «доза-ответ» и характеристика риска [3].

Для оценки краткосрочного воздействия проведены расчёты риска обнаружения неспецифического запаха, для оценки долгосрочного воздействия – коэффициента опасности.

На рисунке 1 представлен вклад исследуемых загрязняющих веществ в неканцерогенный риск. Как можно видеть, наибольший вклад в суммарный неканцерогенный риск здоровью горожан вносят взвешенные вещества (24,7%), диоксид азота (21,8%), озон (20,8%) и хлористый водород (18,1%). Наименьший вклад вносят диоксид серы (0,21%), толуол (0,18%) и ксилолы (0,2%).

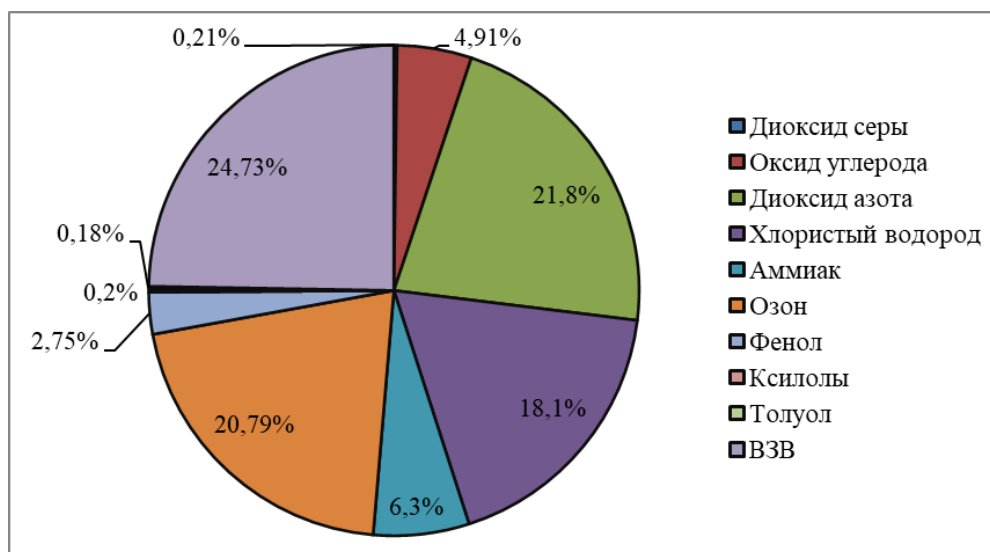


Рисунок 1. Вклад загрязняющих веществ в неканцерогенный риск в Санкт-Петербурге за период с 2013 по 2023 гг.



Неканцерогенный риск краткосрочного воздействия не превышал предельно допустимых значений (ПДЗ). Однако ситуация по неканцерогенному риску долгосрочного воздействия носит более серьёзный характер.

Коэффициенты опасности (НҚ) по таким компонентам, как взвешенные вещества, диоксид азота, озон и хлористый водород превышали ПДЗ практически в течение всего исследуемого периода.

Суммарный неканцерогенный риск (по НҚ) за период с 2013 по 2023 года превышает ПДЗ. В 2015 году он имел наибольшее значение (5,7 ПДЗ), что является недопустимым уровнем и требует мер по его снижению.

Известно, что загрязняющие вещества, вносящие наибольший вклад в формирование риска здоровью жителей Санкт Петербурга поступают от таких передвижных стационарных и источников, как ТЭЦ и автотранспорт. Чтобы снизить уровень неканцерогенного риска следует ужесточить контроль за выбросами от автомобилей с низким экологическим классом и развить экологичный общественный транспорт, особенно в районах с высокими концентрациями ЗВ.

### Литература

1. Министерство здравоохранения Российской Федерации [Электронный ресурс]: URL: <https://minzdrav.gov.ru/> (дата обращения 17.10.2025).
2. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 02.05.2025).
3. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс]: URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/cb0/4293853015.pdf> (дата обращения 30.11.2024)



# СЕКЦИЯ 2

ОЧИСТКА ВОЗДУХА,  
УТИЛИЗАЦИЯ  
ГАЗОВЫХ  
ВЫБРОСОВ,  
В ТОМ ЧИСЛЕ  
ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ



# ФОТОКАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ 2D-МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Козлова Е.А.<sup>а\*</sup>, Яхваров Д.Г.<sup>б</sup>

*а) ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск*

*б) Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН, г.Казань*

*E-mail: \*kozlova@catalysis.ru*

Современный тренд на снижение углеродного следа и одновременно растущее энергопотребление требуют создания новых или модернизации существующих систем генерирования энергии. Одновременно с этим, использование  $\text{CO}_2$  в производстве новых видов топлив позволит замкнуть углеродный цикл и будет способствовать решению проблем, связанных как с выбросами парниковых газов, так и с повышением спроса на энергоносители [1]. Традиционные каталитические технологии трансформации  $\text{CO}_2$  требуют повышенных температур и давлений, что подразумевает значительные энергетические затраты. Разработка и внедрение фотостимулированных процессов, протекающих под действием солнечного излучения, позволит значительно снизить затраты и углеродный след при восстановлении и переработке  $\text{CO}_2$  [2].

Основным фактором, сдерживающим практическое использование фотокаталитической конверсии  $\text{CO}_2$ , является отсутствие эффективных гетерогенных фотокатализаторов, функционирующих под действием солнечного света [3]. В настоящее время большое внимание в качестве фотокатализаторов привлекают слоистые 2D-материалы, такие, как графитоподобный нитрид углерода ( $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ). Новыми перспективными сокатализаторами являются 2D-структуры карбидов переходных металлов типа  $\text{M}_{n+1}\text{C}_n$  ( $n = 1, 2, 3$ ), относящиеся к классу MXene, благодаря своим уникальным свойствам: большой площади удельной поверхности, высокой электропроводности, узкой ширине запрещенной зоны, а также возможности функционализации поверхности за счет введения терминальных групп ( $-\text{OH}$ ,  $-\text{F}$  и др.), а также системы на основе восстановленного оксида графена ( $\text{r-GO}$ ) и малослойного чёрного фосфора (МЧФ) [4].

**Благодарность:** Работа поддержана Российским научным фондом (проект № 24-13-00416).

## Литература

1. Е.А. Козлова, В.Н. Пармон // Успехи химии, Т. 86, 870 (2017).
2. Е.А. Козлова, М.Н. Люлюкин, Д.В. Козлов, В.Н. Пармон // Успехи химии, Т. 90, 1529 (2021).
3. Р.Ф. Алексеев, А.А. Сараев, А.Ю. Куренкова, Е.А. Козлова // Успехи химии, Т. 93, RCR5124 (2024).
4. A.M. Kuchkaev, A.V. Zhurenok, A.M. Kuchkaev, A.V. Sukhov, V.S. Kashansky, M.M. Nikitin, K.A. Litvintseva, S.V. Cherepanova, E.Yu. Gerasimov, E.A. Kozlova, O.G. Sinyashin, D.G. Yakhvarov // Kinet. Catal., V. 65, No. 5, 579–585 (2024).



# SYNTHESIS AND PHOTOCATALYTIC STUDY OF FLOWER-LIKE $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ MICROSPHERES DECORATED WITH Au NPs

Shoaib M.<sup>\*</sup>, Zairov R.R.

*Aleksander Butlerov Institute of Chemistry, Kazan Federal University, 1/29 Lobachevskogo Str., Kazan,  
Russian Federation 420008*

*E-mail: \*mshoaib694@gmail.com*

$\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  is a widely considered a potential visible-light active photocatalyst. This is due to its low band gap and suitable redox potentials. The catalytic efficiency can be further improved by extending the absorption of  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  to the broader range of the visible wavelength spectrum and effectively separating photogenerated charge carriers. In present work the flower-like  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  microspheres enriched with different concentrations of Au nanoparticles (Au NPs) were synthesized. The prepared samples were characterized in terms of their morphology, structure, optics, and photocatalytic properties. Based on these characterizations, the influence of AuNP concentration on the photocatalytic properties of Au/ $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  was discussed. An increase in catalytic efficiency is observed when an optimal concentration of 5% Au NPs loaded  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  is used. This improvement in photocatalytic performance is due to the localized surface plasmon resonance of Au NPs, efficient charge separation and transfer, and a higher number of active sites. Beyond 5%, the efficiency decreases due to a reduction in the number of active sites and excessive accumulation of Au NPs, which act as recombination centers for the photogenerated charge carriers.

**Keywords:**  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ , Photocatalyst, Redox potentials, Hydrothermal process

## ESG СИБУР: РАЗВИТИЕ ПРОЕКТОВ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

Хуснуриялова А.Ф.<sup>\*</sup>, Колосов Н.А.<sup>®</sup>

ООО «СИБУР-Инновации», г. Казань

E-mail: <sup>\*</sup>khusnuriyalovaaf@innovation.sibur.ru, <sup>®</sup>kolosovna@innovation.sibur.ru

СИБУР – крупнейшая нефтегазохимическая компания и производитель современных синтетических материалов в России и СНГ. Как один из лидеров в области устойчивого развития СИБУР ведёт постоянную работу по внедрению технологических и других решений, направленных на повышение ресурсоэффективности компании и снижение климатического воздействия: реализуются мероприятия по снижению энергоемкости и выбросов парниковых газов (ПГ), расширяется портфель климатических проектов. Так, в компании имеются 8 реализованных климатических проектов с общим эффектом сокращения выбросов ПГ в размере 10,8 млн. тонн CO<sub>2</sub>-экв. на горизонте 10 лет [1].

2022	2023	2024
272,00	308,60	381,00

Рисунок 1. Объем выбросов ПГ, сокращенных в результате мероприятий по энергоэффективности СИБУР, тыс. тонн CO<sub>2</sub>-экв.

Опыт компании показывает, что забота о природе и экологии регионов и городов присутствия предприятий – это неотъемлемая часть устойчивости бизнеса в долгосрочной перспективе. Значительные успехи в снижении экологического воздействия были достигнуты благодаря модернизации производств и строительству новых объектов с использованием самых современных технологий, которые гармонично встроены в экосистемы города.

Стратегия СИБУР в области устойчивого развития сфокусирована на декарбонизацию и экономику замкнутого цикла не только через реализованные на настоящий момент климатические проекты с эффектом сокращения выбросов ПГ внутри компании, но и развитие новых технологий по переработке техногенного углекислого газа в продукты с добавленной стоимостью и замыкания углеродного цикла посредством инновационных разработок.

### Литература

1. Интегрированный годовой отчет ПАО «СИБУР Холдинг», Рег. номер 287.04.181.05.24, 223 стр. (2024).

# ELUCIDATING THE CRITICAL ROLE OF $\text{CH}_3\text{S}^*$ INTERMEDIATES IN SYNERGISTIC METHANE-HYDROGEN SULFIDE REFORMING OVER $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ CATALYSTS

Wu J.<sup>a,b,c</sup>, Huang Z.<sup>a,\*</sup>, He Z.<sup>a</sup>, Zairov R.<sup>b,c</sup>, He X.<sup>a</sup>, Huang Y.<sup>a</sup>, Fu M.<sup>a</sup>, Yuan C.<sup>d</sup>, Sinyashin O.G.<sup>c</sup>, Zhou Y.<sup>a,&</sup>

*a) State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation and School of New Energy and Materials, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China*

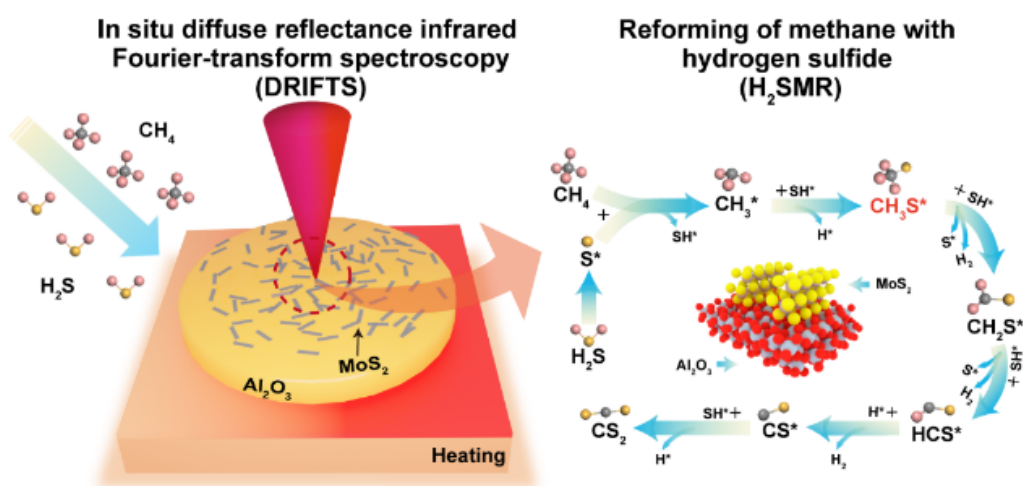
*b) Institute of Chemistry, Kazan Federal University, Kremlevskaya Str. 18, 420008 Kazan, Russia*

*c) Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 8 Arbuzov Str., 420088 Kazan, Russia*

*d) Department of Petroleum Engineering, Kazan Federal University, Kazan, 420008, Russia*

E-mail: <sup>\*</sup>zeai.huang@swpu.edu.cn, <sup>&</sup>yzhou@swpu.edu.cn

Methane ( $\text{CH}_4$ ) and hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ) reforming ( $\text{H}_2\text{SMR}$ ) is a promising strategy for producing valuable sulfur-carbon compounds and hydrogen without emitting  $\text{CO}_2$ . However, the underlying mechanisms of  $\text{CH}_4$  and  $\text{H}_2\text{S}$  interactions remain poorly understood, hindering the development of effective catalysts. In this study, we investigate the catalytic behavior of  $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$  to explore the synergistic conversion pathways of  $\text{CH}_4$  and  $\text{H}_2\text{S}$  in  $\text{H}_2\text{SMR}$ . At 1173 K for 0.5 hours, the catalyst achieved  $\text{CH}_4$  and  $\text{H}_2\text{S}$  conversion rates of 63.7% and 59.2%, respectively, with corresponding production rates of  $\text{H}_2$  and  $\text{CS}_2$  at  $688.8 \mu\text{mol g}^{-1} \text{min}^{-1}$  and  $444.3 \mu\text{mol g}^{-1} \text{min}^{-1}$ . Notably, the catalyst maintained stable performance for 5 hours, unlike pure methane cracking reactions, which saw a significant drop in  $\text{CH}_4$  conversion from 43.6% to 14.3%. Using in situ diffuse reflectance infrared Fourier-transform spectroscopy (DRIFTS) coupled with alternating  $\text{CH}_4/\text{H}_2\text{S}$  exposure experiments, we identified that  $\text{CH}_3\text{S}^*$  intermediates play a crucial role in the formation of  $\text{CS}_2$ . This intermediate-driven mechanism resolves previous debates on  $\text{CH}_4$ - $\text{H}_2\text{S}$  interactions and offers valuable strategies for optimizing catalytic systems.



## Reference to publications

1. J. Wu, Z. Huang, Z. He, R. Zairov, X. He, Y. Huang, M. Fu, C. Yuan, O.G. Sinyashin, Y. Zhou, J. Catal. 448 (2025) 116168.

**This work was supported** by the grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for large scientific projects in priority areas of scientific and technological development (075-15-2024-646).



# КАТАЛИТИЧЕСКАЯ УГЛЕКИСЛОТНАЯ КОНВЕРСИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА

Байбурский В.Л.<sup>\*</sup>, Бельдова Д.А., Соколовский П.В., Кустов А.Л.

ИОХ РАН, г. Москва

E-mail: <sup>\*</sup>*dashabelk@yandex.ru*, <sup>&</sup>*sorbent@ioc.ac.ru*

Углекислотная конверсия – один из перспективных методов использования невострепованных углеродных материалов с целью получения монооксида углерода, который можно использовать в различных направлениях химической технологии. Одним из таких невострепованных углеродных материалов является гидролизный лигнин. Использование нанесенных катализаторов позволяет смягчить условия протекания процесса, а значит повысить экономическую эффективность метода. Также использование углекислого газа в качестве одного из реагентов позволяет снизить углеродный след.

Авторами ранее было установлено, что использование нанесенных на поверхность гидролизного лигнина катализаторов – соединений железа и кобальта позволяют достичь такой же конверсии диоксида углерода при температуре ниже на 100–200 °С [1-2]. В данной работе была сделана оценка каталитической активности соединений Fe, Co, Ni в реакции углекислотной конверсии растительной биомассы (шелухи подсолнечника – SFH). Нанесение соединений триады железа на поверхность выбранного материала было произведено методом пропитки по влагоемкости водным раствором нитрата. После пропитки образцы просушивались в течение 24 часов при температуре 100 °С. Массовая доля металла в полученных материалах составляла 1, 3, 5, 7 масс. %. Материалы были исследованы методом СЭМ-EDX до процесса и методом порошкового РФА после проведения процесса. Картирование поверхности подготовленного к процессу материала показало однородность нанесения соединений никеля по поверхности гидролизного лигнина. Приготовленные материалы были исследованы в реакции углекислотной конверсии в диапазоне температур 200–800 °С и атмосферном давлении (рис. 1). Нанесенные на поверхность гидролизного лигнина соединения никеля позволяют существенно снизить температуру процесса.

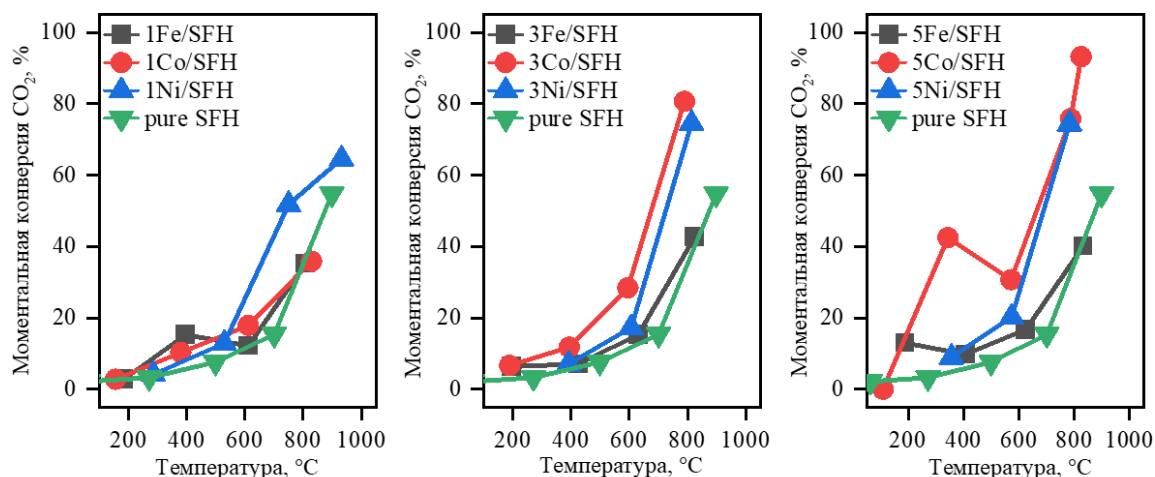


Рисунок 1. Зависимость конверсии CO<sub>2</sub> от температуры в процессе углекислотной конверсии растительной биомассы (шелухи подсолнечника) для разных массовых долей содержания металла триады железа.

## Литература

1. Tarasov, A. L., Kostyukhin, E. M., & Kustov, L. M. (2018). Gasification of metal-containing coals and carbons via their reaction with carbon dioxide // *Mendelev Communications*, 28(5), 530–532.
2. Медведев А.А., Кустов А.Л и др.// Способ получения монооксида углерода из лигнина гидролизного под действием CO<sub>2</sub>. Патент России № RU 2 741 006, 2021.





## РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧНОЙ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Василевская А.Э., Мошков А.И., Пономарева А.А.

НИУ ИТМО, г. Санкт-Петербург

E-mail: 336429@niuitmo.ru

Низкотемпературный топливных элементах (НТЭ), где единственными выбросами являются водяной пар и тепло, может послужить выгодной заменой двигателям внутреннего сгорания. Эта технология представляет собой перспективное решение вызова декарбонизации и очистки воздуха в мегаполисах. Широкое распространение НТЭ сдерживает высокая стоимость основного компонента - протонообменной мембраны, зачастую производимой из дорогостоящих полимеров на основе перфторсульфоновой кислоты. В данной работе предлагается способ преодоления этого барьера путем создания доступной мембраны на основе более экологичного и доступного биополимера ацетата целлюлозы [1]. Для улучшения свойств мембраны предложен способ модификации углеродными точками (УТ).

Были изготовлены мембраны на основе ацетата целлюлозы (5% и 7% по массе) с использованием чистого N,N-диметилформамида (ДМФА) и смеси ацетона и ДМФА (1:19 соответственно) [4]. Мембраны были модифицированы путем добавления УТ, синтезированных по запатентованной методике [5]. Объемное распределение УТ увеличивало гидрофильность мембран на 15–20%. ИК-спектроскопия подтвердила физическую природу взаимодействия между УТ и полимерной матрицей. Объемное введение УТ привело к увеличению прочности при растяжении на 2–3%. Максимальное увеличение протонной проводимости в 5 раз было зафиксировано для мембран на основе ДМФА с 7% содержанием ацетата целлюлозы. Образцы с объемным распределением УТ сохранили 89% проводимости после теста Фентона, в то время как аналоги с модифицированной поверхностью потеряли до 62%.

Полученные результаты демонстрируют, что созданный материал обладает улучшенными протонопроводящими и механическими характеристиками, открывая путь к созданию недорогих и экологичных НТЭ для чистого транспорта будущего.

### Литература

1. Kaur G. (ed.). PEM fuel cells: fundamentals, advanced technologies, and practical application. – Elsevier, 2021.
2. Василевская А.Э., Мошков А.И., Кецо А.И. (науч. рук. Пономарева А.А.) Модификация мембран углеродными точками для топливных элементов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2025.
3. Пат. 2824005 Российская Федерация, МПК C01B 32/18 (2017.01); C07K 16/18 (2006.01). Способ синтеза функциональных углеродных квантовых точек/ Коренков Е. С., Никитин М.П.: заявитель и патентообладатель ФГБУН ИНБИ РАН. – № RU2023134513А; заявл. 28.11.2023; опубл. 04.07.2024, Бюл. № 19.

# КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ Pd, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ОКТАКАРБОКСИ-ТЕТРАУНДЕЦИЛКАЛИКС[4]- РЕЗОРЦИНАРЕНОМ, В РЕАКЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА

Лебедева Э.М.\*, Низамеева Г.Р., Морозова Ю.Э., Зиганшина А.Ю.,  
Низамеев И.Р. Кадилов М.К.

ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: \*elgina.lebed@mail.ru

Чрезмерное потребление энергоресурсов из ископаемого топлива (нефть, уголь, природный газ) приводит к серьезным экологическим проблемам. В связи с этим, человечество активно работает над созданием и внедрением «зеленой» энергетики [1]. В настоящее время водород считается самым перспективным и экологически чистым видом топлива, который может заменить не возобновляемые источники энергии [2]. Экологически безопасным и простым способом производства водорода является электролиз воды. Однако, основная проблема данной технологии – это необходимость использования большого количества энергии [3]. Поэтому создание новых и эффективных катализаторов для снижения энергетических затрат является важной и обязательной задачей современности.

В данной работе в качестве катализаторов для реакции выделения водорода предлагается применять каталитические системы на основе наночастиц Pd, стабилизированных октакарбокси-тетраундецилкаликс[4]резорцинареном. Исследованы две каталитические системы (**Образец 1** и **Образец 2**) отличающиеся содержанием палладиевых наночастиц в структуре макроцикла. Количество палладия в **Образце 2** в 1,5 раза больше по сравнению с **Образцом 1**.

Электрохимические характеристики каталитических систем в отношении реакции выделения водорода изучали в стандартной трехэлектродной электрохимической ячейке. Модифицированные **Образцом 1** и **Образцом 2** стеклоуглеродные электроды использовали в качестве рабочего электрода, насыщенный хлоридсеребряный электрод и графитовый стержень – в качестве электрода сравнения и вспомогательного электрода, соответственно. Измерения линейных вольтамперных кривых

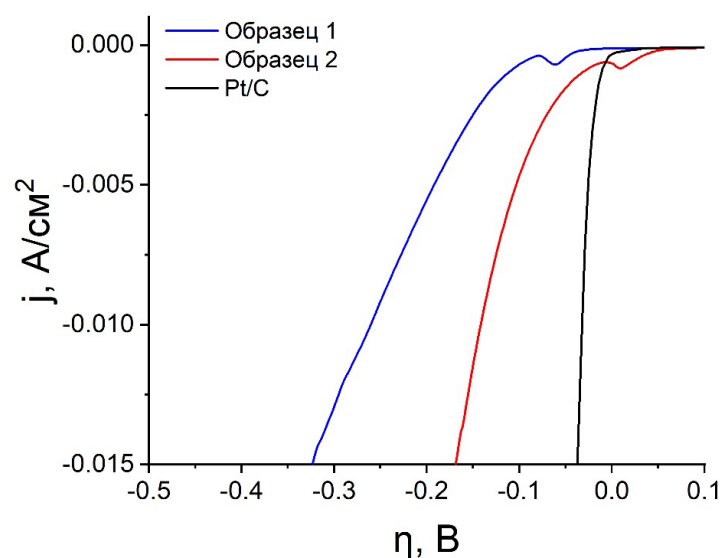


Рисунок 1. Поляризационные кривые реакции выделения водорода для Образца 1, Образца 2 и Pt/C в водном растворе 0,5 М. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



проводили в водном растворе 0,5 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в бескислородной среде со скоростью сканирования 2мВ/с.

Эффективность электрокатализаторов в реакции выделения водорода была исследована путем анализа поляризационных кривых, представленных на рисунке 1. Сравнение полученных данных свидетельствует о наиболее низкой электрокаталитической активности для **Образца 1**, значение перенапряжения которого при плотности тока 10 мА/см<sup>2</sup> составляет 261 мВ. В то же время, **Образец 2** демонстрирует гораздо более высокую электрохимическую активность, обеспечивая достижение плотности 10 мА/см<sup>2</sup> уже при перенапряжении 141 мВ, что на 120 мВ ниже по сравнению с **Образцом 1**. Для сравнения на рисунке 1 приведена поляризационная кривая коммерческого электрокатализатора на основе платины Pt/C.

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

#### Литература

1. I. El-Hallag, S. Elsharkawy, S. Hammad // Journal of Applied Electrochemistry, V. 52, 907-918 (2022).
2. M. Velasco-Plascencia, O. Vázquez-Gómez, L. Olmosetal. // Catalysts, V. 13, 517 (2023).
3. F. Zhou, Y. Zhou, G. G. Liuetal. // Rare Metals, V. 40, 3375-3405 (2021).



# КОМПОЗИТНАЯ БИОПОЛИМЕРНАЯ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ХИТОЗАН/НИКЕЛЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА

Низамеева Г.Р.\*, Лебедева Э.М., Воробьева В.В., Низамеев И.Р.

ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: \*guliya.riv@gmail.com

Зависимость мировой экономики от ископаемого топлива порождает комплекс экологических и социально-геополитических проблем. Прогнозируемый рост его потребления на фоне сокращения запасов ведёт к обострению этих кризисов. Альтернативой является ускоренный переход на возобновляемые источники энергии. Водород, обладая статусом наиболее распространенного элемента на Земле и характеризуясь экологической чистотой, рассматривается в качестве перспективного энергоносителя будущего [1–4]. Основным препятствием для масштабирования водородной энергетики является высокая стоимость и недоступность катализаторов, требуемых для электролиза воды. Существующие решения на базе благородных металлов (Pt, Ir, Ru) экономически нецелесообразны для глобального внедрения. В связи с этим активно исследуются альтернативные материалы, среди которых комплексы биополимеров с переходными металлами выделяются как многообещающий класс. Их потенциал обусловлен уникальным сочетанием каталитической активности, экологической чистоты и экономической эффективности.

В настоящей работе обсуждаются результаты использования биополимерной матрицы на основе хитозана для формирования композитных никелевых электрокатализаторов реакции выделения водорода. В работе хитозан использовался в качестве каркаса для электрохимического осаждения металлического никеля (Ni) и ориентированной сети волокон никеля (NiFs) с последующей оценкой влияния полимерной матрицы на морфологию поверхности и каталитическую активность полученных электроосажденных каталитических слоев. На рисунке 1 приведены поляризационные кривые для всех исследуемых электрокатализаторов, зарегистрированные в водном растворе 0,5 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при скорости сканирования 2 мВ/с. Все кривые представлены с учетом коррекции на падение напряжения  $iR$  в электролите. Среди представленных электрокатализаторов наилучшей эффективностью в реакции выделения водорода обладает **Хитозан/Ni+NiFs**. Перенапряжение

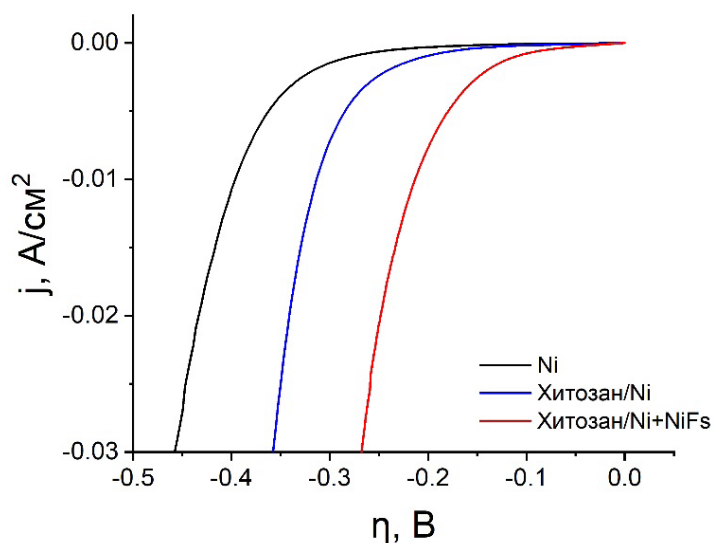


Рисунок 1. Катодные поляризационные кривые электрокатализаторов на основе Хитозан/Ni и Хитозан/Ni+NiFs, полученные в водном растворе 0,5 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при скорости сканирования 2 мВ/с. Черная линия представляет отклик контрольного катализатора на основе Ni.



выделения водорода при  $10 \text{ мА/см}^2$  для данной системы составляет 0,213 В. Покрытие **Хитозан/Ni**, по сравнению с **Хитозан/Ni+NiFs**, обладает меньшей электрокаталитической активностью. Перенапряжение реакции выделения водорода для данной системы на 104 мВ больше и составляет 0,317 В. Для сравнения на рисунке также приведена поляризационная кривая слоя **Ni**. Перенапряжение на слое **Ni** составляет 0,396 В, что на 183 мВ больше по сравнению с **Хитозан/Ni+NiFs**.

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

#### Литература

1. D. Guan, B. Wang, J. Zhang, R. Shi, K. Jiao et al. // *Energy & Environmental Science*, V. 16, 4926-494 (2023).
2. S. P. Shelake, D. N. Sutar, B. M. Abraham, T. Banerjee, A. V. S. Sainath et al. // *Advanced Functional Materials*, V. 34, 2403795 (2024).
3. M. K. Singla, J. Gupta, S. Beryozkina, M. Safaraliev et al. // *International Journal of Hydrogen Energy*, V. 61, 664-667 (2024).
4. T. Sebbagh, M. E. Şahin, C. Beldjaatit // *Clean Technologies and Environmental Policy*, V. 26, 4017-4040 (2024).

# СЕКЦИЯ 3

ОЧИСТКА  
ПРИРОДНЫХ  
И  
СТОЧНЫХ ВОД





## УТИЛИЗАЦИЯ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ: ОСНОВНЫЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ПЕРЕРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Фазлиев Т.Р.<sup>а</sup>, Приданников М.Д.<sup>а</sup>, Люлюкин М.Н.<sup>а,б</sup>, Селищев Д.С.<sup>а</sup>, Козлов Д.В.<sup>а\*</sup>

а) ИК СО РАН, г. Новосибирск

б) ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: \*kdv@catalysis.ru

Этиленгликоль (ЭГ) является одним из ключевых компонентов ливневых стоков аэропортов, поскольку он активно используется в составе антиобледенительных жидкостей для предотвращения формирования наледи на поверхности летательных аппаратов. Несмотря на свою относительно невысокую токсичность, ЭГ может приводить к активному размножению микроорганизмов и уменьшению концентрации растворенного кислорода, следствием чего может являться гибель рыбы в водоемах.

Методы утилизации сточных вод от органических примесей, в целом, и ЭГ, в частности, разделяют на деструктивные, связанные с химическим или биологическим расщеплением соединений экотоксикантов, и недеструктивные (адсорбция, фильтрация, коагуляция и др.). На рис. 1 представлена краткая классификация методов утилизации сточных вод.

Помимо применяющихся на данный момент методов регенерации ЭГ или его контролируемой биodeградации, перспективным подходом к удалению этиленгликоля из ливневых вод аэропортов является использование продвинутых окислительных процессов (ПОМ) для минерализации органических примесей. В качестве окислителя может быть использован пероксид водорода, являющийся доступным и экологически чистым реагентом.

В ходе работы были изучены разные методы активации  $H_2O_2$  для минерализации ЭГ (каталитический, электрохимический, фотохимический, фотокаталитический), а также их комбинации. Было показано, что наибольшую скорость минерализации ЭГ в сочетании с эффективностью использования  $H_2O_2$  обеспечивает фотохимическая активация излучением УФС диапазона, при этом скорость и глубина минерализации могут быть увеличены за счет дополнительного барботирования реакционной смеси воздухом [1]. Комбинирование методов активации  $H_2O_2$  продемонстрировало возможность достижения синергетического эффекта, значительно увеличивающего эффективность процесса. Например, при добавлении ионов  $Fe^{2+}$  в систему  $H_2O_2$ /УФС наблюдалось многократное



Рисунок 1. Методы утилизации сточных вод.

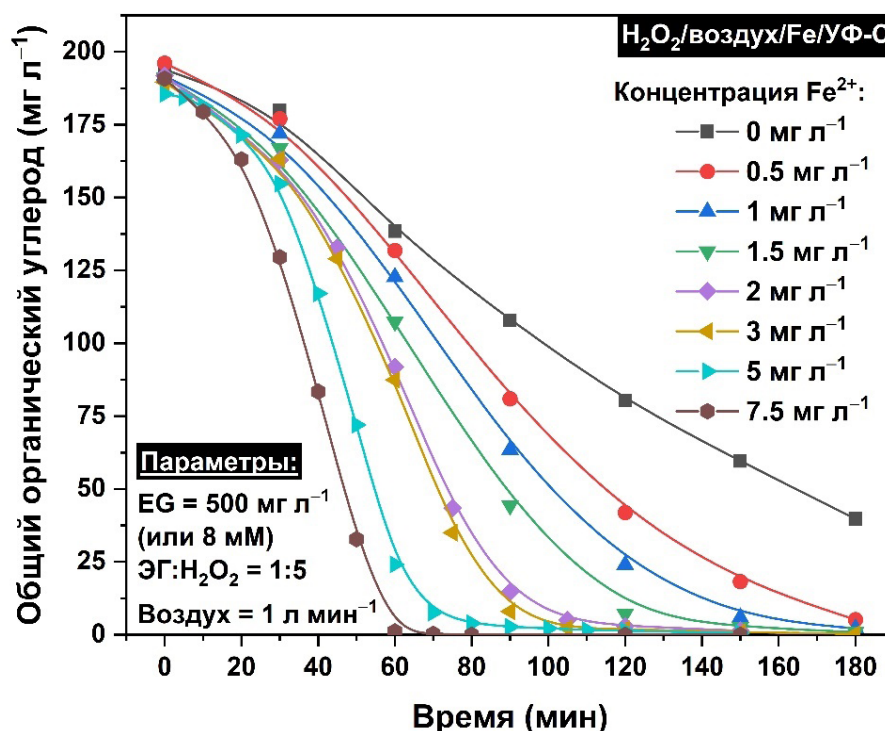


Рисунок 2. Кинетические кривые минерализации ЭГ в зависимости от концентрации Fe<sup>2+</sup> в системе Н<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/воздух/Fe/УФ-С.

увеличение скорости минерализации ЭГ (рис. 2). Анализ состава реакционной смеси в процессе минерализации ЭГ и ключевых интермедиатов в системе Н<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/УФС методом ВЭЖХ позволил определить основные возможные маршруты данных превращений.

Результаты, полученные в ходе исследования, будут использованы для разработки простого и эффективного метода окислительной деструкции ЭГ в ливневых сточных водах аэропортов.

**Благодарность:** Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования РФ на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект № 075-15-2024-646). Часть работы выполнена в рамках государственного задания ИК СО РАН (проект FWUR-2024-0036).

#### Литература

Fazliev T., Lyulyukin M., Kozlov D., Selishchev D. // *Molecules*, V. 30, № 1 (2025). P. 49.



## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦИНКА ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СОРБЕНТОВ

Юшин Н.С. \*, Зиньковская И.И.

ОИЯИ, г. Дубна

E-mail: \*ynik\_62@mail.ru

Сточные воды, особенно цинксодержащие промышленные стоки, представляет значительные риски для окружающей среды и здоровья человека. Традиционные методы очистки промышленных стоков часто являются дорогостоящими и неэффективными при низких концентрациях металлов. Биосорбция с использованием микробной биомассы представляет перспективную и экологичную альтернативу традиционным методам очистки

Были проведены два параллельных исследования. В первом пивные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* были использованы для очистки четырех модельных цинксодержащих стоков (Zn, Zn-Sr-Cu, Zn- Ni-Cu, и Zn-Sr-Cu-Ba) и стока гальванического производства [1]. Во втором исследовании был использован гибридный минерально-органический сорбент, состоящий из биопленки *Shewanella xiamenensis*, выращенной на природном цеолите [2]. Были оптимизированы ключевые параметры: pH, время контакта, начальная концентрация металла, температура и дозировка сорбента. Концентрации металлов определяли методами нейтронно-активационного анализа (НАА) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Были смоделированы кинетика, изотермы и термодинамика адсорбции. Участие функциональных групп в связывании ионов металлов было описано с помощью ИК-Фурье спектроскопии.

Оба биосорбента продемонстрировали высокую эффективность удаления цинка из стоков в диапазоне pH от 3,0 до 6,0. Эффективность сорбции цинка дрожжами из модельных растворов достигала 100%, а из промышленного стока 85% при двухстадийном процессе очистки. Модель Ленгмюра наилучшим образом описывала адсорбцию с максимальной емкостью 17 мг/г. Кинетика сорбции соответствовала моделям псевдо-второго порядка и Еловича, что указывает на преобладание хемосорбции. Термодинамические параметры подтверждали спонтанность и эндотермичность процесса.

Гибридный сорбент продемонстрировал максимальную сорбционную емкость 6,5 мг/г и обеспечивал эффективность удаления цинка промышленных сточных вод до 85% при двухстадийном процессе. Степень покрытия цеолита биопленкой составила 81,6%, что способствовало повышению сорбции за счет функциональных групп и ионного обмена. ИК-Фурье спектроскопия подтвердила участие –ОН, О–Si–О и других групп в связывании металлов.

Как *Saccharomyces cerevisiae*, так и *Shewanella xiamenensis*, иммобилизованная на цеолите, являются эффективными и недорогими биосорбентами для удаления цинка из сложных сточных вод. Биомасса дрожжей продемонстрировала более высокую сорбционную способность, в то время как гибрид биопленки и цеолита обеспечил более лёгкое разделение и повторное использование сорбента. Двухступенчатая стратегия очистки значительно повысила эффективность удаления цинка из промышленных стоков, что подчеркивает потенциал масштабируемых и экологически безопасных решений для очистки сточных вод.

### Литература

1. Zinicovscaia, I., Yushin, N., Abdusamadzoda, D., et al. // Materials, 13(16), 3624 (2020)
2. Zinicovscaia, I., Yushin, N., Grozdov, D., et al. //Materials, 14(7), 1760 (2021)

# РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИСИЛОКСАНОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ПЕРВАПОРАЦИОННОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ФЕНОЛА ИЗ ВОДЫ

Рохманка Т.Н.<sup>а,\*</sup>, Грушевенко Е.А.<sup>а</sup>, Пак Д.А.<sup>а</sup>, Борисов И.Л.<sup>а,б</sup>, Баженов С.Д.<sup>а</sup>

а) ИНХС РАН, г. Москва

б) ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: \*rokhmankatn@ips.ac.ru

Выбросы фенола и его производных с водными стоками представляют серьезную экологическую угрозу из-за токсичности данных соединений [1]. В этой связи необходимо выделять данные соединения из промышленных сточных вод. Мембранные технологии представляются перспективными для решения задачи рекуперации фенольных соединений из водных сред за счет таких преимуществ, как простота и компактность установок, а также сравнительно низкое потребление энергии. Наиболее перспективна для этой задачи первапорация. Для выделения фенола используют гидрофобные мембраны, к примеру на основе силиконовых каучуков, поскольку они обладают высокой проницаемостью и избирательной проницаемостью в отношении органических соединений [3]. В данной работе представлено исследование возможности применения мембран на основе полиалкилметилсиликонов для извлечения фенола из воды, а также влияния бокового алкильного заместителя на транспортные и разделительные характеристики мембран.

Формовочный раствор и композиционные мембраны на основе полиалкилметилсиликонов (ПАМС) с различными боковыми группами (полигексилметилсилиоксан (С6), полигептилметилсилиоксан (С7), полиоктилметилсилиоксан (С8) и полидецилметилсилиоксан (С10)) получали по методике, предложенной в работе [4]. Мембраны с селективным слоем из синтезированных полимеров были обозначены как М-С6, М-С7, М-С8 и М-С10, соответственно. Сродство мембранных материалов к фенолу определяли на основании значений коэффициентов распределения фенола в полимерных пленках. На основании полученных данных показано, что все синтезированные полиалкилметилсилиоксаны характеризуются высоким сродством к фенолу, что позволяет ожидать его концентрирования в пермеате при разделении. Было показано, что среди образцов ПАМС наибольшие величины коэффициентов распределения фенола наблюдаются для С6 и С7 и составляют 1.98 и 2.16, соответственно. Исследование транспортных и разделительных характеристик мембран проводили при первапорационном разделении смеси фенол (4% мас.)/вода при 30°C. На рисунке 1 представлены величины потоков и факторов разделения для исследуемых мембран по смеси фенол/вода.

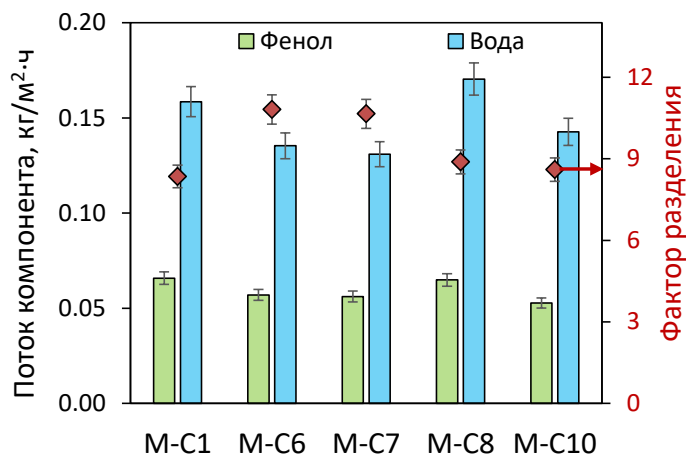


Рисунок 1. Потоки компонентов и фактор разделения фенол-вода для исследуемых мембран.



Из рисунка 1 видно, что увеличение длины бокового заместителя от метила (полидиметилсилоксан (М-С1)) до гептила приводит к снижению потока фенола на 14%, затем данная величина проходит через максимум для образца М-С8 ( $0.065 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ ) и вновь опускается до значения  $0.053 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$  (М-С10). Поток воды имеет аналогичную тенденцию. Изменение фактора разделения фенол-вода симбатно изменению коэффициентов распределения фенола в полимерах селективного слоя мембран. Наивысший фактор разделения наблюдается для образца М-С6 (10.81), что свидетельствует о его повышенной селективности по отношению к фенолу. Близкое значение фактора разделения демонстрирует М-С7 – 10.65. Дальнейшее увеличение длины бокового заместителя приводит к снижению фактора разделения на 19%.

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с использованием средств Соглашения о предоставлении из федерального бюджета гранта на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития от «12» июля 2024 г. № 075-15-2024-646.

#### Литература

1. X. Sun, C. Wang, Y. Li et al. // Desalination, V. 355, 68–74 (2015).
2. L.G.C. Villegas, N. Mashhadi, M. Chen et al. // Curr. Pollut. Rep, V. 2, 157-167 (2016).
3. W. Raza, J. Lee, N. Raza et al. // J. Ind. Eng. Chem, V. 71, 1–18 (2019).
4. A. Brunetti, P.F. Zito, I. Borisov et al. // Fuel Process. Technol, V. 210, 106550 (2020).



## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТОВ БИОХИМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ НИТРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ

Голосов Е.В.<sup>а</sup>, Жидков М.В.<sup>а</sup>, Куликова А.А.<sup>а</sup>, Супырев А.В.<sup>б</sup>,  
Саратовских Е.А.<sup>а\*</sup>, Яруллин Р.Н.<sup>б</sup>

а) ФИЦ ПХФ и МХ РАН, г. Черноголовка

б) ФГАОУ ВО КФУ, г. Казань

E-mail: \*easar@icp.ac.ru

Производство фильтрующих материалов, лаков, красок, искусственных кож, целлулоида, порохов тесно связано с нитрованными полимерами (НП). Отходы производства НП нетоксичны, но в больших объёмах приравняются к веществам с выраженным мутагенным действием [1]. В последние годы весьма популярными стали биологические методы обработки отходов различных промышленных производств. Нами проведена серия работ по разложению НП сульфатредуцирующими бактериями *Nitratidesulfovibrio vulgaris*, мицелиальным грибом рода *Fusarium*, а так же активным илом (АИ) очистных сооружений [2–4]. В настоящем исследовании физико-химическими методами мы провели сравнение строения продуктов, полученных в результате разных вариантов биологического разложения НП. За период инкубации (65 суток) НП на среде содержащей гриб *F. solani* изменения pH происходят от 6,8 до 5,56. Однако, чёткой зависимости не наблюдается. Возможно, что продукты гидролиза НП используются микроорганизмами для поддержания жизнедеятельности по мере исчерпания первоначального субстрата. Методом ИК-спектроскопии показано, что инкубирование НП в течение 65 суток на бактерии *N. vulgaris* приводит к снижению количества нитрогрупп и накоплению продуктов гидролиза НП. Методом электронной микроскопии обнаружено принципиальное различие структуры хаотично переплетенного крупного волокна разной длины и формы исходной НП и аморфных порошкообразных продуктов биохимического разложения НП, полученных после инкубации на соответствующем микроорганизме.

**Благодарность:** Работа выполнена в соответствии с темой № FFSG-2024-0012 Государственного задания (№ государственной регистрации 124020500019-2).

### Литература

1. О. Е. Петрова, Н. Б. Тарасова, М. Н. Давыдова // Микробиология, Т. 71 (2002).
2. Y. V. Ryzhmanova, L. V. Avdeeva, E. A. Saratovskikh, V. A. Shcherbakova, E. V. Golosov, R. N. Yarullin // Biophysical Reviews, V. 15, 1379 (2023).
3. А. А. Куликова, В. А. Габрин, Е. А. Саратовских, А. Т. Лебедев, Е. В. Голосов, Р. Н. Яруллин // Актуальные вопросы биологической физики и химии, Т. 9, 108 (2024).
4. А. В. Супырев, Р. Н. Яруллин, А. А. Куликова, Е. В. Голосов, Е. А. Саратовских // Химическая безопасность, Т. 9, 94 (2025).





# АДСОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Соколовский П.В., Русских А.А. \*, Веденяпина М.Д.

ИОХ РАН, г. Москва

E-mail: \*AnnRuss15@yandex.ru

Рост и расширение промышленных предприятий ведет к увеличению количества экологически опасных загрязнителей в сточных водах [1], при очистке которых наиболее часто применимы адсорбционные методы. Адсорбенты на основе активированных углей являются эффективными в связи с особенностями структуры поверхности, а также возможностями варьирования распределения и размера пор.

Для адсорбционного удаления органических отходов рассматриваются активированные угли, синтезированные из различного органического сырья термическим и химическим методами [2]. Объектом исследования является гербицид 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота).

Для оценки сорбционной способности по отношению к загрязнителям были синтезированы адсорбенты из скорлупы орехов макадамия, канариума, кокоса, грецкого. Карбонизация проводилась в одинаковых условиях при 850 °С. Активация проводилась с использованием водяного пара в интервале температур от 400–850°С или щелочи.

Анализ показывает получение высоких значений сорбционной активности по отношению к гербициду в случае термически активированных углей. На рисунке 1 приведены численные характеристики значений сорбционной емкости.

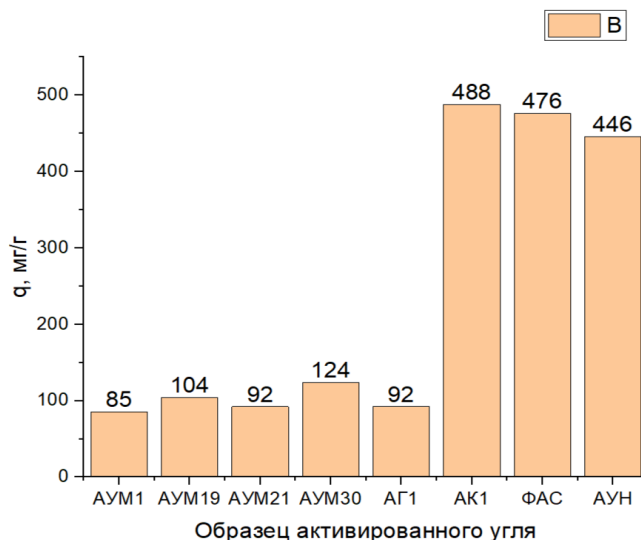


Рисунок 1. Сорбционная емкость (q) синтезированных и промышленных образцов.

Выводы: Анализ синтезированных углей показал стабильные значения сорбционной емкости у термически активированных образцов. Образец АК1 из ореха канариум превзошел по сорбционной емкости промышленные активированные угли. Химически активированные и активированные при 400°С образцы оказались не эффективными по отношению к гербициду, в дальнейшем концентрация в растворе повышалась.

## Литература

1. Моисеева Е. Проблемы очистки сточных вод //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – Т. 2. – №. 12. – С. 28-30.
2. Harabi S. et al. Adsorption of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid on activated carbons from macadamia nut shells //Environmental research. – 2024. – Т. 247. – С. 118281.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ НОВЫХ МЕТОДОВ УСТРАНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ И МАЗУТА

Черный А.С.<sup>\*</sup>, Петров Н.Н.<sup>✉</sup>, Буков Н.Н.

ФГБОУ ВО «КубГУ», г. Краснодар

E-mail: <sup>\*</sup>chernyy.alexandre@gmail.com, <sup>✉</sup>nikpetro@yandex.ru

В современных условиях при активном развитии промышленности и технологий особое значение приобретает обеспечение экологической безопасности. Одной из наиболее серьезных экологических проблем остаются аварийные нефтеразливы, ежегодно приводящие к поступлению в окружающую среду миллионов тонн нефтепродуктов. По оценкам на территории России ежегодно фиксируется до 4,5 млн тонн утечек нефти и нефтепродуктов, что делает нефтяные загрязнения одним из наиболее масштабных техногенных факторов воздействия на экосистемы [1].

Наиболее опасными считаются разливы нефти на водной поверхности, возникающие вследствие утечек из трубопроводов, резервуаров или аварий транспортных судов [2]. После поступления в водную среду нефтепродукты разделяются на две фракции: лёгкие (бензин, керосин, дизельное топливо), распространяющиеся по поверхности воды, и тяжёлые (мазут, асфальтены, смолы), которые частично погружаются в толщу воды и оседают на дно. Лёгкие фракции сравнительно быстро подвергаются биодegradации под воздействием кислорода и солнечного излучения, тогда как тяжёлые нефти практически не разлагаются естественным путём, образуя плотные липкие массы, способные загрязнять донные осадки и береговую линию на глубину до 3–4 м [2,3].

Осевшая тяжёлая нефть, представленная преимущественно асфальтенами, смолами и мазутом, образует экологически опасные осадки, обладающие высокой вязкостью, значительной молекулярной массой и устойчивостью к окислению. Такие соединения характеризуются низкой скоростью естественного разложения и могут сохраняться в водной среде десятилетиями [4].

Яркие примеры крупных аварий, сопровождавшихся разливами мазута, включают катастрофу танкера «Находка» (Японское море), в результате которой в море было выброшено около 5 тыс. тонн топчного мазута, и затопление круизного судна «Explorer», приведшее к утечке примерно 185 тыс. тонн топлива [4, 5]. Недавний инцидент с танкерами «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» (2024 г.) в Керченском проливе стал наиболее масштабным за последние годы: в акваторию попало около 3700 тонн мазута марки М-100, загрязнение распространилось на более чем 100 км побережья. Особенностью этого вида мазута является близкая к воде плотность, из-за чего он может как всплывать, так и оседать в зависимости от температуры. Загрязнение привело к формированию послойных отложений песок/мазут/песок толщиной до 15 см, что вызвало значительное нарушение экосистем береговой зоны.

В настоящее время наиболее распространённым методом ликвидации подобных загрязнений остаётся механический сбор мазута с поверхности воды и суши (лопаты, сита, мешки), а также химическая нейтрализация с применением фосфогипса, обладающего кислой средой и способного катализировать распад углеводов до воды, сероводорода и углекислого газа [6,7]. Однако данные методы трудоёмки, энергоёмки и неэффективны при очистке донных отложений.

Очистка водных экосистем от нефтепродуктов традиционно включает три стадии: локализацию загрязнения, сбор нефти и утилизацию отходов. Наиболее сложным этапом при авариях с тяжёлой нефтью является извлечение мазута из водной толщи и донных осадков, поскольку он обладает низкой летучестью, высокой вязкостью и слабой биоразлагаемостью [8].

Современные направления разработки технологий удаления тяжёлой нефти включают:

Биоремедиацию – использование микроорганизмов-деструкторов для окисления углеводов. Метод экологически безопасен и перспективен, однако характеризуется низкой скоростью деградации и эффективен только при температуре воды выше 20 °С и достаточном содержании кислорода и питательных веществ [4, 9, 10].

Агломерацию углём – связывание нефтепродуктов угольными частицами с последующим использованием смеси в качестве топлива. Метод экономически оправдан, но ограничен гидрофобными свойствами угля и сложностью переработки загрязнённого материала [3].



Термодинамическую и ультразвуковую десорбцию – нагрев и воздействие звуковых волн для разрушения углеводородных связей. Эти методы экологически безопасны и могут применяться на месте аварии, однако требуют оптимизации режимов для повышения степени крекинга тяжёлых фракций.

Химическую рекультивацию – применение окислителей для разрушения углеводородов. Метод требует тщательного подбора реагентов с учётом состава загрязнения и пока не апробирован в морских условиях [3].

Сорбционные технологии – использование полимерных, неорганических и магнитных сорбентов, способных многократно адсорбировать и высвобождают нефтепродукты. Несмотря на широкое распространение и экономичность, эффективность сорбентов резко снижается при работе с вязкими и тяжёлыми фракциями, поскольку их поровая структура блокируется после нескольких циклов регенерации [1, 11].

Таким образом, существующие технологии позволяют эффективно удалять лёгкие фракции нефти, однако тяжёлые соединения (мазут, асфальтены, смолы) остаются в донных осадках, где постепенно накапливаются, ухудшая качество водных экосистем. Их низкая растворимость, высокая молекулярная масса и устойчивость к микробной деструкции делают естественное очищение чрезвычайно медленным [12, 13].

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка комбинированных технологий очистки донных отложений, сочетающих сорбционные, биологические и физико-химические методы, а также создание новых типов селективных сорбентов, способных эффективно взаимодействовать с вязкими и высокомолекулярными нефтяными фракциями.

#### Литература

1. Г.В. Лисичкин, И.И. Кулакова // Ликвидация аварийных разливов нефти: состояние и проблемы // Журнал прикладной химии, Т. 95, № 9, С. 1082-1110 (2022).
2. F. Yin et al. // Effective recovery of heavy oil from tank bottom sludge and isolation of paraffins from the heavy oil // Journal of Molecular Liquids, V. 397, P. 124062 (2024).
3. A. Agarwal, Y. Liu // Remediation technologies for oil-contaminated sediments // Marine Pollution Bulletin, V. 101, № 2, P. 483-490 (2015).
4. S. Ali, Isha, Y.C. Chang // Biodegradability of Heavy Oil Using Soil and Water Microbial Consortia Under Aerobic and Anaerobic Conditions // Processes, V. 13, № 7, P. 2057 (2025).
5. I.A. Nemirovskaya, Y.S. Glyaznetsova // The content and composition of organic compounds in the bottom sediments of the Norilsk-Pyasina water system one year after the accidental spill of diesel fuel // Marine Pollution Bulletin, V. 199, P. 115990 (2024).
6. Д.А. Антоненко // Ликвидация последствий техногенной катастрофы в Керченском проливе (сообщение волонтера) // Пути решения экологических проблем как важнейшая основа устойчивого развития регионов : Сборник статей по материалам международной научной экологической конференции, Краснодар, 24 марта 2025 года, Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, С. 155-157, (2025).
7. В.Г. Григулецкий, Е.К. Яблонская, Р.А. Ивакин [и др.] // О рекультивации загрязненных нефтью, нефтепродуктами и мазутом субстратов на суше и донных отложений в море // Пути решения экологических проблем как важнейшая основа устойчивого развития регионов : Сборник статей по материалам международной научной экологической конференции, Краснодар, 24 марта 2025 года, Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2025, С. 203-205, (2025).
8. O.V. Ekunke et al. // A review of modern technologies and best practices for oil spill containment and response // World J. Adv. Res. Rev, V. 25, P. 2117-28 (2025).
9. Л.Г. Одинцов и др. // Технология ведения аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций (2011).
10. Н.Е. Сакович // Методы и средства ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов (2012).
11. А.Н. Драньков, И.Г. Тананаев, Б.Ф. Мясоедов // Сорбционная технология очистки объектов окружающей среды с применением высокогидрофобных нефтесорбентов с магнитными свойствами // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность-2018, С. 360-364 (2018).
12. B.K. Purohit et al. // Marine oil spill clean-up: A review on technologies with recent trends and challenges // Regional Studies in Marine Science, V. 80, 103876 (2024).
13. A.M.A. Hasan et al. // Petroleum sludge formation and its treatment methodologies: a review // Environmental Science and Pollution Research, V. 31, 8369-8386 (2024).



# ВЛИЯНИЕ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ РЕК (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ИЖОРА)

Созыгашева К.Р.\*, Урусова Е.С.

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург

E-mail: \*kristinusozigashева8@mail.ru

**Аннотация.** Работа посвящена оценке влияния коммунально-бытовых сточных вод на загрязненность реки Ижора. В процессе анализа рядов концентраций химических элементов и показателей было определено, что на загрязненность реки оказывают влияние не только коммунально-бытовые сточные воды, но и сточные воды с промышленных предприятий.

**Ключевые слова:** Санкт-Петербург, малые реки, река Ижора, сточные воды, качество вод, загрязненность рек.

Вследствие увеличения роста урбанизированных территорий, численности населения городов и промышленных предприятий, увеличиваются объемы коммунально-бытовых сточных вод, поступающих в реки. Река Ижора, относящаяся к категории малых рек, протекает по высокоурбанизированным территориям Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Сброс сточных вод в данную реку осуществляет большое количество промышленных предприятий, а также канализационно-очистные сооружения (КОС) г. Колпино [1]. Данная деятельность оказывает негативное воздействие на качество вод реки Ижора [2,3].

В работе использованы результаты мониторинга реки Ижора в районе г. Колпино. Оценка влияния сточных вод на загрязненность реки производилась по 14 элементам и показателям. Пробы отбирались ежемесячно в период открытой воды с мая 2011 по ноябрь 2023 года.

Для всех исследуемых рядов значений был произведен расчет основных числовых характеристик. В результате было определено, что среднее значение рядов концентраций превышает ПДК в фоновом и контрольном створах практически по всем показателям. Высокая вариативность значений по всем исследуемым показателям в обоих створах может являться следствием влияния сточных вод с промышленных предприятий, расположенных до фоновых створов, и вод с очистных сооружений.

В результате анализа кратности превышения ПДК было определено, что средняя кратность превышения выше в фоновом створе. Среднегодовые значения между фоновым и контрольным створом отличаются друг от друга незначительно. Это говорит о том, что в большей степени на качество воды в реке оказывают влияние стоки с предприятий, расположенных до фоновых створов.

Для оценки влияния сточных вод и тенденций изменения значений во времени был проведен расчет и построение интегральных кривых. В процессе анализа графиков было выявлено, что значения интегральных кривых в фоновом створе выше, чем в контрольном.

Таким образом, на основе проанализированных данных было определено, что на загрязненность реки Ижора в большей степени оказывают влияние сточные воды с предприятий, расположенных до фоновых створов. А коммунально-бытовые сточные воды, сбрасываемые с канализационно-очистных сооружений г. Колпино разбавляют загрязненные воды реки.

## Литература

1. Федеральное агентство водных ресурсов: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://voda.gov.ru/activities/informatsiya-o-predostavlenii-vodnykh-obektov-v-polzovanie/> (дата обращения: 10.09.2025). – Текст : электронный.
2. Использование структурных характеристик сообществ макрофитов как индикатора экологического состояния малых рек Западной Ленинградской области / Н. В. Зуева, В. В. Гальцова, В. В. Дмитриев, А. Б. Степанова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. – 2007. – № 4. – С. 60-71. – EDN RTTJRN.
3. Интегральная оценка экологического благополучия малых рек Ленинградской области и Санкт-Петербурга / Н. В. Зуева, Е. А. Примаков, А. В. Бабин [и др.] // География и природные ресурсы. – 2021. – Т. 42, № 2. – С. 32-40. – DOI 10.15372/GIPR20210204. – EDN AWSTWL.
4. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2023 году / Под ред. А.В. Германа, И.А. Серебрицкого – СПб.: 2024. – 221 с.



5. Козлова, А. В. Оценка качества вод р. Славянка с использованием гидрохимических показателей / А. В. Козлова, Н. В. Зуева, Е. С. Урусова // Четвертые Виноградовские Чтения. Гидрология от познания к мировоззрению : сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 23–31 октября 2020 года / Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург: ООО «Издательство ВВМ», 2020. – С. 681–684. – EDN AXNLNL.
6. Состояние окружающей среды в Ленинградской области : информационно-аналитический сборник / Комитет по природным ресурсам Ленинградской области. – СПб., 2024. – 320 с.
7. Урусова, Е. С. Оценка влияния сточных вод от очистных сооружений городов на загрязненность малых рек / Е. С. Урусова, А. А. Пилюгина // Геопоиск-2016 : Материалы I Всероссийского конгресса молодых ученых-географов, Тверь, 03–09 октября 2016 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2016. – С. 750–756. – EDN YNDXIT.



## СПОСОБ УДАЛЕНИЯ АНИОНОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ОТХОДАМИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Пересунько Ю.Д.\* , Жихарева Д.С., Азопков С.В.

ФГБОУ ВО РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва

E-mail: \*yperesunko@mail.ru

Одной из наиболее значимых экологических проблем современности выступает масштабное образование и накопление техногенных отходов. Ежегодный объем образования минеральных отходов промышленного сектора исчисляется миллиардами тонн. В их состав входят такие материалы, как сталеплавильные шлаки, пыли газоочистки, шламы, а также хвосты обогащения различных руд.

Несмотря на разнообразие образующихся продуктов, уровень их вторичного применения остается крайне низким и не превышает 20%. Основная масса продолжает размещаться на специализированных объектах: полигонах, шлако- и шламохранилищах. Под эти нужды отчуждаются значительные территории, часто представленные плодородными землями, которые на долгий срок исключаются из сельскохозяйственного оборота.

Вместе с тем, многие виды техногенного сырья обладают комплексом специфических физико-химических характеристик, что возможный потенциал для их использования в различных технологических процессах [1]. Перспективным направлением является применение отходов металлургического сектора (шлам, пыль газоочистки) в качестве реагента для очистки сточных вод от анионов. Такой подход позволит одновременно решить несколько задач: утилизировать крупнотоннажные отходы и обеспечить очистку загрязненных вод.

Исследование проводилось на трех модельных системах, имитирующих сточные воды, с исходными концентрациями:  $\text{PO}_4^{3-}$  – 11,9 г/дм<sup>3</sup> (рН 1,7),  $\text{F}^-$  – 12 г/дм<sup>3</sup> (рН 1,3) и  $\text{SO}_4^{2-}$  – 10,8 г/дм<sup>3</sup> (рН 1,89). Процесс очистки заключался в реагентном осаждении в виде малорастворимых соединений. Модельные воды обрабатывались металлургическим отходом в течение 10 минут при постоянном перемешивании. Доза реагента варьировалась и выражалась через соотношение  $\Sigma\text{Me}_x\text{O}_y:\text{F}^-$ .

По результатам экспериментов определены оптимальные массовые соотношения, обеспечивающие максимальную эффективность удаления для каждого иона: для  $\text{F}^-$  – 2,0 (эффективность ~99,44%), для  $\text{PO}_4^{3-}$  – 3,0 (эффективность ~99,87%), для  $\text{SO}_4^{2-}$  – 1,0 (эффективность ~91,27%)

**Благодарность:** Авторы выражают благодарность научному руководителю д.т.н., доценту, зав. кафедрой промышленной экологии РХТУ им. Д. И. Менделеева Е. Н. Кузину.

### Литература

1. Кузин, Е. Н. Брусситсодержащие отходы производства огнеупорных материалов в процессах очистки сточных вод / Е. Н. Кузин, Н. Е. Кручинина // Стекло и керамика. – 2022. – Т. 95, № 7(1135). – С. 58-63.





## ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОСТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ В ПРОБООТБОРЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Яковлюк Р.О., Селезнева С.Е.\*

Российский биотехнологический университет

E-mail: \*sofya.selezneva.05@mail.ru

Вода – основа жизни, и сохранение чистоты водных экосистем является одной из приоритетных задач современной экологии. Однако концентрации многих опасных загрязнителей — пестицидов, нефтепродуктов, фенолов, тяжелых металлов — в природных водах часто находятся на пределе чувствительности аналитических приборов. Прямой анализ таких «следовых» количеств невозможен без предварительного концентрирования пробы. Именно здесь на первый план выходит жидкостная экстракция (ЖЭ) – надежный и эффективный метод пробоподготовки.

Что такое жидкостная экстракция?

Жидкостная экстракция (жидкостно-жидкостная экстракция) — это метод разделения и концентрирования веществ, основанный на их способности по-разному распределяться между двумя несмешивающимися жидкостями, как правило, водной и органической фазой.

Классическая схема метода выглядит следующим образом:

1. Отбор пробы: забирается проба воды из водоема.
2. Добавление растворителя: к пробе добавляется органический растворитель (например, гексан, дихлорметан, хлороформ), который не смешивается с водой.
3. Экстракция: Смесь энергично встряхивается для создания максимальной площади контакта между фазами.
4. Разделение фаз: после отстаивания смесь расслаивается. Целевые аналиты переходят из водной фазы в органическую.
5. Отбор экстракта: Органическая фаза, теперь содержащая концентрированные загрязнители, отбирается для последующего анализа (например, с помощью хроматографии или спектрометрии).

Современные модификации: от литров к микролитрам

Главным недостатком классической ЖЭ является использование больших объемов дорогих и часто токсичных органических растворителей. Ответом на этот вызов стало появление методов микроэкстракции.

Наиболее популярной и эффективной методикой сегодня является Дисперсионная жидкостно-жидкостная микроэкстракция (DLLME).

Принцип DLLME:

1. В водную пробу с помощью шприца быстро вводят смесь экстракционного растворителя (например, тетрагидрофуран) и растворителя-диспергента (например, ацетона).
2. При взбалтывании в пробе образуется мутная система — множество мельчайших капелек экстракционного растворителя, равномерно распределенных в водной фазе. Это создает огромную площадь контакта между фазами.
3. Процесс экстракции происходит за секунды.
4. Затем проба центрифугируется, капельки экстракционного растворителя coalesce (объединяются) на дне пробирки, и их легко отобрать микрошприком для анализа.

Преимущества DLLME:

- Экологичность: требуются микролитры (мкл) растворителя.
- Экономичность: Значительное снижение затрат на реактивы.
- Скорость: Процесс занимает несколько минут.
- Высокий коэффициент концентрирования: позволяет достигать коэффициентов концентрирования в тысячи раз.

Надежность метода подтверждается его закреплением в национальных и международных стандартах, таких как ГОСТы (например, ГОСТ 31861-2012 на определение нефтепродуктов) и методики Агентства по охране окружающей среды США (U.S. EPA).

Практические аспекты и экологический контекст



Несмотря на свою надежность, жидкостная экстракция сталкивается с рядом практических сложностей, таких как образование стойких эмульсий и потери летучих соединений. Однако развитие методов микроэкстракции (например, дисперсионной ЖЖ-микроэкстракции - DLLME) и их автоматизация позволили не только минимизировать эти проблемы, но и резко сократить объемы используемых токсичных растворителей. Это превратило метод из достаточно «грязного» в один из инструментов «зеленой» аналитической химии. Сегодня жидкостная экстракция не конкурирует с другими методами, а существует в синергии с ними, создавая гибридные протоколы, обеспечивающие беспрецедентную точность и чувствительность.

Острая необходимость в таких точных методах особенно очевидна при оценке состояния водных экосистем урбанизированных территорий. Стоки с городских улиц, промышленных зон, транспортных развязок и сельскохозяйственных угодий формируют сложный коктейль загрязнителей. В него входят не только видимые глазу нефтепродукты, но и невидимые, крайне опасные, следовые количества пестицидов, тяжелых металлов, ПАУ и фармацевтических препаратов. Именно эти приоритетные загрязнители, часто обладающие кумулятивным и токсичным действием даже в ничтожных концентрациях, и являются основной мишенью для жидкостной экстракции. Без эффективного концентрирования и последующего высокоточного анализа мониторинг водных объектов города и его окрестностей был бы просто невозможен, а принимаемые меры по очистке и защите – неэффективны.

Экологическое состояние водных объектов на урбанизированных территориях сегодня характеризуется как критическое. Помимо видимых проблем, таких как эвтрофикация и механический мусор, существует невидимая, но гораздо более опасная угроза — микрополлютанты. Это стойкие полярные соединения, включая пестициды, фармацевтические препараты, средства личной гигиены и эндокринные разрушители, которые традиционными методами очистки на станциях водоочистки удаляются не полностью. Их опасность заключается в способности накапливаться в живых организмах, вызывая долгосрочные последствия, такие как гормональные сбои, репродуктивные нарушения и подавление иммунной системы. Мониторинг именно этих веществ требует применения высокочувствительных методов пробоподготовки, таких как жидкостная экстракция, которая позволяет «поймать» и идентифицировать даже ничтожные концентрации, измеряемые в нанограммах на литр. Таким образом, развитие и применение точных аналитических методик становится не просто задачей химиков-аналитиков, а ключевым элементом стратегии по сохранению биоразнообразия и здоровья населения в условиях растущей антропогенной нагрузки.

#### Литература

1. ГОСТ Р 31861-2012. Вода. Метод определения содержания нефтепродуктов. – М.: Стандартинформ, 2012.
2. Методические указания МУ 31-15/05 «Определение массовой концентрации пестицидов в водах методом жидкостной экстракции». – М., 2005.
3. Трофимчук М.М., Петрунин А.С. Современные методы пробоподготовки в экологическом анализе: микроэкстракция в анализе объектов окружающей среды // Экологическая химия. – 2020. – Т. 29,
4. Дедков Е.С., Темерев С.В. Современная пробоподготовка в анализе водных объектов. – М.: Бином, 2018.
5. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Экологический мониторинг водных экосистем в условиях антропогенной нагрузки. – М.: Наука, 2021.

# СЕКЦИЯ 4

УТИЛИЗАЦИЯ  
ТВЕРДЫХ  
ОТХОДОВ  
И  
ОЧИСТКА ПОЧВ



## ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В МЕГАПОЛИСАХ «НОВОЕ – ХОРОШО ЗАБЫТОЕ СТАРОЕ»

Гарабаджиу А.В.

ООО «Теза»

E-mail: gar-54@mail.ru

В докладе освещается цикл многолетних научных и научно-технических работ большого коллектива исследователей, инженеров, работников системы ЖКХ, итогом которых стало создание в Санкт-Петербурге комплексной системы обращения ТКО, позволившей минимизировать связанные с ней риски возникновения экологических и биосоциальных ЧС. Дается анализ существующего положения в области обращения с твердыми коммунальными отходами. Значительное внимание уделено составу отходов и их влиянию на окружающую среду. Рассмотрен мировой и передовой отечественный опыт обращения с отходами. Показана система сбора, транспортировки, обезвреживания и утилизации городских ТКО. Рассмотрены технологические процессы утилизации ТКО. Результаты, полученные в ходе работ, нашли применение не только в области переработки ТКО. Оказалось, что ряд разработок носит универсальный характер и может применяться в различных областях. Таковыми проявили себя технологии управления метаногенезом при помощи электрофизического воздействия и способ активации биотехнологических процессов, протекающих в твердых нестерильных субстратах. Разработанные на основе новых научных принципов приборы и методики нашли применение в производстве цемента, железобетонных изделий, горнодобывающей промышленности, производстве этанола, , системах пневмотранспорта, системах предупреждения возгорания и взрыва, устройствах съема статического электричества, очистки почв от высокотоксичных загрязнений и ряде других областей.

Закономерным итогом всего комплекса научных и научно-технических работ стало присуждение авторскому коллективу Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники 2006 года. Прошедшие без малого двадцать лет показали, что идеи, разработки и их практическое воплощение не только не потеряли своей актуальности, но нашли эффективное продолжение в наши дни.



# ВЛИЯНИЕ АЭРАЦИИ НА УСКОРЕНИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И ВЕДУЩАЯ РОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА

Вавилин В.А.\* , Локшина Л.Я.\*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва*

*E-mail: \*vavilin@iwp.ru, \*llokshina@mail.ru*

## Биологическая очистка сточных вод в системе с активным илом

Более 100 лет назад в Англии начали применять аэрацию для удаления бытовых загрязнений в биологических очистных сооружениях с активированным (activated) илом. При этом поддерживалась высокая концентрация растворенного кислорода [1]. В российской терминологии вместо 'активированного' укрепилось название 'активный' ил. Если первоначально сооружения предназначались лишь для удаления общих органических загрязнений, когда органическое вещество превращается в бактериальную биомассу ила, то к настоящему времени широкое распространение получили многосекционные биологические системы, позволяющие удалять из бытовых сточных вод соединения азота и фосфора. Для технического расчета таких сооружений широко применяются имитационные модели, подобные Activated Sludge Model N1.

## Профиль аммонийных загрязнений в реках

Уровень аммония в озерах и реках влияет на качество воды, поскольку влияет на концентрацию растворенного кислорода. Поступая в водоемы в большом количестве вместе с загрязнениями, аммоний потребляется микроорганизмами в процессе нитрификации. Нитрификация имеет большое значение в реках, поскольку не только является ключевым шагом в круговороте азота, преобразуя аммоний в нитриты и нитраты, но также влияет на кислородный баланс. Она может быть ответственна за значительную, а иногда и доминирующую долю кислородного голодания. Для оценки качества воды уже много десятилетий широко используется известная модель Стритера - Фелпса [2]. Она описывает, как концентрация растворенного кислорода уменьшается по течению реки при разложении органического вещества, измеряемого в единицах биохимического потребления кислорода (БПК). Модель была предложена в 1925 г. Стритером (санитарным инженером) и Фелпсом (консультантом службы общественного здравоохранения США) для математического описания полевых данных, полученных для реки Огайо. БПК характеризует количество органического вещества, которое подвергается биохимическому разложению присутствующими в воде микроорганизмами. Это интегральная характеристика всего спектра органических веществ, присутствующих в воде. В модели Стритера - Фелпса вычисляется зависимость от времени между концентрацией органического вещества  $L$ , измеренной в единицах БПК и дефицитом кислорода  $D$  - разностью между равновесной и текущей концентрацией кислорода:

$$dL/dt = -k_1 L$$

$$dD/dt = -k_1 L - k_2 D$$

где  $k_2$  – коэффициент аэрации через поверхность водной массы,  $t = x / V$  – время «добегания» ( $x$  – расстояние вдоль течения реки,  $V$  – скорость течения). Таким образом, модель Стритера - Фелпса может быть полезным инструментом для быстрой оценки динамики загрязнений вдоль течения реки от точечного источника загрязнений. Однако, классическая модель Стритера - Фелпса, включающая условные переменные, такие как БПК, не описывает материальный баланс вещества. Нами была предложена математическая модель распространения загрязнений, предназначенная для описания профиля растворенного кислорода и азота по течению реки от места поступления органических загрязнений [4], в которой рассматриваются не только субстраты, но и продукты

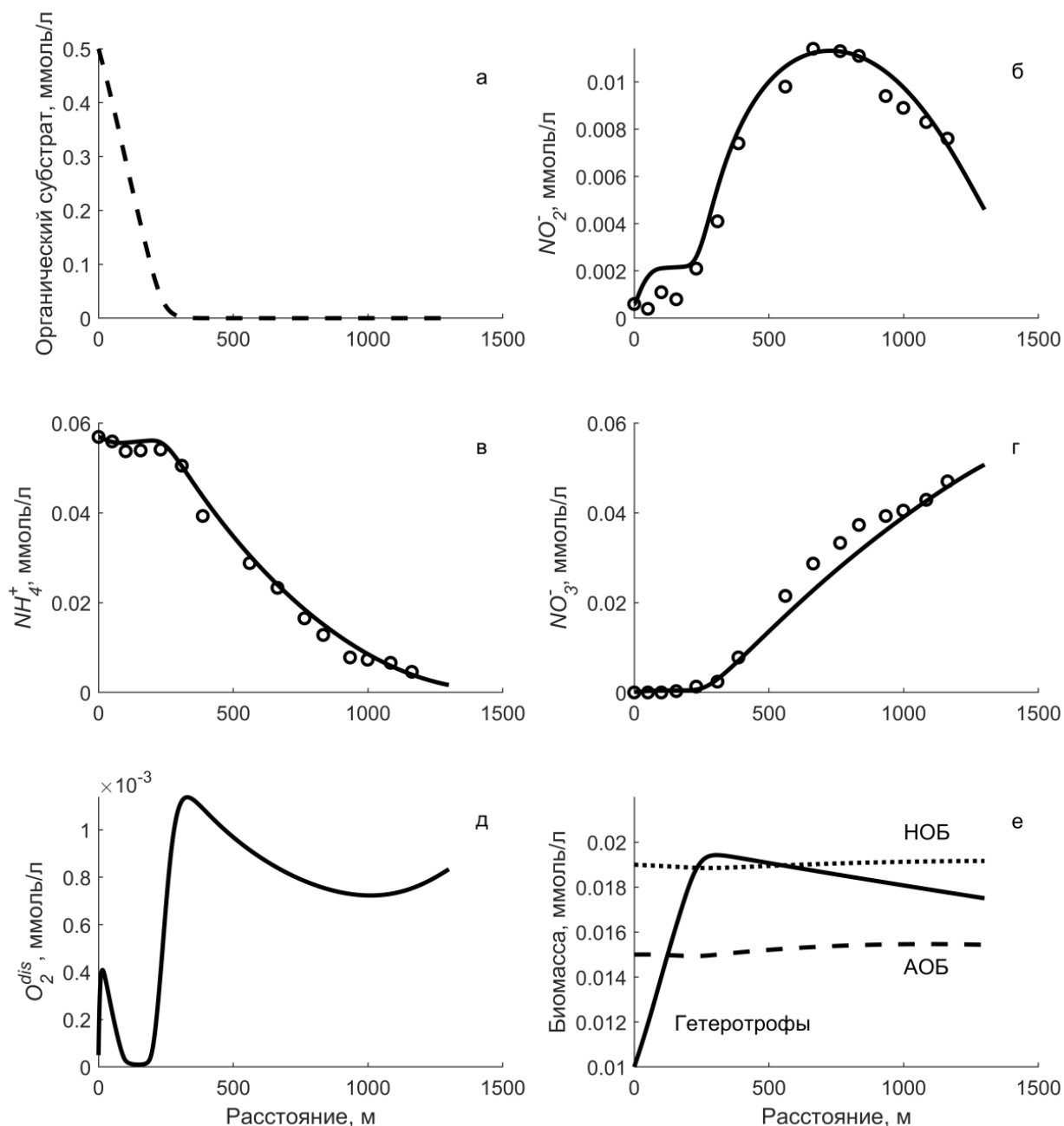


Рисунок 1. Нитрификация в проточном ручье. Экспериментальные данные [3].

биохимического превращения, когда аммоний последовательно превращается в нитрит и нитрат, а также соответствующая биомасса. При этом решающую роль играет доступность кислорода для нитрифицирующих бактерий.

Органический субстрат полностью расходуется на расстоянии около 200 м от места сброса отходов, что приводит к активной нитрификации. Гетеротрофные бактерии, имея более низкую константу полу-насыщения для кислорода, чем нитрифицирующие (НОБ и АОБ – нитрит и аммоний окисляющие бактерии), при наличии органического субстрата выигрывают у нитрифицирующих бактерий конкуренцию за кислород и, пока органический субстрат не израсходуется, рост нитрифицирующих бактерий подавлен (рис. 1а, в, е). Истощение органического субстрата делает кислород доступным для нитрификаторов, и начинается разложение аммония. Содержание кислорода в воде (рис. 1д) сначала резко снижается из-за поглощения гетеротрофами, затем



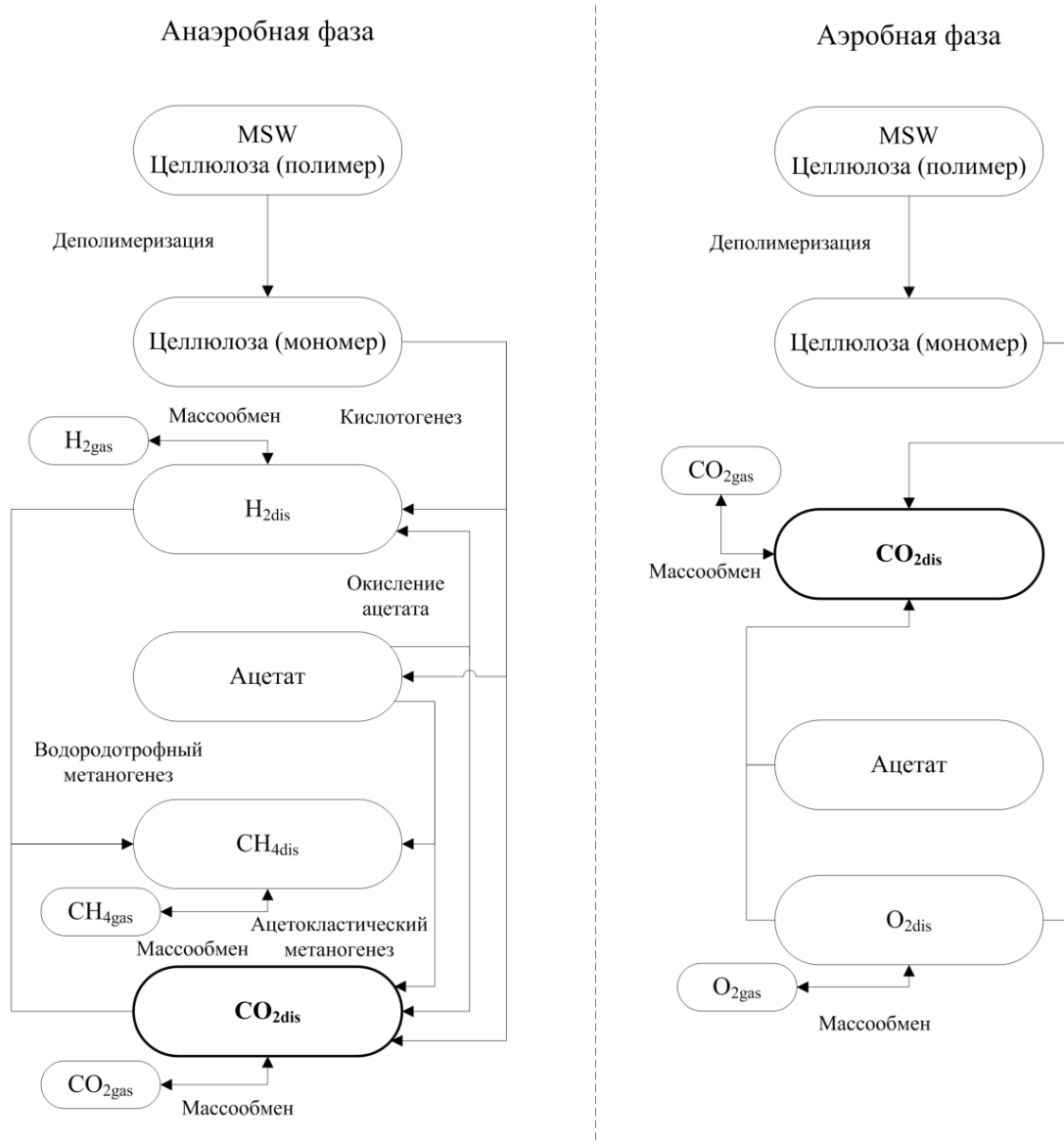


Рисунок 2. Схема деградации ТБО в анаэробных и аэробных условиях (индексы gas и dis обозначают нахождение вещества в газообразном и растворенном виде, соответственно).

возрастает при исчерпании органического субстрата, далее постепенно снижается из-за работы АОБ и начинает опять повышаться при исчерпании аммония. Как видно, поступление в реку аммонийных загрязнений вызывает сначала рост гетеротрофных, а потом нитрифицирующих бактерий, что приводит к дефициту растворенного кислорода.

### Деградация твердых бытовых отходов на свалках

Применение современных технологий секвенирования позволяет идентифицировать сотни различных микроорганизмов, участвующих в разложении органического материала на свалках в различных условиях окружающей среды [5]. С помощью этих технологий можно определить текущий состав участвующих микроорганизмов. В то же время, свалка представляет собой большую динамическую систему, где со временем происходит смена одной группы микроорганизмов другой, что отражается в доминировании определённых текущих процессов. Для динамики микроорганизмов решающую роль играет такая характеристика, как максимальная удельная скорость прироста биомассы. Измерение динамики отдельных микроорганизмов в сложной системе



взаимодействующих групп и видов далеко не всегда возможно. Измерение динамики стабильных изотопов, входящих в химические вещества, участвующие в биodeградации исходных органических загрязнений, поступающих на свалку, в определённой степени предоставляет такую возможность [6]. С помощью динамической модели нам удалось описать последовательность событий, происходящих при анаэробном и аэробном разложении образцов, отобранных из молодых и старых свалок. Были учтены изотопные данные по углероду и водороду. Основные уравнения изотопного баланса были применены для анаэробных процессов деполимеризации целлюлозы, кислотогенеза мономеров, синтрофного окисления ацетата, водородотрофного и ацетокластического метаногенеза, тогда как в аэробных процессах учитывалось только окисление мономеров целлюлозы и ацетата.

За последние десятилетия аэрация полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) успешно использовалась как метод ускорения разложения ТБО или как метод рекультивации полигонов для окончательного завершения этого разложения. Согласно нашей динамической модели, в анаэробных условиях растворённый углекислый газ является субстратом для водородотрофного метаногенеза, что приводит к повышению изотопной сигнатуры углерода в углекислом газе и ее последующей стабилизации. После введения аэрации образование метана прекращается, и с этого момента углекислый газ остаётся только продуктом микробиологических реакций, что приводит к значительному снижению изотопной сигнатуры углерода в углекислом газе. Первоначально вода обогащается дейтерием, участвуя в микробиологических реакциях, таких как кислотогенез и синтрофное окисление ацетата, являясь в них субстратом. Затем фильтрат разбавляется поступающей в верхнюю часть вертикального реактора водой, обеднённой дейтерием.

**Благодарность:** Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2025-0002 Государственного задания ИВП РАН.

#### Литература

1. В. А. Вавилин, В. Б. Васильев. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. // М. Наука, 119с. (1979).
2. H. W. Streeter, E. B. Phelps // U.S. Public Health Service Bulletin, V. 146, 1-29 (1925).
3. W. Gujer // Water Research, V. 44, No. 1, 1-19 (2010).
4. Л. Я. Локшина, В. А. Вавилин // Экологическая Химия, 34(2), 69-77 (2025).
5. D. R. Meyer-Dombard, J. E. Bogner, J. A. Malas // Front. Microbiol. V. 11, 1127 (2020).
6. V.A. Vavilin, L.Y. Lokshina // Waste Management, V. 166, 280-293 (2023).



## ПОДХОД К ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ БЕЛОГО (ЖЕЛТОГО) ФОСФОРА

Миндубаев А.З., Бабынин Э.В.

ФИЦ КазНЦ РАН

E-mail: mindubaev-az@yandex.ru

Белый фосфор (технологи чаще используют определение желтый фосфор для вещества технической чистоты) представляет собой один из самых токсичных загрязнителей. Однако, элемент фосфор обладает уникальным свойством. Он является чрезвычайно опасным в виде простых веществ и восстановленных соединений, но в виде фосфатов, в полностью окисленном состоянии, это биогенный элемент, необходимый всем формам жизни.

Выделен штамм *Aspergillus niger* F-4815D, источником которого стала емкость с белым фосфором, содержавшая жизнеспособные споры [1]. Этот факт является неординарным и демонстрирует поразительную жизнестойкость микроорганизмов. Рост грибов ускоряет окисление белого фосфора в фосфат по сравнению со стерильной средой. Это позволяет создать биологический метод обезвреживания белого фосфора, вещества 1 класса опасности.

Анализ колориметрическим методом показал, что биodeградация белого фосфора действительно имеет место. В идентичных условиях гриб *A. niger* F-4815D достоверно ускоряет окисление белого фосфора до безвредных фосфат-ионов по сравнению с контролем – стерильной средой. Такой показатель эффективности метода (рис. 1).

До сих пор это первый в мире описанный пример включения белого фосфора в биосферный круговорот фосфора.

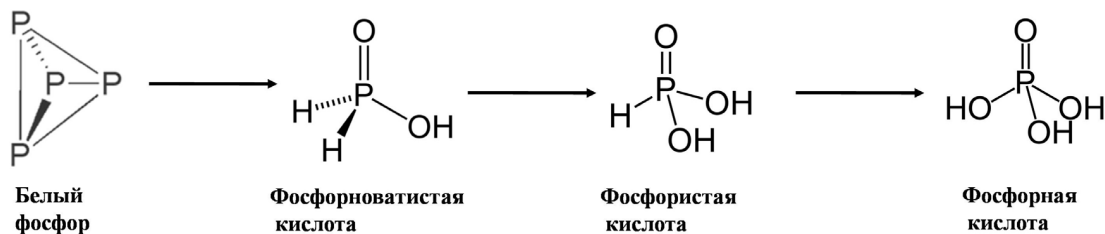


Рисунок 1. Предполагаемый метаболический путь белого фосфора.

### Литература

1. Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Акосах Й.А. Биологическая деградация желтого (белого) фосфора - вещества первого класса опасности // Журнал неорганической химии. 2021. Т.66. №8. С.1137–1142. DOI: 10.31857/S0044457X21080158



# ЧИСЛЕННОСТЬ И ВИДОВОЙ СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ ПОЧВ Г. ПОКАЧИ

Сескутова Е.А.<sup>\*</sup>, Глинская Е.В.<sup>&</sup>, Тарасюк А.К.<sup>^</sup>

СГУ, г. Саратов

E-mail: <sup>\*</sup>seskutovaekaterina@mail.ru, <sup>&</sup>elenavg-2007, <sup>^</sup>kotannat@yandex.ru

Угледородокисляющие бактерии представляют собой уникальную группу микроорганизмов, обладающую способностью к деструкции углеводов – сложных органических соединений, входящих в состав нефти, природного газа и угля. Экспериментальные работы, посвященные изучению деградации нефтяных углеводов, продемонстрировали, что бактерии и грибы могут разлагать эти органические соединения, используя их в качестве единственного источника углерода и энергии в процессе своей жизнедеятельности [1]. Значительное видовое разнообразие микроорганизмов, способных разлагать нефть, объясняется как активной конкуренцией между ними, так и наличием многочисленных метаболических путей, позволяющих утилизировать различные компоненты нефтяных загрязнений [2].

Работа проводилась на базе кафедры микробиологии и физиологии растений биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского в 2025 году. Объектом исследования стали антропогенно преобразованные почвы, отобранные послойно с глубины 5–20 см, в черте г. Покачи Ханты-Мансийского автономного округа.

В ходе исследования из почв, отобранных в черте г. Покачи, было выделено 7 видов угледородокисляющих микроорганизмов, среди которых присутствовали грамположительные споровые палочки *Bacillus alcalophilus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus*, *B. thuringiensis*, *Microbacterium maritipicum*, грамотрицательные неферментирующие палочки *Stenotrophomonas maltophilia* и грамположительные кокки *Micrococcus luteus*.

В результате анализа в почвенных образцах были выявлены максимальные численные показатели для видов *B. pumilus* и *B. alcalophilus*, достигающие  $10^6$  КОЕ/г. Количество бактерий *B. amyloliquefaciens*, *B. thuringiensis*, *M. luteus* и *S. maltophilia* составляло  $10^4$  КОЕ/г. Минимальные показатели были зафиксированы для *M. maritipicum* ( $10^3$  КОЕ/г).

## Литература

1. Т. Ю. Коршунова, М. Д. Бакаева, Е. В. Кузина [и др.] Перспективные штаммы псевдомонад, окисляющих углеводороды, с устойчивостью к гербицидам и свойствами, стимулирующими рост растений, для биоремедиации загрязненных нефтью сельскохозяйственных почв // Сельское хозяйство, Т. 13, № 6, С. 1109, 1111 (2023).
2. И. Л. Бухарина, А. А. Исупова, В. И. Лямзин [и др.] Перспективы использования консорциумов микроорганизмов и высших растений в восстановлении нефтезагрязненных земель // Лесной вестник, Т. 26, № 6, С. 14 – 23 (2022).



## ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПРИРОДНЫЙ ШТАММ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯНЕННЫХ ПОЧВ

Дегтярева И.А.

ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: peace-1963@mail.ru

Республика Татарстан (РТ) является зоной добычи, переработки, транспортировки нефти, в результате этого происходят и аварийные прорывы трубопроводов. Результаты научных разработок последних лет в области восстановления плодородия нарушенных почв свидетельствуют, что существующие физико-химические способы ремедиации не могут обеспечить эффективного достижения допустимых уровней содержания углеводородов нефти в почвенных экосистемах [1]. Поэтому при биоремедиации загрязненных экосистем предпочтение отдается использованию эффективных автохтонных углеводородокисляющих микроорганизмов.

В целом микроорганизмы широко используются в биотехнологических процессах для различных промышленных и экологических потребностей. Одним из применений является деградация ими загрязнителей окружающей среды *in situ*, накапливающихся в результате разливов нефти и нефтепродуктов. Деградация загрязняющего вещества может происходить непосредственно одним микроорганизмом или несколькими через синергизм смеси микробов, сформированных либо встречающихся в природе (консорциумов). Применение микроорганизмов *in situ* подвергает их различным нагрузкам, что может привести к значительному снижению выживаемости микробного штамма-деструктора, а также эффективности удаления им загрязняющих веществ. Одним из наиболее распространенных стрессов, возникающих при этом, является повышенная концентрация загрязнителя и перекрестное загрязнение других нецелевых ксенобиотиков [2]. Следовательно, роль бактериальной адаптации к более высокой концентрации загрязняющих веществ становится чрезвычайно важной для успешной реализации биоремедиации.

Из нефтезагрязненной почвы Азнакаевского района РТ впервые выделен автохтонный углеводородокисляющий штамм *Staphylococcus warneri* S1. Он способен утилизировать широкий спектр углеводородов (вакуумный газойль, гексан, мазут, толуол, фенол) в концентрациях до 12%, синтезировать биосурфактанты, активно развиваться в среде с добавлением NaCl (до 6%) и др.

По результатам проведенного анализа сиквенсов вариабельных участков генов, кодирующих 16S рРНК, тестируемый штамм наиболее близок к виду *S. warneri* (99,0%). *Staphylococcus warneri* S1 идентифицирован методом установления нуклеотидной последовательности 16S рРНК и депонирован в Национальном биоресурсном центре Всероссийская Коллекция Промышленных Микроорганизмов (ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт») под регистрационным номером В-13521.

Полногеномное секвенирование и аннотирование генома данного штамма проведено на платформе MiSeq Illumina. При аннотировании установлено, что данный геном содержит 2535 кодирующих белок последовательностей. Большинство аннотированных генов определяет синтез аминокислот и их производных (255), углеводный обмен (195), белковый метаболизм (167), кофакторы, витамины, простетические группы и пигментные образования (87), нуклеозиды и нуклеотиды (78), метаболизм жирных кислот, липидов и изопреноидов (55) и метаболизм ДНК (68). Полногеномное секвенирование и аннотирование генома штамма *S. warneri* S1 подтвердило наличие у него углеводородокисляющих свойств: выявлены два гена неохарактеризованных белков yddN и useB, имеющих сходство с алканал-монооксигеназами, которые принимают участие в биодеградации алканов; три гена кодируют ферменты катехол-2,3-диоксигеназу, фумарилацетоацетат-гидролазу и салицилат-1-монооксигеназу, участвующих в биодеградации ароматических углеводородов.

Применение суспензии штамма *S. warneri* S1 относится к способам ликвидации нефтяных загрязнений биологическим методом в местах разливов нефти и нефтепродуктов при их добыче, транспортировке, хранении и использовании. Существенным практическим преимуществом является то, что при биоремедиации штамм *S. warneri* S1 позволяет почти полностью ликвидировать углеводороды непосредственно на месте разлива. В итоге существенно снижается отрицательное



влияние углеводородного загрязнения на почву и далее по трофической цепи на растения, животных и человека. Биоремедиация агроэкосистем с использованием штамма *S. warneri* S1 позволяет ускорить процесс восстановления загрязненных земель в нефтедобывающих регионах России, возвращении нарушенных почв в активное землепользование и получения нормативно безопасной продукции сельского хозяйства.

Уникальность представленных исследований состоит в том, что ФИЦ КазНЦ РАН обладает коллекцией микроорганизмов-деструкторов углеводородов (10 штаммов), на которые также получены справки о депонировании в ведомственных коллекциях Российской Федерации. Поэтому наша Республика имеет собственную коллекцию эффективных автохтонных штаммов-деструкторов углеводородов. Дополнительные фундаментальные исследования полногеномного секвенирования и аннотирования геномов остальных штаммов-деструкторов позволят Татарстану стать лидером по комплексному изучению почвенного микробного фонда в зонах техногенеза, пониманию действия механизма биodeградации нефти и нефтепродуктов автохтонными штаммами.

Исследования проводятся в лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов ФИЦ КазНЦ РАН в рамках Государственного задания № 124050300050-4.

#### Литература

1. I.A. Degtyareva, T.Yu. Motina, E.V. Babynin et al. Ecological and toxicological assessment of bioremediation of oil-contaminated soil // Theoretical and Applied Ecology, № 3, 196-202 (2020).
2. Э.В. Бабынин, И.А. Дегтярева Возможности использования информационных ресурсов в биоремедиации // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, Т. 11, № 3, 372-383 (2021). DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-372-383>



# ПЕРЕРАБОТКА СОЛОМЫ ПШЕНИЦЫ И КУКУРУЗЫ МЕТОДОМ КАРБОНИЗАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОСОРБЕНТОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

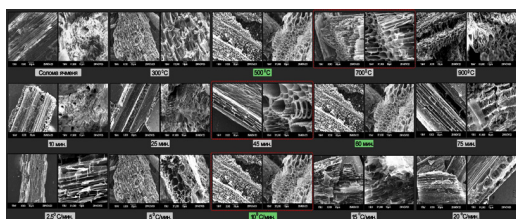
Ерко Д.А., Казначеева И.С., Лысенкова А.В., Тимофеева А.Г.,  
Кабашнюк П.Ю., Черникова Н.П.

Южный Федеральный Университет, г. Ростов-на-Дону

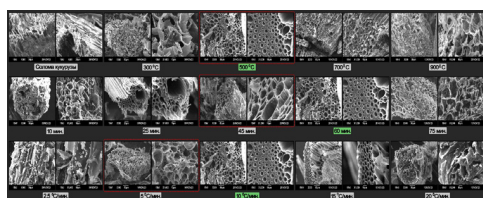
E-mail: derko@sfedu.ru

Выращивание зерновых культур, в том числе пшеницы, риса, кукурузы, ячменя, подсолнечника и др. является ведущей отраслью растениеводства. На их долю приходится более половины всех посевных площадей мирового земледелия. Увеличение продуктивности неизбежно приводит к увеличению количества отходов сельскохозяйственного производства.

Актуальность переработки отходов агропромышленного комплекса связана с необходимостью снижения экологической нагрузки и повышения эффективности использования вторичных ресурсов. Одним из перспективных направлений является получение углеродных сорбентов (биочара) из растительных отходов методом пиролиза. Биочар обладает высокой удельной поверхностью, пористостью и сорбционной способностью, что делает его эффективным средством для улучшения

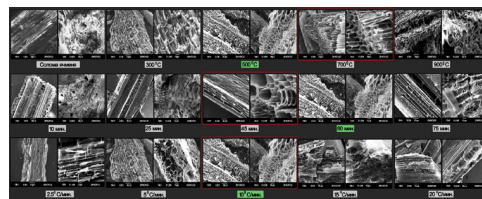


Солома пшеницы

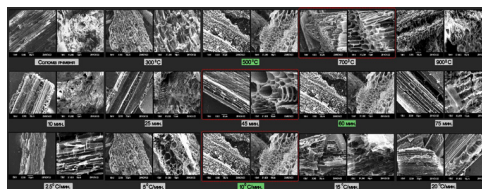


Солома кукурузы

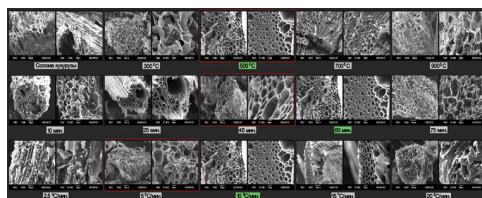
500°C



700°C



500°C



700°C

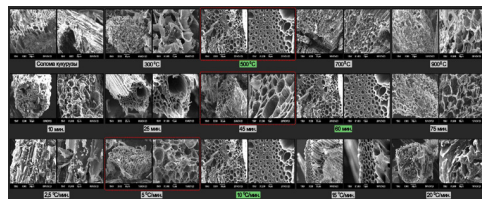


Рисунок 1. Сканирующая электронная микроскопия образцов биосорбентов из соломы пшеницы и кукурузы и биосорбентов, полученных из них при температурах 500°C и 700°C (время выдержки 60 мин., скорость нагрева, 10 °C /мин).



физико-химических свойств почв, повышения их плодородия и устойчивости к деградации. В последнее время биочары привлекают все больше внимания мирового научного сообщества.

Целью работы являлось получение биосорбентов из отходов растениеводства (соломы пшеницы и кукурузы) с заданными свойствами для последующего применения в ремедиации и мелиорации почв. Для этого использовался метод ступенчатого пиролиза при температурах 500°C и 700°C со скоростью нагрева 10 °C/мин и временем выдержки 60 минут. Модификацию поверхности биочаров (активацию) осуществляли 1 М раствором гидроксида калия, в соотношении образец – модификатор 1:10 при температуре 21 °C, время щелочной модификации составляло 8 часов. Образец отмывали дистиллированной водой до pH=7, и высушивали в сушильном шкафу при температуре 105°C.

Проведён анализ физико-химических свойств полученных биочаров: удельной поверхности (S BET), объёма пор, зольности, pH, а также морфологии поверхности методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Фотоколориметрическим методом изучена сорбция биочарами органического красителя метиленового синего из водных растворов. Использовалась методика измерения оптической плотности растворов метиленового синего после поглощения образцами.

В результате ступенчатого пиролиза при температуре 700°C скорости нагрева 10 °C/мин, времени выдержки 60 минут получены биоугли из различных отходов растениеводства: соломы пшеницы и кукурузы. По данным электронной микроскопии выявлено различие в строении полученных биоуглей. Установлено, что образцы соломы пшеницы и соломы кукурузы имеют гладкую непористую поверхность и характеризуется аморфной неоднородной структурой (рисунок 1). Обладая биогенной структурой, они имеют различия в строении поверхности и разное количество видимых пор. На СЭМ-изображениях образца биосорбентов из соломы пшеницы, полученных при температурах 500°C и 700°C) визуализируются поры сотовидной структуры, что свидетельствует о разрушении клеточной структуры сырья. Образец, биосорбента из соломы кукурузы, полученный при 500°C, характеризуется полусферической формой частиц и однородной сотовидной трехмерной пористой структурой, которая отличается обилием более мелких пор. В целом, получение биосорбентов при температурах пиролиза 500 °C и 700 °C для каждого сырья условиях пиролиза приводит к формированию оригинальной пористой структуры.

Морфологические характеристики биочаров являются одними из ключевых факторов, определяющих их сорбционную способность. На основании серии экспериментов выявлено, что максимальными сорбционными характеристиками обладает биочар из соломы пшеницы. Установлено, что наибольшая удельная площадь поверхности составляет 1,89 м²/г. За счёт более развитой системы пор и высокой удельной поверхности биочара из соломы пшеницы её адсорбционные характеристики в два раза выше, чем у биочара, полученного из соломы кукурузы.

Результаты показали, что выход биочара снижался с повышением температуры пиролиза на 5,5%. Наибольшая удельная поверхность (76,43 м²/г) и объём пор (0,0672 см³/г) были достигнуты для биочара из соломы пшеницы при 700°C, тогда как для соломы кукурузы оптимальные показатели (64,37 м²/г и 0,0618 см³/г) наблюдались при 500°C. СЭМ-анализ подтвердил формирование пористой структуры с увеличенной шероховатостью поверхности после пиролиза.

Наибольшая адсорбционная активность по метиленовому синему (24,44 мг/г) отмечена у биочара из соломы кукурузы, полученного при 500°C. Для соломы пшеницы максимальная активность (16,82 мг/г) достигнута при 700°C.

Таким образом, установлено, что температура пиролиза и тип сырья значимо влияют на свойства биочаров. Оптимальными условиями для получения биосорбента с высокими сорбционными характеристиками являются: для соломы пшеницы — 700°C, для соломы кукурузы — 500°C. Полученные материалы перспективны для использования в технологиях восстановления и повышения плодородия почв.

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2025-667) на оборудовании ЦКП «Биоинженерия почв» и Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).



# СОЗДАНИЕ НАНОКОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ РАСТЕНИЯМ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА И ПОВЫШЕНИЯ ИХ БИОДОСТУПНОСТИ

Грицай М.А.<sup>а,\*</sup>, Бауэр Т.В.<sup>б</sup>, Поляков А.В.<sup>а</sup>, Бутова В.В.

*а) Южный федеральный университет, Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов, Ростов-на-Дону, Россия*

*б) Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Ростов-на-Дону, Россия МГУ, г. Москва*

*E-mail: \*gritsai@sfnedu.ru*

Ауксины являются ключевыми фитогормонами, регулирующими рост и развитие растений, однако их низкая химическая стабильность и ограниченная биодоступность затрудняют эффективное применение в агротехнологиях. Использование металл-органических координационных полимеров (МОКП) в качестве наноконтейнеров позволяет обеспечить контролируемое высвобождение ауксина, защиту от деградации и адресную доставку к корневой системе или листовым тканям [1]. Высокая пористость, настраиваемая поверхность и возможность функционализации МОКП делают их оптимальной платформой для повышения эффективности поглощения фитогормона растениями, что открывает перспективы для создания более устойчивых и продуктивных агроэкосистем [2].

Гуминовая кислота представляет собой природный полимер с высокой химической активностью и биосовместимостью, что делает ее перспективным покрытием для МОКП-наноконтейнеров [3]. Благодаря наличию многочисленных гидрофильных функциональных групп она улучшает стабильность наноструктур в почвенной среде, способствует удержанию влаги и повышает адгезию к корневой поверхности растений [4]. Кроме того, гуминовая кислота сама по себе стимулирует рост растений и улучшает усвоение питательных веществ, обеспечивая синергетический эффект при совместной доставке ауксина. Такое покрытие не только снижает возможную фитотоксичность наноконтейнеров, но и повышает эффективность и экологическую безопасность агрохимической обработки.

В представленной работе выполнен синтез наноконтейнеров на основе металл-органического каркаса MIL-100(Fe) и биочара из соломы пшеницы. Для повышения биодоступности и эффективности поглощения ауксина растениями композит был модифицирован гуминовой кислотой, после чего загружен фитогормоном. В качестве ауксина была выбрана 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д). Полученные материалы охарактеризованы методами порошковой рентгеновской дифракции (XRD), ИК-спектроскопии, термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии (ТГА/ДСК), оптической спектроскопии (UV-vis) и сканирующей электронной микроскопии с элементным картированием (SEM-EDS). Установлено, что модификация сохраняет кристаллическую структуру MIL-100(Fe), но приводит к изменению параметров элементарной ячейки. ИК-спектроскопия выявила характерные пики MIL-100(Fe), а также сигналы спиртовых, карбонильных, карбоксильных групп и ароматических фрагментов, характерных для гуминовой кислоты и ауксина (2,4-Д). Данные ТГА указывают на потерю массы, связанную с удалением гостевых молекул, разрушением MIL-100(Fe) и сгоранием биочара, а экзотермические пики ДСК подтверждают присутствие ауксина в образцах. Модифицированный нанокомпозит продемонстрировал более высокую эффективность загрузки ауксина по сравнению с не модифицированным образцом.

Таким образом, синтез и модификация наноконтейнера гуминовой кислотой создает перспективную платформу для контролируемой доставки ауксина, значительно повышая его стабильность, эффективность загрузки и биодоступность для растений, что подтверждено комплексом физико-химических методов анализа.



**Благодарность:** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054-П) в Южном федеральном университете.

#### Литература

1. S. Basak, P. Bhattacharyya, R. N. Pudake, P. E. Lokhande, U. Rednam, S. Chakrabarti et al. // *Frontiers in Nanotechnology*, V. 6, Article 1385981 (2024).
2. P. Yu, X. Zheng, L. O. Alimi, S. Al-Babili, N. M. Khashab et al. // *ACS Applied Materials & Interfaces*, V. 16, p. 18245 (2024).
3. R. Hamed, S. Jodeh, R. Alkowni et al. // *Scientific Reports*, V. 14, Article 13646 (2024).
1. S. M. El-Ganainy, A. M. El-Bakery, H. M. Hafez et al. // *Polymers*, V. 14, 3099 (2022).

## УТИЛИЗАЦИЯ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА АСКОМИЦЕТАМИ – ПРОДУЦЕНТАМИ ГИДРОЛАЗ И ПЕРОКСИДАЗ

Тертышная Ю.В.<sup>а\*</sup>, Позднякова Н.Н.<sup>б</sup>

а) Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва

б) Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов – обособленное структурное подразделение ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», г. Саратов

E-mail: \*terj@rambler.ru

Загрязнение экосистем полимерными отходами стало глобальной проблемой из-за негативных экологических последствий. Пластик представляет значительную угрозу для окружающей среды, нанося физический вред водным организмам и почвенным покровам, нарушая пищевые цепочки и выделяя токсичные вещества в водные и почвенные системы, тем самым усугубляя деградацию пресноводных рек и озер, а также почвенной среды [1, 2]. Пластмассы, состоящие из широкого спектра синтетических полимеров, широко используются в таких отраслях, как производство упаковки и одежды, автомобилестроение, строительство, агроиндустрия.

Однако наибольшую нагрузку на окружающую среду создает чрезмерное производство и использование недолговечных и недорогих одноразовых изделий, таких как упаковка для питьевой воды, производимая из полиэтилентерефталата (ПЭТ) – ароматического полиэфира. Хотя ПЭТ подвергается вторичной переработке, этот процент остается на уровне 7–9% [3]. Следовательно, большое количество ПЭТ оказывается на свалках и в окружающей среде. Одним из способов решения проблемы накопления пластиковых отходов является их биоразложение с помощью микроорганизмов, поскольку некоторые из них способны выделять ферменты для деградации высокомолекулярных соединений, к которым относится ПЭТ [4, 5].

В настоящей работе исследована возможность деградации промышленного ПЭТ аскомицетами различных видов: *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma harzianum*, *Talaromyces sayulitensis* и *Lecanicillium aphanocladii*. Если первые два микромицеты изучены как биодеструкторы полимеров достаточно широко, то *Talaromyces sayulitensis* и *Lecanicillium aphanocladii* практически не изучены. Образцы

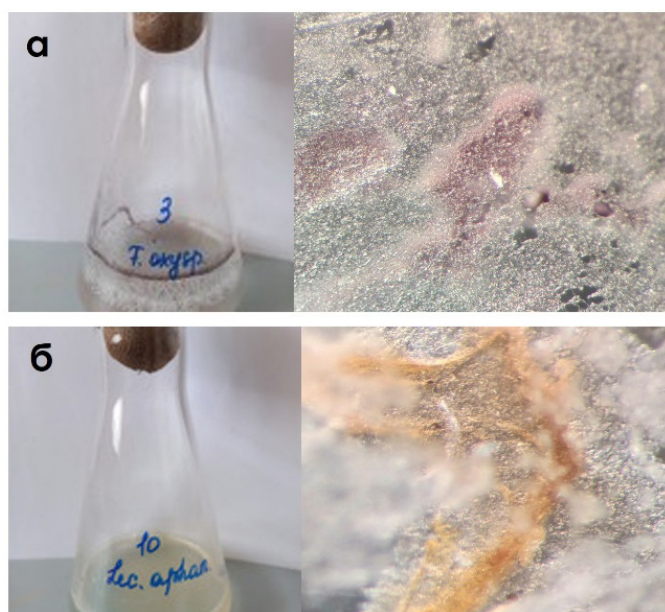


Рисунок 1. Рост мицелия в культуральной среде и на поверхности образцов ПЭТ: *Fusarium oxysporum* (а) и *Lecanicillium aphanocladii* (б).



ПЭТ, вырезанные из бутылок для упаковки питьевой воды, являлись единственным источником углерода для микроорганизмов. Эксперименте проводили при 24°C в течение 30 суток.

После 30 суток воздействия микромицетов гравиметрическим методом была определена величина потери массы образцов ПЭТ и накопление массы мицелия. Теплофизические характеристики определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии, а анализ химической структуры проводили, используя ИК-спектроскопию. Изменение морфологии образцов ПЭТ оценивали с помощью оптической микроскопии, а изучение гидрофобности поверхности исходных образцов ПЭТ и после эксперимента анализировали, определяя угол смачивания.

Таким образом, в данной работе использование ПЭТ как единственного источника углерода для аскомицетов *F. oxysporum*, *T. harzianum*, *T. sayulitensis* и *L. aphanocladii* было изучено при T= 24 °C в течение 30 суток. Наибольшая потеря массы образцами ПЭТ наблюдалась в эксперименте с грибами *F. oxysporum* (22%) и *T. harzianum* (17%). С помощью физико-химических методов показано изменение в химической структуре ПЭТ и его теплофизических характеристик. По совокупности данных ДСК и потери массы, можно говорить об активной деградации аморфной фазы ПЭТ посредством ферментативного гидролиза.

**Благодарность:** Авторы выражают благодарность д.б.н., проф. В.А. Тереховой (Институт проблем экологии и эволюции РАН) за предоставленный микромицет *Trichoderma harzianum*.

#### Литература

1. J.R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox et al. // Science, V. 347, 768-771, (2015).
2. A. Chamas, H. Moon, J. Zheng et al. // ACS Sustain. Chem. Eng., V. 8 , 3494-3511, (2020).
3. M.L. Garcia, M.R. Oliveira, T.N. Silva et al. // J. Mater. Cycles Waste Manag., V. 23, 699–706, (2021).
4. Y. V. Tertysnaya, M. V. Podzorova, A. V. Khrankova et al. // Polymers, V. 15, 1930, (2023).
5. Y. Kan, L. He, Y. Luo, R. Bao // ChemBioChem., V. 22(10), 1706-1716, (2021).

# СЕКЦИЯ 5

ПОЛУЧЕНИЕ  
ПОЛЕЗНЫХ  
ПРОДУКТОВ  
ПУТЕМ  
ПЕРЕРАБОТКИ  
ОТХОДОВ





## КИПЯЩИЙ СЛОЙ КАТАЛИЗАТОРА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Яковлев В.А., Дубинин Ю.В., Хайрулин С.Р.

ИК СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: yakovlev@catalysis.ru

Общим недостатком всех традиционных систем со слоевым или факельным сжиганием твердого топлива при температуре 1200–1600°C является значительное загрязнение атмосферы токсичными продуктами сгорания (оксиды азота и серы, СО, сажа, бензпирены).

В Институте катализа СО РАН разработан нетрадиционный способ сжигания жидких, газообразных и твердых топлив в присутствии катализаторов в режиме кипящего слоя, который позволяет ликвидировать многие недостатки высокотемпературного сжигания топлив. В основу способа заложено сочетание четырех принципов: применение катализаторов полного окисления веществ; сжигание топлив в псевдооживленном (кипящем) слое частиц катализатора; сжигание смесей топлива и воздуха в соотношении, близком к стехиометрическому; совмещение тепловыделения и теплоотвода в едином псевдооживленном слое.

Присутствие в реакционной системе катализатора снижает температуру сжигания органического топлива с 1000–1200°C до 300–700°C, сохраняя при этом высокие скорости горения и обеспечивая полное сгорание топливно-воздушных смесей без избытка воздуха. В псевдооживленном состоянии гранулы катализатора являются одновременно и твердым теплоносителем, обеспечивая высокие коэффициенты теплоотдачи к поверхности теплообменника. При этом достигается экологическая безопасность сжигания, в том числе, по диоксинам.

Технология сжигания в кипящем слое катализатора (КСК) успешно зарекомендовала себя как эффективный способ получения тепла. В настоящее время, на базе данной технологии, построены и эксплуатируются пять котельных разной мощности: две в кемеровской области (1 и 3 Гкал/час), одна в алтайском крае (3 Гкал/час) и одна в амурской области (6 Гкал/час). Данные котельные работают на сжигании угля в кипящем слое катализатора и демонстрируют значительную выгоду по сравнению с традиционными слоевыми котельными, выражающуюся в меньшем потреблении электроэнергии, меньшем расходе угля, меньшей стоимости производимого тепла. Огромным преимуществом также выступает высокая экологическая безопасность данной технологии: концентрация вредных выбросов в разы ниже соответствующих показателей для традиционных слоевых котельных.

Кроме того, на основании технологии каталитического сжигания в условиях кипящего слоя, был создан специализированный комплекс утилизации иловых осадков очистных сооружений для ОАО «Омскводоканал». Тепловая мощность спроектированного комплекса составляет 4 МВт, а производительность по илу – 1 а.с.в. т/час.

Технология КСК была применена для карбонизации высокозольной биомассы (рисовая шелуха, овса и пр.) в автотермическом режиме с получением углерод-кремнеземных композитов, из которых при последующей химической активации можно получать либо микропористые угли с  $A_{БЭТ}$  до 3000 м<sup>2</sup>/г, либо мезопористые углеродные материалы  $A_{БЭТ}$  до 1500 м<sup>2</sup>/г и долей мезопор до 76%.

На основе технологии КСК разработана простая одностадийная технология очистки попутных газов от сероводорода путем его селективного окисления до серы. Создана и эксплуатируются установки очистки попутного нефтяного газа, нефти от H<sub>2</sub>S. Технология КСК в комбинации с аминовой очисткой обеспечивает производство топливного газа и серы в соответствии с требованиями ГОСТ (газ топливный ГОСТ 5542-87, сера техническая – ГОСТ 127.1-93). Разработанный подход допускает расширение диапазона эксплуатации по сравнению с процессом Клауса и уменьшение капитальных и операционных затрат по сравнению с процессом Клауса, а также существенное улучшение экологических показателей.

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



# КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ПИРОЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ И ШИННЫХ ОТХОДОВ В ПОЛЕЗНЫЕ ПРОДУКТЫ

Нурхаев Н.М.<sup>1</sup>, Антипов А.В.<sup>2</sup>, Соколовский П.В.<sup>3</sup>

ИОХ РАН, г. Москва

E-mail: <sup>1</sup>nnurhaev@gmail.com, <sup>2</sup>av\_antipov@list.ru, <sup>3</sup>sorbent@ioc.ac.ru

Проблема утилизации шинных отходов приобретает все большую актуальность в условиях роста автомобильного парка и сокращения пригодных для захоронения отходов территорий. По данным мировых отчетов, ежегодно производится около одного миллиарда шин, и значительная часть этих шин через несколько лет эксплуатации превращается в отходы, которые требуют безопасной и экологически обоснованной утилизации [1]. Накопление изношенных шин на полигонах создает серьезную угрозу для окружающей среды из-за медленного процесса их разложения, длительностью до 100 лет [2], а также способствует возникновению пожаров, которые крайне трудно потушить. Неправильное обращение с шинными отходами приводит к выбросу в атмосферу токсичных веществ [3], загрязнению почвы и водоемов. В связи с этим разработка эффективных методов переработки шин становится одной из приоритетных задач в рамках устойчивого развития и охраны окружающей среды [1, 3].

Существует несколько основных методов переработки шинных отходов, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками. Один из самых распространенных является механическая переработка, включающая крошение и измельчение шин, в результате которого получается резиновая крошка. Другим эффективным методом переработки является пиролиз шин. Основными продуктами пиролиза являются углеродные материалы (технический углерод, карбонизат), жидкие и газообразные продукты (углеводороды различного строения, легкие серосодержащие органические соединения, водород, монооксид углерода и др.) [4]. В отличие от механической переработки, пиролиз является более универсальным методом утилизации, так как позволяет использовать любую фракцию резиновых отходов для переработки.

В последнее время большое количество научных работ посвящено использованию технологий совместного пиролиза шинных отходов и растительной биомассы. Добавление в биомассу шинных отходов позволяет существенно улучшить качество жидкой фракции. Установлено, что кислотность, плотность и содержание кислорода уменьшаются, а pH и теплотворная способность увеличиваются по сравнению с пиролизной жидкостью, состоящей только из растительной биомассы. Благодаря этому получается бионефть более высокого качества [5].

**Таблица 1.** Результаты исследования пиролизной переработки отходов.

Результаты элементного CHNS анализа				
Название образца	C	H	N	S
NT	85,32	7,25	0,48	2,67
L	86,1	10,8	0,51	0,92
L+Op	56,4	8,8	0,3	0,3
Массовый выход продуктов пиролиза				
Название образца	Масса загрузки исходного материала, г	Масса твердых углеродных остатков, г	Масса жидких отходов, г	
NT	20	11,6 (58%)	5,5 (27,5%)	
NT+Op	20	12,2 (61%)	7,5 (37,5%)	

**Примечание:** NT – Исходный образец шинных отходов, L – жидкая фракция после пиролиза шин, L+Op – жидкая фракция после пиролиза шин с хвойными опилками, NT-Op – исходный образец шинных отходов с растительной биомассой



Механизм улучшения качества полученной жидкой фракции связан с наличием радикальных взаимодействий между отработанными шинами и продуктами пиролиза биомассы. Кроме того, установлено, что добавление отработанных шин в смесь сырья значительно снижает количество альдегидов и фенольных соединений, что повышает фазовую стабильность полученной бионефти [5]. Совместный пиролиз снижает общую энергоемкость процесса, уменьшает количество образующихся токсичных веществ и способствует повышению экологической безопасности. Таким образом, совместный пиролиз представляет собой многообещающий метод переработки шинных отходов, обладающий потенциалом для широкого применения в будущем.

Для исследований были выбраны подержанные покрышки фирмы BFGOODRICH 2016 г. выпуска (Франция). Полученные покрышки были подвергнуты измельчению (кубики со стороной ~1 см). Масса загрузки образца шинных отходов с кордом составляла 20 грамм. Пиролиз проводили в установке для пиролиза в реакторе с неподвижным слоем. Температурный режим печи: рост температуры 20 – 650°C со скоростью 10°C, выдерживание при 650°C в течение часа. Для совместного пиролиза шинных отходов с биомассой в качестве биомассы была использована щепа хвойных пород с полигона поселения Верхнетуломский Кольского района Мурманской области. При проведении испытаний по совместному пиролизу была использована та же установка, что и для пиролиза шинных отходов. Массовое соотношение отходов было выбрано, как 1:1 биомасса и шинных отходов соответственно.

Исходный материал и полученные продукты исследованы методом CHNS элементного анализа на CHNOS-анализаторе LECO TruSpec Micro CHNS (LECO, США). Масса образца составляла 50 мг. Анализ продуктов реакции осуществляли с помощью газового хроматографа Хроматэк-Кристалл 5000 с детектором по теплопроводности и колонкой М SS316 3м\*2мм, Hayesep Q 80/100меш. Температура колонки менялась по следующей программе: 40°C в течение 1,5 мин., подъём до 100°C со скоростью 15°C/мин. После процесса пиролиза были определены выходы основных продуктов (твёрдых, жидких, газообразных). Результаты исследования пиролизной переработки отходов шин и растительной биомассы представлены в таблице 1.

**Выводы:** Полученные жидкие продукты горят коптящим пламенем, в отличие от пиролизной жидкости исходных опилок, содержащей большое количество воды и органических кислородсодержащих соединений. Добавление шинных материалов в биомассу в массовом отношении 1:1 позволяет также повысить выход жидких продуктов относительно пиролиза исходных шинных отходов. Тем не менее, для использования полученной пиролизной жидкости в качестве топлива необходимо проведения гидрообесеривания для удаления соединений серы и дополнительного обогащения для введения дополнительного количества водорода.

#### Литература

1. Gaidhane J., Ullah I., Khalatkar A. Tyre remanufacturing: A brief review // Mater Today Proc. 2022. Vol. 60. P. 2257–2261.
2. Xu J. et al. High-value utilization of waste tires: A review with focus on modified carbon black from pyrolysis // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 742. P. 140235.
3. Bijina V. et al. Recent trends in industrial and academic developments of green tyre technology // Polymer Bulletin. 2023. Vol. 80, № 8. P. 8215–8244.
4. Jahirul M.I. et al. A Review on the Thermochemical Recycling of Waste Tyres to Oil for Automobile Engine Application // Energies (Basel). 2021. Vol. 14, № 13. P. 3837.
5. Martínez J.D. et al. Co-pyrolysis of biomass with waste tyres: Upgrading of liquid bio-fuel // Fuel Processing Technology. 2014. Vol. 119. P. 263–271.

# ОПЫТ ВЫРАЩИВАНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУР В ПОЧВОСМЕСИ, НА ОСНОВЕ КОМПОСТА ИЗ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

Гаптрахманова З.А.\* , Романова С.М., Мадякина А.М.

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

E-mail: \*zulfira02@mail.ru

Эффективная организация водоотведения и очистки промышленных, ливневых и бытовых стоков – это важный элемент инфраструктуры любого современного города [1]. Традиционная технология очистки сточных вод состоит из трёх последовательных этапов: механический, биологический и химический (обеззараживание).

Каждый этап характеризуется образованием осадков сточных вод (ОСВ), которые представляет собой основной вид отходов очистных сооружений. Только на территории России ежегодно образуется свыше 2 млн тонн таких осадков в пересчёте на сухое вещество. Поскольку большая часть ОСВ практически не находит применения, их размещают на полигонах, что приводит к масштабному загрязнению окружающей среды.

В составе ОСВ содержится множество органических и неорганических соединений как биогенного, так и техногенного происхождения, включая тяжелые металлы, патогенную микрофлору, нефтепродукты и т.п. [2]. Значительное негативное влияние на состояние окружающей среды, наносимое большими объемами осадков сточных вод, обуславливает необходимость проведения научных исследований для разработки эффективных методов их утилизации.

Целью настоящего исследования является разработка метода утилизации ОСВ в почвосмесь, пригодную для использования в городском озеленении.

Объектом исследования является осадок сточных вод АО «ЗВКС» г. Зеленодольска Республики Татарстан.

Для получения безопасного в санитарно-гигиеническом отношении продукта, в состав которого входит удобрение на основе ОСВ, была выбрана технология аэробной стабилизации при помощи бактериальной культуры *B. subtilis* штамм 26D.

С целью снижения подвижности и биодоступности тяжелых металлов в осадке сточных вод была проведена обработка негашеной известью. Введение оксида кальция приводит к значительному повышению значения pH среды, что вызывает осаждение катионов тяжелых металлов в виде труднорастворимых гидроксидов и карбонатов.

Далее производилось внесение цеолита в компост на основе ОСВ, способствующее разрыхлению субстрата. Помимо этого, цеолит, обладая высокой ионообменной способностью, сорбирует содержащийся в компосте аммонийный азот и др. питательные элементы, предотвращая их потери.



Рисунок 1. Контрольная и экспериментальная делянки.



В результате данной модификации осадков образуется органоминеральное удобрение, которое не только обеспечивает растения макро- и микроэлементами, но и способствует улучшению структуры почвы.

Для приведения состава удобрения в соответствие с установленными нормами был применен метод корректировки его элементного баланса путем внесения расчетных количеств минеральных добавок – нитрата аммония ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) и дигидрофосфата кальция ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ).

Эксперимент по изучению влияния почвосмеси на всхожесть декоративной культурой *Calistephus chinensis* L. (Астра Срезочная) проводился в полевых условиях с использованием делянок площадью  $1 \text{ м}^2$  и глубиной 30 см.

Делянки содержали два заложенных варианта: вариант № 1 служил контролем и состоял только из почвы городского опытного участка; вариант № 2 включал внесение почвосмеси, полученного из ОСВ, в количестве  $28 \text{ кг/м}^2$ . Компоненты – удобрение из ОСВ: почва городского опытного участка: цеолит: аммиачная селитра: суперфосфат: яичная скорлупа, смешивались в соотношении 1:1:1:0,015:0,041:0,046. Добавление яичной скорлупы способствует усилению поставки кальция, участвующего в формировании клеточных стенок растений.

Приживаемость семян Астры составила 89% по сравнению с контролем (рис. 1), где приживаемость составила 65%. Показатель приживаемости определялся по ГОСТ Р 59370-2021 «Зеленые» стандарты. Посадочный материал декоративных растений».

Различия в приживаемости обусловлены оптимальным и сбалансированным составом использованной почвосмеси, а также благоприятными физико-химическими ее свойствами.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило возможность эффективной переработки осадков сточных вод в компост, соответствующее требованиям ГОСТ Р 54651-2011. Разработанный метод позволяет не только снизить экологическую нагрузку от накопления ОСВ, но и получить экономически выгодный продукт для озеленения городских территорий.

#### Литература

1. Аликбаева Л. А. Научные основы обеспечения гигиенической безопасности эксплуатации городских очистных сооружений с технологией сжигания осадка сточных вод: Дис. д-ра мед. наук. СПб., 2008. 373 с.
2. Approaches in solving environmental problems of waste disposal from municipal treatment facilities. Материалы III Международной научно-практической конференции «Обеспечение устойчивого развития в контексте сельского хозяйства, энергетики, экологии и науки о Земле» (ESDCA-III-2023). Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1212, Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Energy, Ecology and Earth Science 14/03/2023 - 18/03/2023 Dushanbe, Tajikistan Citation S M Romanova et al 2023 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1212 012010.





## ЭКОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ: КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ФЕНОЛОВ

Баженов С.Д.

ИНХС РАН, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, 29

E-mail: sbazhenov@ips.ac.ru

В современных условиях воздействие человека на окружающую среду достигло уровня, угрожающего возобновлению природных ресурсов и опасного для жизни и здоровья людей, для растительного и животного мира. Быстрорастущие темпы урбанизации, в том числе в условиях близости промышленных объектов, усугубляют экологические проблемы. По данным Росстата на начало 2024 г. чуть более 75% населения РФ проживает в городах, из которых ~13% проживает в 320 моногородах рядом с градообразующими предприятиями. При этом все промышленные города сталкиваются с одинаковыми экологическими проблемами: загрязнение водных ресурсов сточными водами, загрязнение воздуха вредными выбросами предприятий и транспорта, образование многочисленных неконтролируемых свалок, полигонов твёрдых бытовых отходов (ТБО) и иловых полей. В среднем, прирост образования отходов различного типа в РФ составляет ~3% ежегодно. Таким образом, антропогенное загрязнение становится всё более серьёзной угрозой для городского населения.

Среди указанных проблема очистки сточных вод стоит особенно остро. Так, по данным Росводресурсов, в 2023 году объём сточных вод, сбрасываемых в природные водные объекты РФ, составил 37 468,7 млн м<sup>3</sup>, при этом доля сточных вод, очищенных до нормативных значений, в последние годы не имеет положительной динамики и в среднем по стране находится на уровне 45–47%.

Фенолы являются одним из наиболее распространенных загрязнителей, поступающих в поверхностные воды со стоками различных технологических предприятий (НПЗ, нефтехимические и фармпредприятия, ЦБК и др.). Сброс фенольных вод в водоемы и водотоки резко ухудшает их общее санитарное состояние, оказывая влияние на живые организмы не только своей токсичностью, но и значительным изменением режима биогенных элементов и растворенных газов (кислорода, углекислого газа). С другой стороны, фенол является ценным крупнотоннажным химическим сырьем для получения целого спектра полезных продуктов (эпоксидные и фенолформальдегидные смолы, поликарбонаты, искусственные волокна, антиоксиданты и ПАВ, лекарственные препараты и др.).

В докладе будут представлены разработки ИНХС РАН в рамках Крупного Научного Проекта «Экология промышленных городов», направленного на создание единого комплекса нестандартных научно-технологических решений для мониторинга окружающей среды, нейтрализации и последующей глубокой переработки промышленных и бытовых отходов. В частности, будет представлен комплекс методов извлечения фенолов из сточных вод и биотехнологических сред с применением мембранной технологии, и каталитического превращения фенолов в ценные химические продукты – гидрохинон (ингибитор полимеризации виниловых мономеров, антиоксидант, и др.), пирокатехин (сырьё для производства красителей и лекарственных средств и др.), гидроксibenзойные кислоты (сырьё для производства волокон, лекарственных препаратов, консервантов, и др.).

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



## ЗЕЛЕНый КОД ПОЛИМЕРОВ: РЕАЛЬНЫЕ КЕЙСЫ СИБУР ПОЛИЛАБ

Ялышев У.Р., Булашов К.И., Ананьева Г.С.

ПАО «Казаньоргсинтез», Казань, Россия, 420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101

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

Пластиковая индустрия является одной из самых быстроразвивающихся отраслей, одновременно сталкиваясь с серьезными экологическими вызовами. В ходе последнего десятилетия внедрение рядовых технологий переработки сменяется использованием современных прогрессивных технологий, способствующих перейти к циркулярной экономике.

В условиях глобального перехода к устойчивому развитию и циркулярной экономике компания СИБУР ведет разработку инновационных компаундных решений под брендом Vivilen, представляющих собой смесь первичного материала с вовлечением вторичных переработанных отходов полимеров.

Инновационный бренд Vivilen представляет полимерные материалы с вовлечением переработанного пластика, позволяющие реализовывать принципы экономики замкнутого цикла. Примеры проектов по технологиям механического рециклинга: для пищевого применения это собственное производство гранул Vivilen rPET с содержанием вторичного сырья до 30%. Для непищевого применения с нашими партнерами переработка одноразовой посуды в компаунд Vivilen rPP с до 25% вторичного пластика, а также марки Vivilen rPS с использованием вторичной гранулы из под крышек кофе и лотков от тортов, собранной в ресторанах, для последующего производства декоративной мебели. Кроме этого, для возможности переработки отходов «хвостов» таких как, загрязненные пакеты и пленки органическими отходами, активно развиваем перспективную технологию химического рециклинга, на выходе из которого получают качественный «термолизат», с последующей возможностью ввода его в цепочку текущего производства первичной гранулы СИБУР.

Реализуются проекты по сбору и переработке FFS-упаковки с вовлечением до 30% потребительских отходов в состав новых упаковочных материалов. Компания активно развивает инфраструктуру экологического сбора вторсырья, включая установку фандоматов и экомодов с образовательной функцией.

Таким образом, СИБУР последовательно формирует устойчивую и ответственную модель работы с пластиком, где отходы превращаются в ресурс. Бренд Vivilen становится не просто линейкой продуктов, а инструментом системных изменений – от переработки бытовых отходов до создания качественных материалов для новых товаров. Это подтверждает готовность компании вносить вклад в экологический переход отрасли и строить экономику, в которой ценность пластика сохраняется на каждом этапе его жизненного цикла.



# КАТАЛИТИЧЕСКАЯ КОНВЕРСИЯ СКОРЛУПЫ ФУНДУКА В ХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ В ПРИСУТСТВИИ СОЕДИНЕНИЙ Fe, Co, Ni

Кульберг И.С.<sup>\*</sup>, Власова Е.А., Медведев А.А., Соколовский П.В.<sup>‡</sup>,

ИОХ РАН, г. Москва

E-mail: <sup>\*</sup>kulberg@ioc.ac.ru, <sup>‡</sup>sorbent@ioc.ac.ru

При существующей мировой тенденции постоянно растущего энергопотребления возникает существенный интерес в разработке альтернативных источников органического сырья [1]. Пиролизические технологии представляют в этом свете большой интерес ввиду возможности получения разнообразных продуктов, которые при последующем облагораживании позволяют получать ценное сырье, не уступающее по потребительским свойствам, получаемому из ископаемых источников [2].

В качестве исследуемого образца использовали скорлупу фундука (HSN). Для удаления влаги сырье нагревали до 200 °С со скоростью 6,7 °С/мин и выдерживали 30 минут. Затем проводили пиролиз при 650 °С со скоростью нагрева 5 °С/мин с последующей выдержкой в течение часа. По завершению процесса систему охлаждали.

Эксперименты проводились при следующих условиях:

**Некаталитический пиролиз. Пиролиз в токе азота:** Измельченное сырье пиролизовали в атмосфере азота; **Пиролиз с глиной (MMT) в атмосфере азота:** Сырье смешивали с монтмориллонитовой глиной (MMT) 1:1, увлажняли 10 мл воды до пастообразного состояния и пиролизовали в токе азота; **Пиролиз с глиной (MMT) на воздухе:** Порядок аналогичен предыдущему алгоритму, но пиролиз проводили в атмосфере воздуха;

**Каталитический пиролиз** проводили с использованием прекурсоров - растворов нитратов переходных металлов (Fe, Co, Ni), которые наносили на поверхность MMT методом пропитки по влагоемкости с последующим отжигом при 300 °С для образования оксидов металлов на поверхности глины. Полученные катализаторы (5% Me/MMT) смешивали с сырьем в соотношении 1:1, увлажняли и подвергали пиролизу.

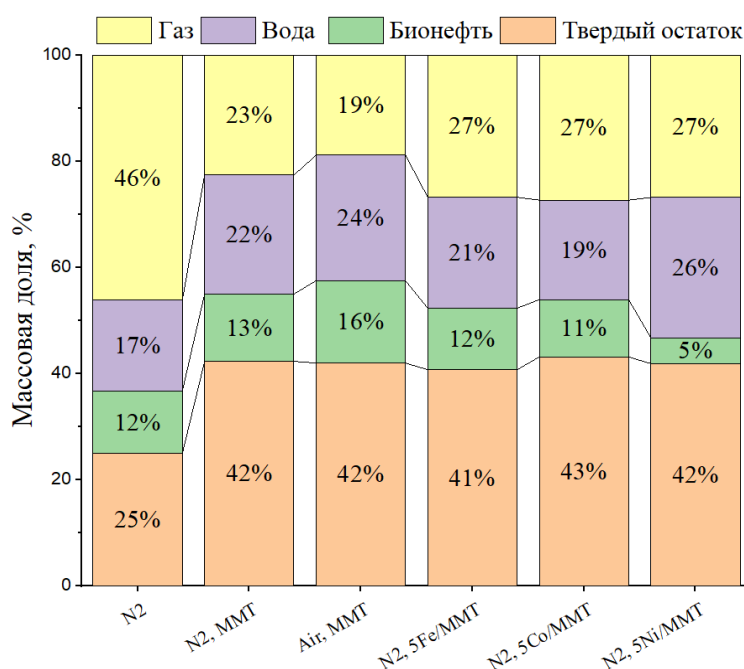


Рисунок 1. Материальный баланс пиролиза HNS при различных режимах проведения процесса.



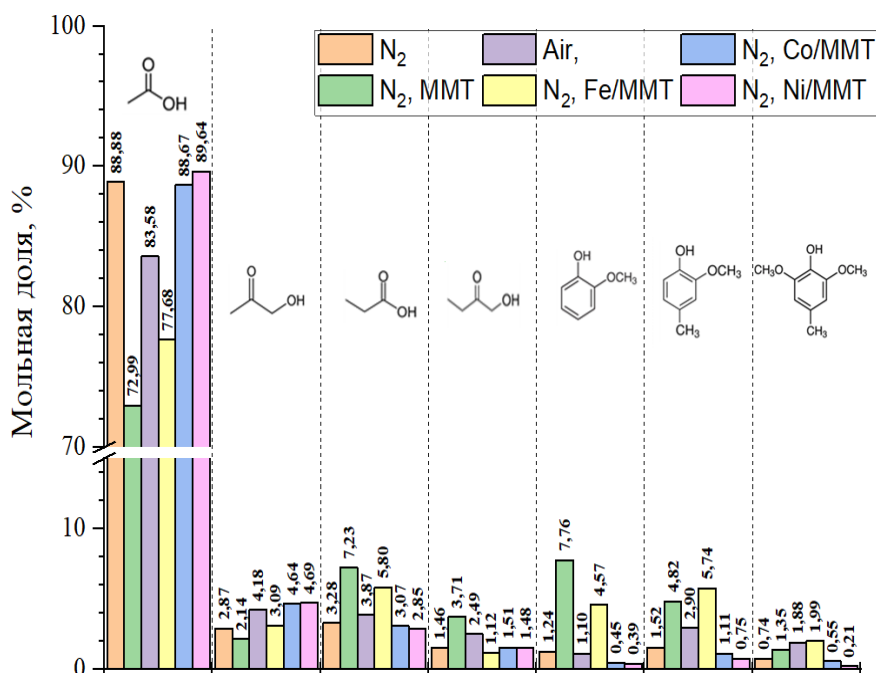


Рисунок 2. Результаты количественного ГХ-МС анализа образцов бионефти после пиролиза HNS.

Методом ГХ-МС проведен качественный анализ жидких продуктов пиролиза, в ходе которого идентифицированы семь основных компонентов по хроматографическим пикам с наибольшей площадью. Для всех образцов проведено сравнение площадей этих пиков с учетом поправочных молярных коэффициентов. Наложение хроматограмм показало сопоставимость пиков и выявило количественные различия в составе продуктов в зависимости от способа пиролиза.

**Выводы:** Наибольший выход бионефти наблюдается в группах N<sub>2</sub>, MMT/Air, MMT. Основным компонентом жидких продуктов пиролиза является уксусная кислота с содержанием более 73%. Введение катализаторов на носителе MMT либо не влияет на равновесие процесса (Fe, Co), либо смещает его в сторону образования воды (Ni). Проведение опыта в токе N<sub>2</sub> с использованием MMT способствует образованию пропионовой кислоты, 1-гидрокси-2-бутанона и производных фенола (C<sub>7</sub>-C<sub>9</sub>). Система N<sub>2</sub>, Ni/MMT характеризуется максимальным содержанием уксусной кислоты (89,6%) и минимальным содержанием производных фенола (C<sub>7</sub>-C<sub>9</sub>) и пропионовой кислоты.

#### Литература

1. Kumar J., Vyas S. Comprehensive review of biomass utilization and gasification for sustainable energy production: Comprehensive review of biomass utilization and gasification...: J. Kumar, S. Vyas //Environment, Development & Sustainability. – 2025. – Т. 27. – №. 3.
2. Zhang K. A Review of Biomass Energy: Comparison of Utilization Methods and Future Prospects //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2025. – Т. 606. – С. 05007.



# НАНОУГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК БИОГЕОСОРБЕНТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МИКРОКОЛИЧЕСТВ УРАНА (VI) ИЗ ВОДНЫХ СРЕД

Карманов А.П.<sup>а,\*</sup>, Кочева Л.С.<sup>б</sup>, Возняковский А.П.<sup>в</sup>, Возняковский А.А.<sup>г</sup>,  
Раскоша О.В.<sup>а</sup>, Рачкова Н.Г.<sup>а</sup>,

а) ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

б) ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

в) НИИСК, г. Санкт-Петербург

г) ФТИ им. А.И. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург

E-mail: \*apk048@yandex.ru

Неизбежным спутником урбанизированных территорий являются полигоны отходов как бытовой, так и промышленной деятельности. Утилизация техногенных отходов с получением эффективных, недорогих и удобных в применении продуктов, которые могли бы составить достойную конкуренцию широко используемым продуктам и материалам, относится к современным актуальным технологическим и экологическим проблемам.

Карбонизацией кородревесных отходов лесоперерабатывающих предприятий получены углеродные наноматериалы (НУМ), синтезированные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Полученные наноуглероды были соотнесены с 2D графеновыми структурами. Проведено исследование процессов сорбции-десорбции опасного долгоживущего радионуклида U238 в водных средах с использованием в качестве адсорбента образцов новых наноуглеродных материалов. Представлены данные о химической структуре образцов НУМ, полученные методами рентгенофлуоресцентного анализа, ИК-, ЭПР- и рамановской спектроскопии. Для сравнения результатов были использованы адсорбционные материалы, синтезированные из целлюлозы и технического лигнина. Показано, что в результате карбонизации древесной коры в выбранных условиях происходит кардинальная трансформация исходного вещества, что подтверждается результатами исследований методами сканирующей электронной микроскопии. Методом низкотемпературной адсорбции азота установлен факт формирования в ходе СВС-процесса развитой поверхностно-пористой структуры, по величине удельной площади поверхности почти на два порядка превышающей этот показатель для исходного вещества.

Результаты исследований свидетельствуют о высокой сорбционной способности наноуглеродных адсорбентов в отношении урана, находящегося в микроколичествах ( $\sim 1 \times 10^{-6}$  г/мл) в водных средах (показатель сорбции S достигает 98%). Установлено, что образцы НУМ из коры характеризуются весьма прочным удерживанием урана, значительное количество которого (показатель прочной адсорбции  $S_F$  достигает 84%) не десорбируются ни водой, ни водными растворами  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  и  $\text{HCl}$ . Полученные в данной работе результаты свидетельствуют о высоком инновационном потенциале наноуглеродных материалов, синтезированных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Они могут быть рекомендованы для использования в качестве биогосорбентов для дополнительной очистки различных водных сред (природных и бытовых), а также в качестве энтеросорбентов биомедицинского назначения в рамках эфферентной терапии.

**Благодарность:** Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 125020501526-3, химический анализ) и государственного задания Института геологии (№ 122040600011-5, физико-химический анализ) ФИЦ Коми НЦ УрО РАН с использованием оборудования ЦКП «Экоаналит» и ЦКП «Геонаука».

УДК: 628.3(470+491)

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ВНЕДРЕНИЮ РЕВЕРСИВНОЙ ЛОГИСТИКИ В СИСТЕМУ УТИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

Одинцова А.А.

*«Приазовский государственный технический университет» филиал федерального бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский московский государственный университет»,  
Донецкая Народная Республика, г. о. Мариуполь, 287526, г. Мариуполь, ул. Университетская, д. 7*

*E-mail: odyntsova\_aa15@mail.ru*

**Аннотация.** Проблема утилизации изношенных автомобильных шин представляет собой актуальную задачу для современных промышленных мегаполисов, обусловленную как экологическими, так и экономическими аспектами. В статье рассматриваются направления внедрения реверсивной логистики в деятельность предприятий города, а также предлагаются меры по решению вопроса переработки использованных автомобильных шин. В исследовании проведен комплексный анализ актуальных статистических данных, на основании которых сформулированы рекомендации по повышению эффективности интеграции реверсивной логистики в промышленных городах.

**Ключевые слова:** реверсивная логистика, рециклинг, утилизация автомобильных шин, экологическая проблема, устойчивое развитие.

Современные города сталкиваются с ростом объемов отходов, среди которых особое место занимает изношенные автомобильные шины. Согласно данным Росстата за 2022 год и международных исследований, ежегодно в мире образуется свыше 1 миллиарда шин, большая часть которых попадает на полигоны или в окружающую среду без должной переработки [6]. Это вызывает серьезные экологические угрозы, связанные с миграцией токсичных веществ и накоплением неразлагаемых материалов.

Актуальность исследования обусловлена тем, что в условиях усиления экологического регулирования и необходимости сокращения выбросов парниковых газов внедрение современных методов переработки шин становится приоритетным. Согласно исследованиям European Tyre & Rubber Manufacturers Association, использование пиролиза позволяет получать из шин ценные продукты – оксиды углерода, синтез-газ и углеродный черный, что способствует циркулярной экономике [1].

Целью работы является анализ современного состояния и перспектив внедрения реверсивной логистики в промышленных городах России и зарубежья. В задачи входит оценка эффективности текущих моделей, выявление ключевых факторов успешной реализации и разработка рекомендаций по их совершенствованию.

**Таблица 1.** Сравнение уровня внедрения реверсивной логистики в промышленных городах РФ, США и ЕС за 2025 г.

Год	Россия	Европейский союз	США
2020	35 %	55 %	60 %
2021	40 %	58 %	65 %
2022	45 %	62 %	70 %
2023	50 %	65 %	75 %
2024	55 %	68 %	80 %
2025	60 %	70 %	85 %



Реверсивная логистика, как концепция обращения продукции и отходов обратно в цепочку создания стоимости, позволяет решать экологические и экономические задачи [2]. В рамках данной работы проведен анализ текущего состояния реверсивной логистики в предприятиях города, выявлено основные проблемы реализации предлагаемой инновации, также предложено меры по повышению эффективности переработки автошин.

По данным Федеральной службы государственной статистики, объем отходов производства и потребления в РФ за 2022 год достиг 1,2 млрд тонн, из которых только 35% утилизировано или переработано [5]. В промышленных городах доля отходов, подлежащих реверсивной логистике, составляет около 55%, что свидетельствует о потенциале для оптимизации данных процессов.

Реверсивная логистика включает в себя процессы сбора, сортировки, переработки и повторного внедрения материалов, что способствует сокращению отходов и снижению негативного воздействия на окружающую среду [4]. В условиях российских реалий актуализируются вопросы инфраструктурного обеспечения и нормативного регулирования [3].

Зарубежные исследования отмечают успешные практики внедрения реверсивной логистики в автошинной промышленности: например, в США и странах ЕС внедрение систем сбора и переработки достигло уровня свыше 80% [7]. Сравнение уровня внедрения реверсивной логистики в промышленных городах РФ, США и ЕС за 2025 г. приведено в таблице 1.

Изношенные шины содержат резиновые, металлические и текстильные компоненты, разлагающиеся десятки лет. Их переработка включает использование методов шрединга, пиролиза, гранулирования и повторного использования в строительстве, производстве новых шин и иных отраслях [10]. Переработка шин включает несколько технологических процессов, каждый из которых позволяет максимально использовать вторичные материалы:

**Механическая переработка.** Шины дробятся на резиновую крошку, гранулы, щебень и волокна. Эти материалы применяются в дорожном строительстве, производстве резиновых покрытий, изоляции, спортивных покрытий. Современные установки позволяют получать резиновую крошку фракциями от 0,1 до 10 мм, что расширяет спектр их применения.

**Термическая переработка (пиролиз).** Процесс, при котором шины нагреваются без доступа кислорода, позволяет получать нефтяные продукты, резиновую пыль, углеродные черные и металлические отходы. Полученные продукты используют в топливной промышленности, производстве новых шин и резиновых изделий.

**Химическая переработка.** Включает гидролиз, деполимеризацию и другие методы, позволяющие восстанавливать каучук, синтетические полимеры и химические компоненты. Эти технологии требуют высокой технологической оснащенности и строгого экологического контроля.

В российской практике внедрение таких технологий остается недостаточно развитым, что обусловлено как технологическими, так и организационно-экономическими барьерами [9]. Эффективность внедрения данных технологий зависит от уровня инфраструктуры, инвестиций и нормативных стимулов. Экологические и экономические аспекты переработки автомобильных шин приведены ниже.

#### **Положительные экологические эффекты:**

**Уменьшение загрязнения окружающей среды.** Переработка шин предотвращает попадание токсичных веществ — тяжелых металлов, химикатов, асбестов — в почву и воду. Это снижает риск экологических катастроф и заболеваний населения.

**Сокращение объемов свалочных отходов.** Использованные шины занимают значительные площади на свалках и разлагаются десятилетиями, выделяя вредные вещества. Переработка позволяет значительно снизить объем захламления.

**Снижение выбросов парниковых газов.** Использование вторичных материалов в производстве заменяет добычу первичных ресурсов, что ведет к сокращению выбросов CO<sub>2</sub> и других парниковых газов. В рамках международных инициатив, таких как Парижское соглашение, это является важным направлением борьбы с изменением климата [5].

Экологические вызовы и риски

**Выбросы вредных газов при пиролизе.** Технологический процесс пиролиза требует строгого контроля выбросов, поскольку при неправильной эксплуатации возможны утечки токсинов.

**Использование химических веществ.** Некоторые методы переработки используют химические реагенты, что при неправильном обращении может привести к загрязнению окружающей среды.

**Образование отходов после переработки.** Остаточные материалы требуют безопасной утилизации или повторной переработки, чтобы не допустить вторичного загрязнения.

Потенциал для развития экономики замкнутого цикла:

**Создание новых рабочих мест.** В перерабатывающих предприятиях требуется квалифицированный персонал, что способствует развитию промышленной занятости и региональной экономики.

**Развитие рынка вторичных материалов.** Резиновая крошка, гранулы, черный углерод – востребованные материалы в дорожном строительстве, производстве спортивных покрытий, резиновых изделий и стройматериалов. Экспорт этих материалов также открывает новые возможности для отечественной промышленности.

**Инновационные проекты и стартапы.** Внедрение новых технологий переработки стимулирует развитие инновационных предприятий, повышающих конкурентоспособность региона.

Барьеры и риски

**Высокие первоначальные инвестиции.** Оборудование для переработки шин требует значительных капиталовложений, особенно для достижения экологических стандартов.

**Отсутствие нормативной поддержки.** Недостаточно развитая нормативная база и отсутствие стимулирующих мер могут препятствовать развитию отрасли.

**Конкуренция и импорт.** Недостаточная стандартизация переработанных материалов и конкуренция с импортными аналогами могут снизить экономическую привлекательность проектов.

Для успешной реализации программ по переработке шин и внедрению реверсивной логистики в промышленных городах необходимо:

**Разработать и закрепить нормативные акты,** стимулирующие переработку шин, например, введение обязательных квот и налоговых льгот.

**Инвестировать в современное технологическое оборудование,** снижающее экологические риски и повышающее эффективность переработки.

**Создавать системы сбора и логистики** для своевременного возврата использованных шин, включая развитие инфраструктуры пунктов сбора и транспортных коридоров.

**Развивать научно-исследовательские инициативы** по улучшению технологий переработки и расширению ассортимента применяемых материалов.

**Обучать специалистов** в сфере экологического менеджмента и переработки отходов.

**Выводы:** Переработка использованных автомобильных шин- важнейшее направление реверсивной логистики, которое позволяет решать экологические проблемы, связанные с отходами, а также стимулировать экономический рост через развитие вторичного сырья. Внедрение современных технологий, нормативное регулирование и развитие инфраструктуры являются ключевыми условиями для повышения эффективности и масштабирования данной практики в промышленных городах России. Эти меры позволят снизить экологическую нагрузку, обеспечить ресурсную безопасность и создать новые источники доходов

#### Литература

1. European Commission. Waste Management and Recycling in the EU. Brussels: European Union Publications, 2020.
2. Liu, Y., et al. Reverse Logistics and Sustainable Development. International Journal of Logistics Research and Applications, 23(2), 134-150, 2020.
3. Петрова, М. Регулирование отходов автотранспортных средств в России. Экологический вестник, 7(1), 22-29, 2022.
4. Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2021). Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. Supply Chain Management Review, 25(4), 14-21, 2021.
5. Smith, J., & Johnson, K. (2023). Sustainable Logistics: Theory and Practice. Routledge.
6. OECD. Waste Management Policies in OECD Countries. OECD Publishing, 2025.
7. US EPA. Tire Recycling and Reuse. Environmental Protection Agency Reports, 2025.
8. Росстат. Отходы и утилизация в России. Статистический сборник, 2022.
9. Ivanova, E. Технологии переработки шин: современные тренды и перспективы. Журнал экологических технологий, 12(3), 2023. 45-58.
10. Kumar, P., Singh, R., & Sharma, A. Recycling of Waste Tires: An Overview. Journal of Cleaner Production, 278, 2021.



## ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ 3D-ПЕЧАТИ

**Шафигуллин Л.Н.\*, Романова Н.В., Габдрахманов А.Т., Насыров И.А.**

*Набережночелнинский институт (филиал) Казанского Федерального Университета,  
Набережные Челны, Российская Федерация*

*E-mail: \*misharin\_82@mail.ru*

В настоящее время стремительный рост развития аддитивных технологий практически во всех областях науки и производства. При этом экструзионная 3D-печать стала одной из наиболее востребованных и динамично развивающихся технологий в сфере 3D-печати, способствуя переходу от концептуальных моделей к полноценным функциональным изделиям. Для изготовления полимерных материалов для 3D-печати используются термопластичные полимеры те же, что и для литья термопластов под давлением: PLA (полилактид), PP (полипропилен), ABS (акрилонитрилбутадиенстирол), PC (поликарбонат), PA (полиамид), PETG (полиэтилентерефталат-гликоль).

Известно, что стоимость конструкционных полимеров, например, таких как поликарбонат и полиацетали, примерно в четыре раза превосходит стоимость крупнотоннажных полимеров. Развитие технологии вторичной переработки (рециклинга) конструкционных пластмасс может вывести всю технологию рециклинга полимеров на новый уровень. Кроме того, повышенный спрос на вторичные конструкционные пластмассы также является движущей силой развития этой сферы промышленности.

Согласно исследованию Калифорнийского университета в Беркли, только 100 3D-принтеров за год производят свыше 200 кг пластиковых отходов. На глобальном уровне эта цифра исчисляется тысячами тонн ежегодно. Основные источники отходов – неудачные отпечатки, поддерживающие структуры, обрезки филамента, остатки моделей.

PLA, один из самых популярных пластиков, хоть и биоразлагаем, не разрушается в естественной среде с достаточной скоростью. PETG, несмотря на химическую схожесть с ПЭТ-бутылками, практически не принимается на переработку большинством муниципальных служб. Следовательно, переработка отходов 3D-печати является актуальной экологической задачей.

Перспективным направлением в материаловедении является разработка полимерных материалов на основе отходов FDM, FGF и SLS-печати. Существует целый ряд компаний, предлагающих вторично переработанные нити: Компании Reflow, Filamentive, ReFuel предлагают филамент, содержащий до 95% переработанных материалов. Однако цена на данные материалы выше, чем у обычного филамента. Главной задачей процесса переработки продуктов рециклинга является исключение процессов деструкции, то есть необходимо избежать ухудшения свойств материала, а этого можно достичь выбором необходимого оборудования, разработкой условий переработки, а также рецептурой полимерных композиций, включающих применение первичных материалов, стабилизаторов и компонентов, улучшающих переработку.

В качестве базовых компонентов выбраны термопластичные материалы PrintaForm производства ООО НПО «3Д Солюшнс» и отходы FDM, FGF и SLS-печати.

Для улучшения характеристик при переработке отходов полимерных материалов использованы различные добавки: термостабилизаторы, УФ-стабилизаторы, осушители, скользящие добавки, одоранты.

Композиции получены с помощью двухшнекового экструдера Welber модели EXL-22DF с 6 зонами нагрева. Филаменты для FDM печати будут изготовлены на лабораторной экструзионной линии для производства 3D нити торговой марки Welber XHD-15KG. Образцы для физико-механических испытаний изготовлены на термопластавтомате Babyplast 10/25 производства Cronoplast SL.

Свойства разрабатываемых композиций оценены по показателям: показатель текучести расплава термопластов по ГОСТ 11645-2021 (ISO 1133-1:2011, NEQ) (метод А, В); предел прочности при одноосном растяжении по ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012); предел прочности на изгиб по ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010); ударная вязкость по ГОСТ 4647-2015 (ISO 179-1:2010, NEQ); твердость по Шор D по ГОСТ 24621-91; морозостойкость при температуре минус 40±2°C в течение 6 часов, теплостойкость при температуре 60±2°C в течение 6 часов, испытания на стойкость к влажной





среде при относительной влажности 100% и 25°C и стойкость к УФ излучению в течение 6 часов с целью оценки изменения пределов прочности при одноосном растяжении и изгибе.

Предложена принципиальная технологическая схема получения полимерных материалов печати на основе отходов FDM, FGF и SLA печати. Получен материалы с удовлетворительными физико-механическими свойствами для изготовления автомобильных компонентов и технологической оснастки.

**Благодарность:** Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан (соглашение № 49/2024-ПД от 16.12.2024 г.).

#### Литература

1. A review of rapid prototyping technologies and systems / X.Yan, P.Gu // Computer Aided Design, V. 28, № 4, P. 307-318 (1996)
2. A review of additive manufacturing / K.V.Wong, A.Hernandez // ISRN Mechanical Engineering, V. 2012, P. 1-10 (2012)
3. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping /J.P. Kruth, M. Leu, T. Nakagawa // CIRP Annals - Manufacturing Technologies, V. 47, № 2, P. 525-540 (1998)
4. Design for stereolithography / D. Pham, C. Ji // Proceedings – Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science, V. 214, № 5, P. 635-640 (2000)
5. Хаширов, А.А. Влияние технологических режимов FDM - печати на свойства изделий из полифениленсульфона и его композита с дискретным углеродным волокном [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 02.00.06. - Нальчик, 2019. - 124 с



# ГИБРИДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Караева Ю.В.

Институт энергетики и перспективных технологий ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: julieenergy@list.ru

За последние десятилетия образование отходов во всем мире значительно увеличилось, и нет никаких признаков того, что это замедлится. Природные и антропогенные экосистемы испытывают увеличенную нагрузку, основной причиной которой является размещение большого количества отходов, из них 60% органические.

В настоящее время интегрированные технологии конверсии органических отходов, объединяющие отдельные процессы переработки, являются единичными в мире и только начинают свое развитие [1]. В России таких технологий нет. Разработка гибридной технологии обеспечит сокращение потребления традиционных топливно-энергетических ресурсов, получение новых продуктов с высокой добавленной стоимостью, совершенствование отечественной технологической и машиностроительной базы, позволяющей выпускать конкурентоспособные установки, обладающие экспортным потенциалом.

Сочетание биологической и термохимической конверсии направлено на максимальное извлечение полезных продуктов из отходов. Таким образом, можно получить газообразное топливо, пиролизную жидкость (бионефть) и биоуголь (рис. 1).

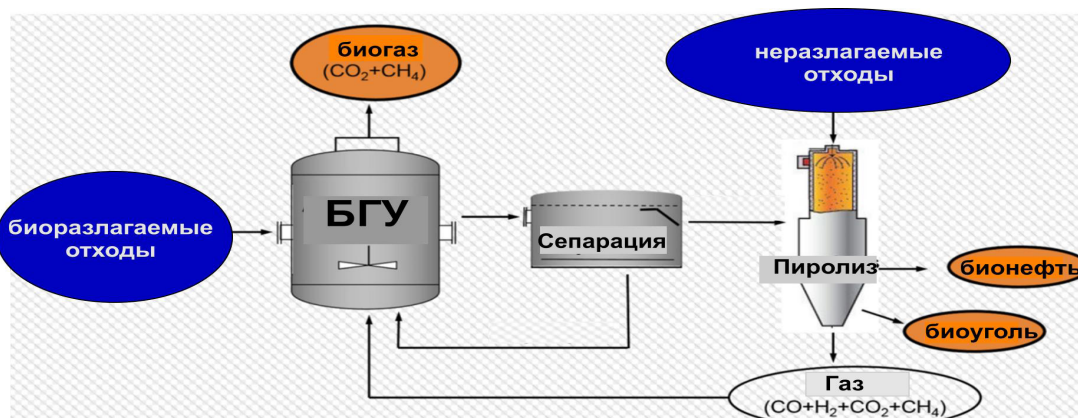


Рисунок 1. Принципиальная схема гибридной технологии.



Рисунок 2. Применение пиролизной жидкости.



Рисунок 3. Применение биоугля.

В результате биологической конверсии образуется биогаз. Его можно использовать в традиционных установках, применяющих природный газ для генерации тепловой и электрической энергии. Жидкий эфлюент, остающийся после метаногенеза, можно сепарировать и твердую фракцию направлять в реактор пиролиза. В исследовании [2] доказано, что при использовании эфлюента в качестве сырья для пиролиза, выработка энергии может увеличиться на 42%.

Продуктами термохимической конверсии являются газ, пиролизная жидкость и биоуголь. Пиролизный газ используется на собственные технологические нужды. В зависимости от состава жидкий и твердый продукты могут иметь различное применение (рис. 2, 3). Следует отметить, что гибридная технология позволяет производить биогаз и бионефть с затратами на 11% и 15% ниже соответственно по сравнению с их автономными аналогами [3].

Такой интегрированный подход повышает энергоэффективность и устойчивость, одновременно снижая общие затраты.

Создание новой технологии конверсии органических отходов способствует расширению спектра перерабатываемого сырья, а также позволяет организовать переход к циркулярной экономике. Исследование позволит реализовать «каскадный» подход, при котором продукты одного процесса становятся сырьем для следующего, т.е. оно также направлено на достижение цели «безотходного производства», позволяющий трансформировать большую часть органического вещества.

#### Литература

1. D. Hidalgo, A. Urueña, J.M. Martín-Marroquín et al. // Sustainability, V. 17, 3615 (2025).
2. S. Tayibi, F. Monlau, F. Marias et al. // Environmental Management, V. 279, 111632 (2021).
3. A. Ebrahimi, E. Houshfir // Fuel, V. 384, 133928 (2025).

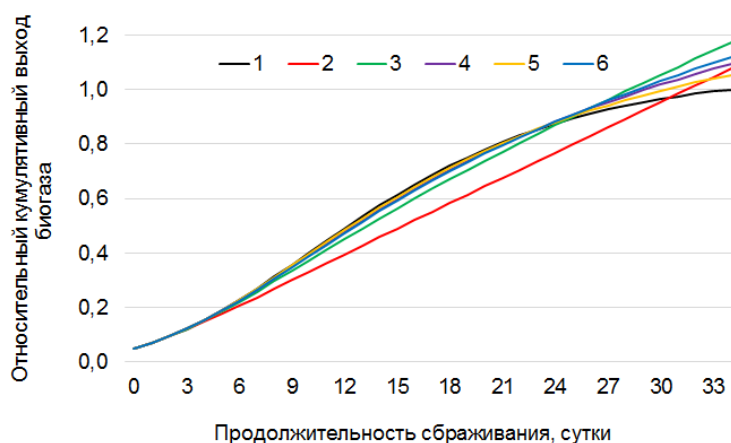
## АСПЕКТЫ БИОТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА

Тимофеева С.С.\*, Караева Ю.В., Сидоркина О.А.

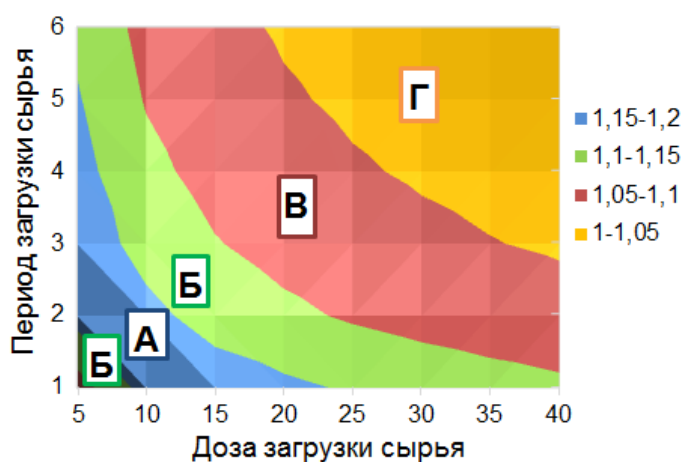
ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

E-mail: \*zvezdochka198512@mail.ru

Куриный помет является одним из самых распространенных отходов агропромышленного комплекса, и его неправильная утилизация может привести к ряду серьезных экологических проблем. Отходы птицеводства являются подходящим субстратом для производства биоэнергии путем биологической конверсии, таких как технологии производства биогаза, из-за высокого содержания общего количества твердых веществ и высокой биоразлагаемости [1]. В тоже время пиролизные установки также позволяют перерабатывать как помет, так и шлам от биогазовой установки в жидкие, твердые и газообразные продукты посредством переработки в реакторах термохимической конверсии [2, 3]. Комбинирование технологий позволяет извлечь из перерабатываемого сырья максимальное количество продуктов с высокой добавленной стоимостью. Целью исследования было



**Рисунок 1.** Кумулятивный выход биогаза для: 1 – реактора периодического действия и реакторов непрерывного действия со следующими характеристиками: 2 –  $\Delta t = 1$ ,  $n = 5$ ; 3 –  $\Delta t = 1$ ,  $n = 15$ ; 4 –  $\Delta t = 2$ ,  $n = 25$ ; 5 –  $\Delta t = 4$ ,  $n = 25$ ; 6 –  $\Delta t = 1$ ,  $n = 35$ .



**Рисунок 2.** Относительный кумулятивный выход биогаза в зависимости от периодичности органической загрузки.



определение оптимальных технологических параметров биологической конверсии и предварительная оценка материального баланса термохимической конверсии отходов птицеводства.

Экспериментальные данные ежедневного выхода биогаза из отходов птицеводства, полученные для реакторов периодического действия, были описаны модифицированной моделью Гомпертца (рис. 1, 2). Содержание сухого вещества (СВ) составило 29,9 %, а органического сухого вещества (оСВ) – 75,6 % (от СВ). Для исследования периодичности загрузки были выбраны значения  $\Delta t$  от 1 до 6 дней. Объемы порции загружаемого субстрата составлял  $1/n$  от объема реактора.

На кривой 1 (рис. 1) динамика выхода биогаза в реакторе полунепрерывного действия представлена на кривых 2–6. Увеличение выхода метана изменяется по линейному закону, скорость его выхода стабилизируется. С течением времени в реакторе полунепрерывного действия выход метана становится выше, чем в аппарате периодического действия.

На рис. 2 самый высокий кумулятивный выход биогаза установлен в области «А» и соответствует максимальному значению на графике, равному 1,15–1,2.

Для оценки потенциала получения новых бионергетических ресурсов были проведены расчеты по биотермохимической технологии утилизации отходов птицеводства филиала ООО «Птицеводческий комплекс «Ак Барс»». Согласно полученным экспериментальным данным выход метана составляет 554,8 м<sup>3</sup> метана из 1 кг оСВ. Соответственно ежегодный выход биогаза равен 5,02 млн. м<sup>3</sup> метана или 8,36 млн. м<sup>3</sup> биогаза в год. Кроме того, образуется большое количество шлама (96,37 тыс. тонн с содержанием оСВ 6 %), после сушки которого на стадию термохимической конверсии направляется 7320 т высушенного сырья в год. В результате пиролиза будет получено 2218 т пиролизной жидкости, 2884 т биочара и 563,88 тыс. м<sup>3</sup> пиролизного газа.

**Благодарность:** Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 25-29-00732, <https://rscf.ru/project/25-29-00732/>.

#### Литература

1. E.M. Pachón Gómez, R.E. Domínguez, D.A. López, J.F. Téllez et al. Chicken litter: A waste or a source of chemicals? Fast pyrolysis and hydrothermal conversion as alternatives in the valorization of poultry waste // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. V.169, 105796 (2023).
2. Ю.В. Караева, С.С. Тимофеева, М.Ф. Гильфанов Возможности применения эффлюента биогазовой установки // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. № 2 (50) (2020).
3. J.V. Karaeva, S.S. Timofeeva, S.I. Islamova, A.V. Gerasimov. Pyrolysis kinetics of new bioenergy feedstock from anaerobic digestate of agro-waste by thermogravimetric analysis // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. V. 10. № 3. C. 107850 (2022).

# СЕКЦИЯ 6

## МИКРОПЛАСТИК В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ





## ПЕРВИЧНЫЙ МИКРОПЛАСТИК В КОСМЕТИКЕ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ

Зорин И.М.<sup>а,б,\*</sup>, Челушкин П.С.<sup>а,б</sup>, Люлин С.В.<sup>а,б</sup>

*а) СПбГУ, г. Санкт-Петербург*

*б) НовГУ, г. Великий Новгород*

*E-mail: \*i.zorin@spbu.ru*

В последнее время как в СМИ, так и в научных публикациях широко обсуждается проблема микропластика – микрочастиц синтетических полимеров, циркулирующих в окружающей среде. Тема вызывает серьезную озабоченность в связи с потенциальной опасностью микропластика для живых организмов и экосистем, а потому может привести к ограничительным мерам в отношении синтетических полимеров и изделий из них. Поэтому вопросы появления, распространения и детектирования микропластика имеют высокую значимость как для экологии, так и для экономики. Весь микропластик можно разделить на две большие группы – первичный (микрочастицы полимеров, синтезированные намеренно и добавляемые специально в различные товарные продукты) и вторичный (микрочастицы, образующиеся в результате износа или разрушения изделий из синтетических полимеров). В данной работе проведен анализ первичного микропластика, используемого в косметических и моющих средствах. Таковыми являются средства уходовой косметики (скрабы, пилинги), декоративной косметики (глиттер) и моющие средства для рук. Проанализировано 8 образцов продуктов, доступных на рынке Российской Федерации, в четырех из них микропластик действительно выявлен в значимых количествах. Показано, что для надежного детектирования микропластика необходимо сочетание нескольких аналитических методов, основанных на различных физических принципах (оптические, спектральные, термические, тесты на растворимость), чтобы избежать ложно-положительных результатов. Наиболее высокое содержание микропластика выявлено в декоративной косметике (глиттеры).

**Благодарность:** Исследование выполнено в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госконтракт № 075-15-2025-016, Мегагрант).

### Литература

1. I.M. Zorin, P.S. Chelushkin, A.S. Senchukova et al. // Analytical Methods, 17, 4599 – 4606 (2025).



## ПЛАСТИКОВЫЙ МУСОР И МИКРОПЛАСТИК: МЕЖДУНАРОДНАЯ ПОВЕСТКА

Люлин С.В.

*Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого*

*E-mail: sergey.v.lyulin@gmail.com*

В настоящем докладе отражены основные вопросы научно-обоснованной международной повестки, связанной с экологическими проблемами, обусловленными увеличивающимся количеством пластикового мусора и микропластика в окружающей среде и выполнения резолюции UNEA 5/14 от 2 марта 2022 года о сокращении загрязнения пластиковым мусором. Устойчивое развитие определяет новые требования к синтетическим полимерам с точки зрения их вреда для окружающей среды, с одной стороны, и обеспечения высокого уровня жизни людей, с другой.

Результаты исследований, проводимых в рамках мегагранта «Новые подходы к решению проблемы микропластика как потенциальной угрозы человеку и окружающей среде» в Новгородском Государственном университете им. Ярослав Мудрого показывают преувеличенную опасность микропластика и необходимость определения его реального вреда для здоровья человека, важность привлечения специалистов в науке о полимерах к решению экологических проблем, связанных с синтетическими полимерами.

**Благодарность:** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственный контракт № 075-15-2025-629, Мегагрант).



## МЕЖДУНАРОДНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРОПЛАСТИКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Черных Н.А.<sup>\*</sup>, Баева Ю.И.<sup>&</sup>

МГИМО МИД России, г. Москва

E-mail: <sup>\*</sup>n.chernih@inno.mgimo.ru, <sup>&</sup>yu.baeva@inno.mgimo.ru

Загрязнение окружающей среды микропластиком - одна из самых обсуждаемых экологических проблем в мире. В настоящее время она признана одной из глобальных экологических угроз XXI века. Однако за громкими заголовками скрывается сложная и во многом неоднозначная научная картина. Угроза, безусловно, существует, но ее реальные масштабы и механизмы пока до конца не ясны. Устойчивость микропластика, широкое распространение в компонентах окружающей среды, способность к переносу на большие расстояния и накоплению в экосистемах, а также потенциальный токсикологический риск для живых организмов, включая человека, вызывает тревогу. При этом пластик может содержать токсичные добавки (пластификаторы, антипирены), а также выступать в качестве своеобразной губки, на которой сорбируются другие загрязнители (стойкие органические вещества, тяжелые металлы и др.). В связи с этим возникают вопросы как о вреде самого микропластика, так и о его опасности как переносчика сорбированных токсических веществ. Для оценки реальной угрозы и выработки эффективных путей решения проблемы требуются дальнейшие масштабные исследования на основе скоординированных действий на международном и национальном уровнях.

Международное регулирование пластикового загрязнения:

Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП): 2 марта 2022 г. в штаб-квартире ЮНЕП представители 175 стран одобрили историческую резолюцию, принятую на Ассамблее ООН по окружающей среде (UNEA 5.2) о заключении международного соглашения по борьбе с загрязнением пластиком [1]. Резолюция стала отправной точкой в создании юридически обязывающего документа, который должен охватить полный жизненный цикл пластмасс, включая их производство, проектирование, использование, утилизацию и загрязнение суши и океанов. Государства – члены ООН договорились создать Межправительственный переговорный комитет (МПК) с полномочиями по разработке международного соглашения к концу 2024 года. По информации на 15 августа 2025 года, Комитет завершил работу над проектом, не достигнув консенсуса по его тексту. Участники переговоров согласились лишь с необходимостью возобновить дискуссию в будущем.

Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (СОЗ) [2]: Рассматривается вопрос о включении некоторых видов микропластика, содержащих токсичные добавки, в список СОЗ, что наложит бы обязательства по контролю и сокращению их использования.

Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением: Поправки 2019 года обеспечивают больший контроль за международными перевозками пластиковых отходов, что косвенно влияет на источники вторичного микропластика [3].

Конвенция МАРПОЛ 73/78 (Приложение V) [4]: Запрещает сброс пластикового мусора с судов, что снижает загрязнение вод микропластиком.

Примерами регионального регулирования служат: Директива ЕС по одноразовым пластиковым изделиям (SUP) [5]; Хельсинкская комиссия (HELCOM) [6] и Конвенция OSPAR [7], регулирующие загрязнение Балтийского моря и Северо-Восточной Атлантики, включая меры по мониторингу и снижению воздействия микропластика; запрет в России с 1 сентября 2025 г. производства трех видов упаковки из полиэтилентерефталата (ПЭТ) [8] и др.

Системный анализ международного регулирования загрязнения окружающей среды микропластиком свидетельствует о том, что оно находится на переходном этапе: от осознания проблемы и добровольных мер к формированию комплексного, юридически обязывающего документа. Наличие множества инициатив, не имеющих обязательной силы, приводит к значительной фрагментации нормативно-правовой базы. Достижение успеха в решении проблемы будет зависеть от способности международного сообщества договориться о единых стандартах, перейти от борьбы со следствиями к устранению причин и обеспечить справедливое распределение финансовой и технологической нагрузки между развитыми и развивающимися странами.



## Литература

1. UN Environment Assembly 5 (UNEA 5.2) Resolutions 02 March 2022. <https://www.unep.org/resources/resolutions-treaties-and-decisions/UN-Environment-Assembly-5-2> (дата обращения 26.09.2025).
2. Стокгольмская Конвенция о стойких органических загрязнителях (22.05.2001). <https://base.garant.ru/2561308/31de5683116b8d79b08fa2d768e33df6/> (дата обращения 27.09.2025).
3. Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением (22.03.1989). <https://base.garant.ru/10108585/> (дата обращения 27.09.2025).
4. Приложение к Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, измененной Протоколом 1978 года к ней (МАРПОЛ 73/78. <https://docs.cntd.ru/document/499014541?ysclid=mg4165fmmx613546207> (дата обращения 27.09.2025).
5. Single-Use Plastics Directive. <https://www.european-bioplastics.org/policy/single-use-plastics-directive/> (дата обращения 25.09.2025).
6. Региональный план действий по снижению загрязнения Балтийского моря BSAP. ХЕЛКОМ. - <https://helcom.fi/baltic-sea-action-plan/> (дата обращения 25.09.2025).
7. OSPAR Agreement 2014-01 – «Региональный план действий для предотвращения и управления морским мусором в Северо-Восточной Атлантике» <https://oap.ospar.org/en/versions/400-en-1-0-0-camp-2014/> (дата обращения 25.09.2025).
8. Распоряжение Правительства РФ от 14.10.2024 N 2827-п. <https://www.garant.ru/news/1761401/?ysclid=mg41ufeti0254137346> (дата обращения 27.09.2025).



# ОЦЕНКА ВАЛОВОГО СОДЕРЖАНИЯ И ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ВЫДЕЛЕНИЕМ И ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ МИКРОПЛАСТИКА МИКРОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Владимирова А.О.<sup>а,\*</sup>, Анчикова О.Э.<sup>а</sup>, Рогова О.Б.<sup>а</sup>, Проскурнин М.А.<sup>а</sup>, Хохлов А.Р.<sup>б</sup>,  
Волков Д.С.<sup>а</sup>

а) Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

б) Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

E-mail: \*nastasiya2001@yandex.ru

Пресноводные экосистемы, такие как реки, озёра и болота, расположенные вблизи крупных промышленных городов, подвергаются значительному воздействию микропластика, поступающего с промышленными и бытовыми сточными водами. Основным источником его образования в сточных водах является стирка синтетических тканей. Городские очистные сооружения эффективно удаляют частицы микропластика размером более 500 мкм [1], однако большинство таких сооружений не предназначено для удаления более мелких фракций [2]. Для получения достоверных данных о концентрации микропластика в природных водах необходима строгая валидация аналитических методик. Важно также оценивать содержание твёрдых частиц иного происхождения, чтобы исключить ложноположительные результаты. Флуоресцентная микроскопия широко применяется для визуализации и количественного определения микропластика. В дополнение, гравиметрический анализ может быть использован для оценки общей массы частиц как природного, так и синтетического происхождения в природной воде. Таким образом, цель исследования заключается в разработке подхода, сочетающего флуоресцентную микроскопию и гравиметрию для определения количества микропластика и общей массы твёрдых частиц, извлечённых из природных вод.

В ходе работы апробированы различные методы подготовки проб, отобранных из рек Московского региона. Проведено гравиметрическое определение массовой концентрации взвешенных частиц в отобранных пробах. Наибольшая массовая концентрация приходится на размерную фракцию 5-10 мкм. Для селективной визуализации выделенного из проб речной воды микропластика применяли коммерчески доступный флуоресцентный краситель, что позволило отличить полимерные частицы от минеральных и органических частиц природного происхождения при помощи микроскопии. На основе полученных данных, показано, что предложенный подход позволяет оценивать общую массу твёрдых частиц в природных водах, а также выделять и визуализировать микропластик.

## Литература

1. Acarer, S., *Microplastics in wastewater treatment plants: Sources, properties, removal efficiency, removal mechanisms, and interactions with pollutants*. Water Science and Technology, 2023. 87(3): p. 685-710.
2. Chen, X., et al., *Spatiotemporal Distribution Characteristics and Removal Efficiency of Microplastics in a Wastewater Treatment Plant*. Water, 2025. 17(17): p. 2614.



## БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Козлов В.А.<sup>\*</sup>, Шабалина А.В., Фомина П.А., Грицаева А.В., Попов И.А., Булыгин Е.А.,  
Оловянников Г.А., Шумейко С.А., Захаров Д.А., Гудков С.В.

*Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук, 119991 ГСП-1,  
г. Москва, ул. Вавилова, д. 38*

*E-mail: \*v.kozlov@hotmail.com*

Распространение и накопление микропластика в окружающей среде является серьезной угрозой для экологии планеты [1]. Микрочастицы пластиков - полимерных материалов - пагубно влияют на флору и фауну, и представляют опасность для здоровья человека [2]. Кроме того, микропластик может служить средой для развития и/или транспортировки вредных бактерий и различных патогенов [3].

Одним из путей решения обозначенной проблемы является замена неразлагаемых полимерных материалов биоразлагаемыми аналогами. Кроме того, придание полимерам антибактериальных свойств может снизить вероятность заражения бактериальными инфекциями через частицы микропластика, не позволяя вредным микроорганизмам развиваться на их поверхности.

В данной работе представлены два полимерных материала, применяемых в различных областях, начиная от пищевой промышленности и заканчивая биомедициной – поликапролактон и поликрилатные пластики. Поликапролактон (ПКЛ) является биоразлагаемым полимером и способен постепенно разлагаться до нетоксичных остатков. Материалы на основе полиакрилатов (ПА) не являются биоразлагаемыми, но очень широко применяются, в том числе – в сельском хозяйстве. В данной работе описанные материалы были модифицированы введением антибактериальных наночастиц, полученных с привлечением фотонных технологий.

На рисунке 1 приведены данные по изменению антибактериальной активности материалов при введении наночастиц оксидов металлов на примере полиакрилатов.

Можно отметить, что сам полиакрилатный материал является достаточно благоприятной средой для роста бактерий, так как величины оптической плотности практически совпадают с контрольным образцом (среда без материала). Введение 0,1 масс.% наночастиц оксидов титана,

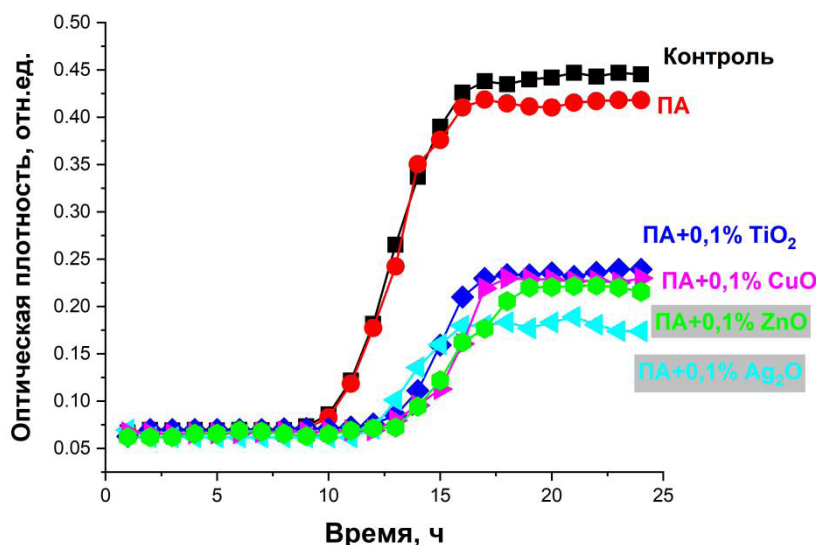


Рисунок 1. Кинетические зависимости роста бактерий на чистом ПА и на ПА, модифицированном введением 0,1масс.% наночастиц оксидом титана, меди, цинка и серебра.





меди, цинка и серебра, полученных методом импульсной лазерной абляции в чистом растворителе (воде) снижает скорость роста бактерий на 47% ( $\text{TiO}_2$ ), 49% ( $\text{CuO}$ ), 53% ( $\text{ZnO}$ ) и 64% ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) в пределах за 24 часа эксперимента. Таким образом, микрочастицы ПА, модифицированного антибактериальными наночастицами уже не будут являться средой для роста, развития и переноса патогенных микроорганизмов. Подобная картина наблюдается в случае с ПКЛ, модифицированным теми же наночастицами. То есть, помимо способности к разложению в окружающей среде, ПКЛ также будет способен выступать в роли антибактериального агента, не позволяющего микроорганизмам разрастаться на поверхности микропластика.

Разработка и внедрение предлагаемых в данной работе материалов позволит сделать шаг в сторону снижения опасности распространения микропластика в окружающей среде.

### Литература

1. Э. Р. Кудояров, Д. Д. Каримов, Т. Г. Якупова и др. // Эпоха науки, Т. 38, 373-377 (2024).
2. М. Х. Яхьяева // Теория и практика современной науки, №10(88), 197-204 (2022).
3. Л. Ч. Бурак, М. И. Писарик, Н. П. Богданов // Научное обозрение, № 2, 33-40 (2024).



## ВЗГЛЯД ХИМИКОВ НА КРАСНЫЙ СПИСОК ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПЛАСТИКЕ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ОБЕСПОКОЕННОСТЬ

Проскурнин М.А.<sup>а,\*</sup>, Люлин С.В.<sup>б,в,&</sup>, Гуртовенко А.А.<sup>б,в</sup>, Кенни Х.<sup>б,г</sup>

*а) Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

*б) Центр исследования проблем микропластика, НовГУ, г. Великий Новгород*

*в) Институт химии, СПбГУ, г. Санкт-Петербург*

*г) European Center for Nanostructured Polymers, University of Perugia, Terni, Italy*

*E-mail: \*proskurnin@gmail.com, &sergey.v.lyulin@gmail.com*

В связи с ростом производства полимеров и загрязнением ими и продуктами их разложения (включая микропластик) окружающей среды, беспокойство вызывают вещества, которые могут быть обнаружены в пластике (Plastic Chemicals) и потенциально быть опасными. Созданный в рамках проекта PlastChem группой зарубежных экологов, не включающей специалистов в науке о полимерах, список таких веществ направлен на создание общего регуляторного списка соединений в полимерных материалах.

Наиболее важны т.н. вещества, вызывающие беспокойство (Chemicals of Concern, CoC), регулирование которых требуется для того, чтобы полимеры и изделия из них были более безопасными [1]. Отнесение веществ к CoC основано на факторах Оценки Опасности (Hazard Assessment), включая стойкость, бионакопление, подвижность и токсичность, что совпадает с начальным подходом Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях. База данных PlastChem включает 16325 соединений, 4219 из них – CoC, при этом особого внимания требуют 3651 из них («красный список»), не регулирующиеся существующими природоохранными конвенциями.

Как отмечается в резолюции 5/14 UNEA от 2 марта 2022 г., все решения на высоком международном уровне для таких ключевых проблем должны носить научно обоснованный характер. Однако активная научная дискуссия проблемы CoC проходит практически без участия экспертов в области наук о полимерах и в химии в целом, что ведет к существенным ошибкам и сомнительным случаям в списке CoC.

В докладе будут обсуждены основные вопросы текущего списка CoC PlastChem: (1) проблемы методологии получения данных и технические ошибки (некорректные состав, наименования и т.п.); (2) отсутствие данных о зависимости миграции веществ из пластика от внешних условий; (3) неоправданные повторы; (4) включение широко распространенных природных соединений и продуктов массового потребления; (5) включение самих крупнотоннажных полимеров, таких как полиэтилен, полистирол и поливинилхлорид. В целом, список CoC требует дальнейшего глубокого анализа независимыми экспертами для каждого соединения. Немедленная имплементация его в текущем виде как запрет на использование приведет к полному параличу полимерной промышленности, но не к тому, чтобы сделать её более устойчивой, а пластики – безопаснее.

**Благодарность:** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (мегагрант, государственный контракт 075-15-2024-629).

### Литература

1. L. Monclús, H.P.H. Arp, K.J. Groh, et al. // Nature 643, 349–355 (2025).



## ОБЩИЙ ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ МИКРОПЛАСТИКА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ РОССИИ

Ткаченко Е.А.

ГЕОХИ РАН, г. Москва

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

Микропластик (МП) обнаружен во всех Российских промышленных городах: они – центры производства и потребления изделий из пластических масс, источники загрязнения из-за изнашивания автомобильных шин, использования одежды из синтетики, из-за огромного количества пластиковой упаковки и бытовых полимерных отходов. Его присутствие в водоёмах, в донных осадках, во льдах, горах, почвах и в воздухе, в продуктах питания, в живых организмах и на всех этапах пищевой цепи также выявлено многочисленными научными исследованиями. Колоссальное количество публикаций в мире и в Российской Федерации посвящено изучению МП. Число предприятий, производящих полимеры значительно превышает число организаций, изучающих пластик. В настоящей работе представлен обзор проблем и вопросов по микропластику в нескольких Российских городах: что изучено, изучается и планируется изучить, микропластик и окружающая среда, утилизация пластика и очистка от него, как он может нарушить экологическое равновесие, законодательство об отходах из пластика.

**Ключевые слова:** микропластик, пластиковое загрязнение, отходы микропластика, анализ микропластика в России, окружающая среда, утилизация, экология, городской пластик.

### 1. Введение

Промышленная деятельность, использование пластика в автопроме, на дорогах, в упаковках, одежде, быту, являются причинами повсеместного распространения микропластика в окружающей среде: воздух, почва, вода и даже еда. В промышленных городах Российской Федерации (РФ) это нарастающая экологическая проблема – наносится вред экосистемам и здоровью людей. Масштабы и её последствия для РФ изучаются многими научно-исследовательскими коллективами страны и результаты показывают, что микропластик есть практически во всех в водоёмах городов, в воздухе, в грунте, переносится далеко и порой содержит вредные вещества типа бисфенолов и фталатов. Созданный человеком пластик разлагается столетиями в отличие от отходов растительного и животного происхождения. Крупные пластиковые фрагменты научились собирать, перерабатывать и использовать повторно: активно работают специальные заводы в Нижнем Новгороде, Твери, Воскресенске. Мелкие частицы обнаружить сложнее и их почти невозможно собрать.

Основные типы микропластиков, обнаруженные в промышленных городах России: полиэтилентерефталат, полиамид, полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, полибутadiен, полиэфируретан и другие. В медицине используются такие пластики как поливинилхлорид, полиэтилен высокой плотности, поликарбонат, полиэфиримид, акрилонитрил-бутadiен-стирол и сложно представить больницу без инструментов и приборов, сделанных на их основе. Современные упаковки товаров невозможны без полимеров таких как полиэтилен, полипропилен: практически любая упаковка одноразовая и выбрасывается после использования, что создаёт очередной источник микропластика. Нет ни одного города в России, где не используются изделия из полимеров различного состава.

Население выбрасывает пластиковые бутылки миллионами, не задумываясь о том, что пластик не разлагается как банановая шкурка, а распадается на более мелкие частицы, оставаясь тем же пластиком по химическому составу. Пластик используется нами в одежде и обуви, например, нейлон, эластан, полиэстер, полиуретан, акрил. Новые ткани из полимерных волокон при стирке и обувные подошвы при ходьбе выделяют микропластик, с каждым годом всё больше загрязняющий воздух, почву, водоёмы в городах.



Современное строительство невозможно представить без пластика: пластиковые окна, трубы, отделка, изоляция и защитные материалы. Однако пластиковые отходы – это также экологическая проблема. Их переработка, измельчение и плавление для производства новых строительных материалов уменьшит нагрузку на окружающую среду.

Особо следует отметить ацетат целлюлозы в сигаретных окурках, который разлагается около 10 и более лет, выделяя в почву и воздух токсины, канцерогены, никотин. Окурки захламляют почвенный и растительный покровы городов и парковых территорий в них. В России окурки не перерабатывают, в отличие от Индии и Китая, следовательно, пластиково-окурковый мусор копится и негативно влияет на окружающую среду как промышленных городов, так и любых населённых пунктов.

Наиболее загрязнённые микропластиком города в Российской Федерации – это города, где имеются производства собственно пластических масс, где находятся предприятия химической и нефтегазодобывающей промышленности, производства одежды и обуви, табачных изделий и даже продуктов питания.

Мусороперерабатывающие заводы вносят особую лепту в загрязнение природы – далеко не всё полностью утилизируется и, следовательно, часть мусорного пластика превращается в микропластик. Нанося ежегодный урон экологии.

Пока в России нет официальных данных по загрязнённости микропластиком, хотя по данным Министерства Природы установлено, что воды, почвы и воздух таких промышленных городов как Москва, Санкт-Петербург, Приозёрск, Сортавала, Таганрог, Норильск, Череповец, Калининград, Мурманск, Тольятти, Омск, содержат большое количество пластиковых микрочастиц.

Растущее загрязнение городской среды микропластиком требует разработки мер по снижению его количества, в идеале – полного удаления, и контроля ситуации со стороны законодательных органов России.

## 2. Города и организации, в которых активно изучается тема микропластика

**Москва:** • МГУ (геологический, химический и биологические факультеты), • МФТИ, • РТУ МИРЭА, • НИУ ВШЭ, • РЭА им. Плеханова, • Сеченовский университет, • РГГУ, • Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИО РАН), • ФГБУ НМИЦ ЛРЦ Минздрава России, • ГЕОХИ РАН, • Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН), • МИПП – НПО «Пластик», • Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)

**Санкт-Петербург:** • РГГМУ (Российский государственный гидрометеорологический университет), • Институт озёроведения РАН, • СПбГ Институт высокомолекулярных соединений РАН, • Зоологический институт РАН, • Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), • Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (СПб ФИЦ РАН), • Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

**Великий Новгород:** • Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, • НовГУ ИНТЦ «Валдай»

**Казань:** • КФУ, • Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана

**Томск:** • ТГУ

**Мурманск:** • Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО)

**Владивосток:** • Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), • Тихоокеанский институт биоорганической химии ДВО РАН

Следует отметить, что в семёрке перечисленных выше городов имеется огромное промышленное производство, что влечёт за собой выбросы в окружающую среду вредных веществ и микропластика, засорение водоёмов и почв. Поэтому вполне логично, что именно в этих городах изучение микропластика ведётся наиболее активно.



### 3. Основные направления исследования микропластика (МП) в России

- 1) Извлечение микропластика из речной воды
- 2) оценке содержания микропластика в природных водах
- 3) источники поступления МП
- 4) методы его анализа
- 5) влияние МП на здоровье человека и на экосистемы
- 6) утилизация МП с помощью бактерий
- 7) законопроекты РФ об ответственности производителей по контролю и обращению с отходами.

**Благодарность:** Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FMMZ-2024-0035.



## ЦИТО- И ГЕНОТОКСИЧНОСТЬ НАНОПЛАСТИКА ПО ОТНОШЕНИЮ К КЛЕТКАМ ЧЕЛОВЕКА

Проскурнина Е.В.<sup>а,\*</sup>, Костюк С.В.<sup>а</sup>, Шевченко Н.Н.<sup>б</sup>, Люлин С.В.<sup>б</sup>, Проскурнин М.А.<sup>в</sup>

*а) Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва*

*б) Центр исследования проблем микропластика, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород*

*в) Химический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

*E-mail: \*proskurnina@gmail.com*

Ограниченная биоразлагаемость пластмасс представляет собой насущную экологическую проблему. С течением времени под воздействием микроорганизмов, ультрафиолетового излучения и механического истирания пластик фрагментируется на микропластик (размер частиц от 100 нм до 5 мм) и нанопластик (размер частиц менее 100 нм), который попадает в организм человека при потреблении загрязненных пищевых продуктов и при вдыхании загрязненного воздуха. Основной массив данных по токсичности нанопластика получен для полистирола, в то время как воздействие полиметилметакрилата на клетки человека изучено существенно в меньшей степени.

Целью работы являлось изучение выживаемости клеток человека при помощи стандартного теста с метилтетразолием (МТТ-тест) и оценка генотоксичности по маркерам оксидативного повреждения и двухцепочечных разрывов и активации системы репарации на модели *in vitro* эмбриональных фибробластов легких для частиц полиметилметакрилата размером 70 и 90 нм и с модифицированной фуксином поверхностью (размеры частиц 90 и 100 нм).

Клетки инкубировали с нанопластиком в течение 1, 3 и 24 часов. Цитотоксичность определялась прежде всего размером наночастиц — частицы размером 70 нм были наиболее токсичны, частицы размером 100 нм характеризовались наименьшей цитотоксичностью. Частицы размером 70 нм вызывали через 24 часа увеличение экспрессии маркера двухцепочечных разрывов фосфорилированного гистона H2AX на 25%. Частицы размером 90 нм без функционализации фуксином снижали экспрессию маркеров оксидативного повреждения (8-оксо-2'-дезоксигуанозин) и двухцепочечных разрывов (H2AX) после 1 и 24 часов воздействия, однако существенно активировали экспрессию маркера системы репарации BRCA1 (в 2.5 раза) после 24 часов воздействия. Частицы такого же размера, но функционализированные фуксином, после 24 часов воздействия вызывали и оксидативное повреждение, и двухцепочечные разрывы без активации систем репарации. Частицы с максимальным размером 100 нм не вызывали оксидативного повреждения и двухцепочечных разрывов, приводя даже к снижению уровня этих маркеров через 24 часа. Таким образом, генотоксичность сложным образом определяется как размером, так и химическими свойствами поверхности наночастиц. Полученные результаты являются основой дальнейших экспериментов по изучению эффектов нанопластика на гены человека.





## АДСОРБЦИЯ СТОЙКОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ НА МИКРОЧАСТИЦЫ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Шевченко Н.Н.<sup>а,\*</sup>, Якобсон О.Д.<sup>а</sup>, Зорин И.М.<sup>а,б</sup>

*а) НовГУ, г. Великий Новгород*

*б) СПбГУ, г. Санкт-Петербург*

*E-mail: \*natali.shevchenko29@gmail.com*

Вопросы переноса стойких органических загрязнителей (СОЗ) частицами микропластика привлекают внимание исследователей в последние десятилетия. СОЗ могут мигрировать на большие расстояния, потенциально биоаккумулироваться и проявлять токсические свойства для человека и дикой природы. После адсорбции СОЗ на поверхности или в объеме частиц микропластика их токсический эффект может либо усиливаться, либо уменьшаться. Один из вопросов, на который сейчас нет ответа, заключаются в том, как влияет природа микрочастиц на процесс адсорбции СОЗ.

В данной работе в качестве микрочастиц различной природы были выбраны: частицы диоксида кремния размером от 10 до 150 мкм, частицы кварцевой муки размером от 1 до 20 мкм (широко используется в строительстве), частицы микрокристаллической целлюлозы размером от 10 до 200 мкм (применяется в качестве наполнителя и связующего вещества в составах таблеток и капсул, в качестве наполнителя и загустителя в различных продуктах, таких как кремы, в качестве связующего в цементе и других строительных материалах), а также модельные полистирольные частицы размером от 3 до 5 мкм. Одним из распространенных стойких органических загрязнителей, широко применяемых в текстильной промышленности, является люминофор Родамин Б. Его производство превышает сотни тонн в год, а методов эффективной очистки сточных вод на данный момент пока не существует. Показано, что при равных условиях сорбция Родамина Б не зависит от природы неорганических микрочастиц – диоксид кремния, кварцевая мука, микрокристаллическая целлюлоза. В тоже время, присутствие полимерных микрочастиц приводит к увеличению адсорбции из водной дисперсионной среды СОЗ более чем на порядок. Кроме того, показано, что по сравнению с неорганическими микрочастицами модельные состаренные микрочастицы полистирола способны адсорбировать СОЗ в своем объеме в количестве, превышающем более чем в 200 раз.

**Благодарность:** Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. (№ 075-15-2024-646 Мегагрант).



# ОЦЕНКА МАССОВОГО СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ (МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)

Франк Ю.А. \*, Воробьев Д.С.

*Томский государственный университет, г. Томск*

*E-mail: \*yulia.a.frank@gmail.com*

Микропластик (МП) размерами от 1 мкм до 5 мм является широко распространенным загрязнителем окружающей среды, для количественного анализа которого используют разнородные и не стандартизированные на сегодняшний день методы [1]. Наряду с проблемой несовершенства методологии количественного анализа МП в компонентах окружающей среды в настоящее время отсутствует единообразие в единицах измерения. Применяют разнообразные единицы для выражения количественного содержания МП в воде (ед./л или ед./м<sup>3</sup>, ед./км, ед./км<sup>2</sup>, мкг/л или мг/м<sup>3</sup>, кг/км, кг/км<sup>2</sup>), осадках и почвах (ед./кг, ед./м<sup>2</sup>, мкг/кг, мг/м<sup>2</sup>) и живых организмах (ед./особь, ед./кг, мкг/особь, мкг/кг или мкг/г). Сопоставление данных, представленные в разных единицах измерения, затруднено, а зачастую и невозможно.

Кроме того, со временем пластик различных размеров в окружающей среде распадается на более мелкие частицы поэтому оценка содержания МП в штуках на единицу массы или объема, на наш взгляд, не объективна для описания пластикового загрязнения в больших масштабах. Другие исследователи поддерживают данную точку зрения, считая «надежными» единицами измерения и выражения количественного содержания МП его массу на единицу объема или массу на единицу массы матрицы [2–3]. Массовое выражение важно и для моделирования и прогнозных оценок, например, при расчетах потоков речного транспорта МП в океаны оперируют такими единицами как кг/км<sup>2</sup>/год [4].

Среди инструментальных методов, позволяющих определять массу МП в образцах из природных и антропогенных систем, используют прямое взвешивание частиц [5] и термоаналитические методы. Есть опубликованные примеры определения массы частиц в сточных водах с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC) [3]. Наиболее широко применяемым из термоаналитических методов при анализе природных вод является пиролизическая хромато-масс-спектрометрия (GS-Pyg-MS) [1]. Помимо инструментальных методов для определения массы МП с известными размерами частиц и полимерным составом применяют расчетный метод. Так, предложена методика, позволяющая довольно точно рассчитать массу МП размерами < 300 мкм из стандартных образцов и природных вод на основе данных картирования результатов спектроскопии комбинационного рассеяния в объеме частицы [6]. Причем, значимых различий между результатами, полученными с помощью 3D и 2D картирования авторы не выявили. Следовательно, линейные размеры могут использоваться для определения объема частиц, форма которых принимается за шар (для сфер), эллипсоид или параллелепипед (для фрагментов) или цилиндр (для волокон).

В рамках данного исследования с использованием расчетного метода оценено количественное содержание МП размерного диапазона от 0.15 до 5 мм в поверхностных водах двух рек – Оби и Енисея. Частицы МП из поверхностных вод р. Обь, отобранных в 14 точках от слияния Бии и Катунь до г. Салехард, и р. Енисей, отобранных в 12 точках от места образования реки в г. Кызыл до г. Дудинка, извлекали и анализировали, как описано ранее [7]. Объем частиц рассчитывали из их линейных размеров, определенных с использованием программного обеспечения TourView 3.7.6273 с точностью до 0.1 мкм. Сведения о полимерном составе МП получали с помощью микроскопии, совмещенной со спектроскопией комбинационного рассеяния (микро-Раман). Плотность полимеров принимали по справочным данным.

Содержание МП размерного диапазона 0.15–5 мм в поверхностных водах р. Обь в среднем составило  $9.53 \pm 2.3$  ед./м<sup>3</sup> или  $16.1 \pm 8.81$  мг/м<sup>3</sup> (рисунок 1). Для Енисея среднее содержание частиц определено на уровне  $1.41 \pm 0.22$  ед./м<sup>3</sup> или  $0.61 \pm 0.34$  мг/м<sup>3</sup>. В поверхностных водах р. Обь обнаружено значимо ( $p < 0.01$ ) больше частиц в номинальном выражении по сравнению с Енисеем, однако по массе содержание МП в двух реках статистически не отличалось (рисунок 1).

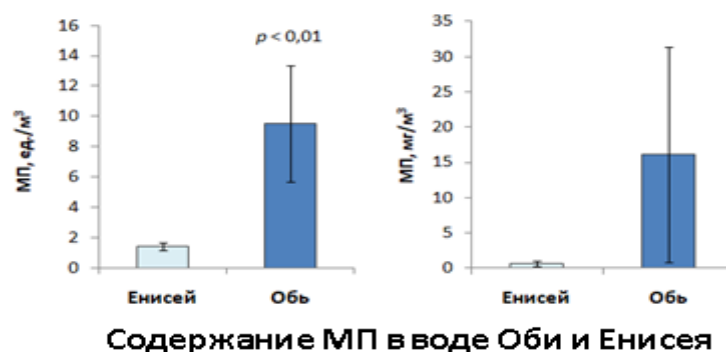


Рисунок 1. Количественное содержание МП в водах Оби и Енисея, выраженное в разных единицах измерения.

Полученные данные по массовому содержанию МП в поверхностных водах Оби и Енисея позволили предположить, что современные количественные оценки переноса МП сибирскими реками несколько занижены. Совокупный экспорт пластикового макромусора и МП реками мира к морям оценивается примерно в 0.5 млн т в год [4], реки Сибири авторы относят к категории водотоков, которые, по данным расчетов, переносят не более 0.5 кг/км²/год. Если перевести полученные нами средние массовые концентрации МП в поверхностных водах Оби и Енисея (16.1 и 0.61 мг/м³, соответственно) в единицы массы на км² с учетом отбора проб в верхнем слое 15 см, значения одномоментного содержания МП составят 2.42 кг/км² и 0.92 кг/км². Это выше расчетных значений, полученных Строккал М. с соавторами [4].

Таким образом, определение массы МП в поверхностных водах Оби и Енисея с использованием расчетного метода позволило сопоставить экспериментальные данные с экспертными оценками потоков пластика в реках Сибири. Выявлено, что масштабы речного транспорта МП могут быть недооценены.

Массовое выражение содержания МП более надежно при оценке пластиковой нагрузки на окружающую среду, поскольку масса является консервативной единицей измерения, оставаясь неизменной даже при распаде частиц. Переключив внимание на измерение или расчет массы МП в образцах, можно получить более точное и полное представление об истинных масштабах загрязнения окружающей среды с более высокой сопоставимостью данных разных исследовательских групп.

Благодарность: Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2024-0006).

#### Литература

1. С. В. Пахомова, А. А. Ершова, И. А. Жданов, Е. В. Якушев // Океанологические исследования, Т.52, 80–120 (2024).
2. V. Yadav, D. Pal // Sustain. Chem. One World, V. 3, 100019 (2024).
3. J. Hernández Fernández, H. Cano, Y. Guerra et al. // Sustainability, V.14, 4920 (2022).
4. M. Strokhal, P. Vriend, M. P. Bak et al. // Nat. Commun., V.14, 4842 (2023).
5. S. Zhang // Nat. Water, V.1, 223 (2023).
6. L. E. Medina Faull, Zaliznyak T., G. T. Taylor // Limnol. Oceanogr.: Methods, V.19, 369–384 (2021).
7. Y. A. Frank, D. S. Vorobiev, O. A. Kayler et al. // Water, V. 13, 3248 (2021).

## *PARAMECIUM CAUDATUM* – ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ ВТОРИЧНЫМ МИКРОПЛАСТИКОМ

Карпухина О.В.<sup>а,\*</sup>, Калинина И.Г.<sup>б</sup>,

а) Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

б) ФИЦ ИХФ им. Н. Н. Семёнова РАН, г. Москва

E-mail: \*karpukhina.msu@yandex.ru

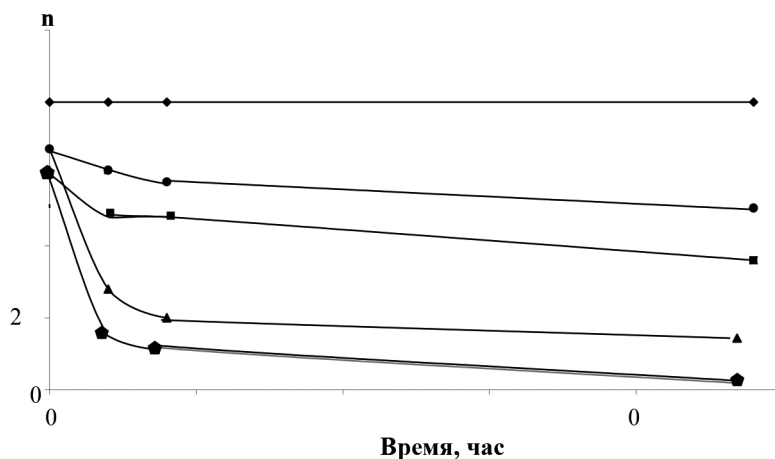
Загрязнение водной среды микропластиком (частицы пластического полимера размером <5 мм) стало глобальной экологической проблемой [1–4].

В современном производстве микропластики либо изначально производятся микроскопического размера (первичный МП), либо является результатом фрагментации пластика (вторичный МП). Наиболее распространенными из микрополимеров, обнаруживаемых в водной среде, считаются полиэтилен, полипропилен (ПП) и полистирол (ПС) [4]. В настоящее время широкое применение получают вторично переработанные МП, например, полиэтилен высокого давления (ПЭВД), получаемый путем полимеризации этилена под воздействием высокой температуры и давления [3]. Разновидности вторично-переработанного МП обладают устойчивостью к механическим повреждениям, продукция из него имеет долгий срок использования во многих сферах промышленности, медицины, сельского хозяйства, строительства, а также в бытовом применении [3].

При механической деградации макропластика в различных производствах и при бытовом использовании пластических полимеров частицы МП через дренажно-сточные системы попадают в окружающую среду, поэтому присутствует как в морской, так и в пресной воде, повсеместно на всех семи континентах [3, 4].

Из-за структурных особенностей МП может быть переносчиком других экотоксикантов, присутствующих в воде, и оказывать комплексное негативное воздействие на выживаемость водных организмов [5, 6]. Определено, что органические загрязняющие вещества могут становиться более концентрированными на поверхности пластика, чем в окружающей воде [6]. Такие гидрофобные загрязняющие вещества, как ПАВ, диоксины и фармацевтические субстанции [6, 7], свободно адсорбируются на частицах МП в соответствии с гидрофобным распределением [8]. МП накапливают и переносят загрязнители, создавая окислительный стресс в клетках водных организмов [5, 9].

Многие частицы МП по размеру схожи с одноклеточными водорослями, инфузориями и другими микроорганизмами, поэтому микрополимерные загрязнители легко встраиваются в трофические цепи [10] и могут представлять собой потенциальную опасность для жизнедеятельности водных млекопитающих и человека.



**Рисунок 1.** Динамика изменения числа (n) особей *Paramecium caudatum* в водной среде с содержанием частиц МП (5 мкг/мл): 1- контроль без МП; 2 – полистирольные микросферы; 3- микрогранулы вторично-переработанного ПП; 4 - гранулированный порошок ПЭВД; 5- микрочастицы вторичного ПВХ.

Целью представленной работы стало исследование витальных функций одноклеточной инфузории *Paramecium caudatum* в водных средах, содержащих различные виды вторичного МП.

Пресноводная *Paramecium caudatum* – хорошо изученный биоиндикатор для исследований воздействия факторов среды [11–12]. Преимущество экспериментов с этими микроорганизмами заключается в их коротком жизненном цикле, простоте и экономичности лабораторных манипуляций с клетками. В нашем исследовании инфузорий ( $n = 10–12$ ) собирали вручную из маточной культуры (стационарная фаза роста) и инкубировали 48 часов в нескольких 6-луночных (объем лунки – 15 мл) культуральных планшетах при температуре  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  без доступа к пище в водной среде с добавлением различных частиц МП. В опытах применялись полистирольные микросферы синего цвета (400 нм, VDO Biotech (QuantoBio); измельченные гранулы ПЭВД («Профпленка»), микрогранулы вторичного полипропилена ПП (ГК «Рециклен»), гранулированный поливинилхлорид ПВХ («Финист Полимер»).

Диапазон концентраций для исследуемых частиц МП составил 0,01 мкг/мл – 100 мкг/мл, чтобы обнаружить потенциальные низкие и опасные воздействия на инфузории. В контрольный момент времени подсчитывали жизнеспособные и безжизненные клетки с применением светового микроскопа и цифровой камеры Levenhuk C310, 3.1 Mpixel; погибшими считали те клетки, которые были неподвижны и не сохранили типичную форму.

Для выявления значимых различий между группой контроля (интактные особи) и группами инфузорий, подвергшихся воздействию МП, был выполнен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), уровень значимости ( $p < 0,05$ ).

В начале эксперимента (0 ч) инфузории не питались микропластиковыми гранулами и имели характерное удлинённое эллипсоидное тело с густыми ресничками, обеспечивающими спокойное веретенообразное плавательное движение. Методом световой микроскопии через 8 ч в клетках инфузорий можно было обнаружить микропластиковые частицы. После поглощения МП изменилась форма тела, особенно в средах со вторичными ПЭВД и ПВХ. Во всех средах с МП у инфузорий изменился характер плавательных движений, работа ресничек была замедлена, поисковая активность особей снижена. Кроме того, в средах, содержащих МП, через 48 ч рост популяции инфузорий *Paramecium caudatum* значительно снизился (рис. 1), особенно критичное снижение числа клеток зафиксировано в планшетах с измельченными гранулами ПЭВД и ПВХ ( $p < 0,05$ ). Микрогранулы ПП снизили численность жизнеспособных особей на четверть от общего числа, и многие выживших клеток приобрели атипичный округло-сферический вид.

Проведенные нами опыты показали, что *Paramecium caudatum* склонны к поглощению микропластика различных видов. Мы использовали в опытах крупинки МП близкие к оптимальному размеру пищевой частицы (500–800 нм) для активного фагоцитоза через оральную бороздку инфузории. Вторичный МП оказывал серьезное токсическое воздействие на культуру инфузорий, присутствие в среде частиц вторичного ПВХ и ПЭВД не только нарушало основные жизненные функции, но и в итоге приводило к массовой гибели одноклеточных организмов. Полистирол не обладал острой токсичностью, однако наблюдалось поглощение и медленное внутриклеточное накопление микросфер полистирола, которые изменяли форму клеток и негативно влияли на локомоторную активность *Paramecium*.

Одноклеточные *Paramecium* являются неотъемлемой частью пресноводной планктонной пищевой сети, поскольку служат источником пищи для зоопланктона. Инфузории питаются преимущественно взвешенными частицами, не различая пищевые и непищевые частицы одинакового размера [10, 13]. Потребление МП организмами низших трофических уровней способствует продвижению токсических веществ по пищевой цепи, что потенциально приводит к биоаккумуляции, тем самым создавая значительные риски воспроизводства и жизни всех водных видов организмов [10, 13, 14]. Представляют определённый интерес опыты на инфузориях *Tetrahymena pyriformis* [15], которые продемонстрировали, что после экскреции определённый сорт микропластика образует гранулы; и таким образом, эти простейшие регулируют доступность загрязняющего продукта в окружающей среде.

В связи с полученными данными важно продолжить детальные исследования способности фильтрующих организмов, в частности *Paramecium caudatum*, поглощать и внутриклеточно накапливать МП, чтобы прогнозировать возможный экологический риск, связанный с использованием вторичного микропластика.



**Источник финансирования:** Исследование выполнено в рамках НИР государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова (тема № 121032500080-8).

#### Литература

1. C. J. Foley, Z. S. Feiner, T. D. Malinich et al. // *Science of the Total Environment*, V. 631–632, 550 (2018).
2. S. Krause, V. Baranov, H. A. Nel et al. // *Environmental Pollution*, V. 268, 115750 (2021).
3. A. Bellasi, G. Binda, A. Pozzi et al. // *Environments*, 7(4), 30 (2020).
4. A. E. Schwarz, T.N. Ligthart, E. Boukris et al. // *Marine Pollution Bulletin*, V. 143, 92 (2019).
5. О. В. Карпухина, А. А. Снег, И. Г. Калинина // *Биосфера*, 16(2), 158 (2024).
6. F. G. Torres, D. C. Dioses-Salinas, C. I. Pizarro-Ortega et al. // *Science of the Total Environment*, V. 757, 143875 (2021).
7. H. Aib, M.S. Parvez, H. M. Czédli // *Int J Environ Res Public Health*, 22(5), 799 (2025).
8. I. Velzeboer, C. J. A. F. Kwadijk, A. A. Koelmans, // *Environmental science & technology*, 48(9), 4869 (2014).
9. K. Kadac-Czapska, J. Oško, E. Knez et al. // *Antioxidants*, 13(5), 579 (2024).
10. N.U. Benson, O.D. Agboola, O.H. Fred-Ahmadu et al. // *Frontiers in marine science*, 9, 851281 (2022).
11. О.В. Карпухина, К.З. Гумаргалиева, А.Н. Иноземцев и др. // *Вестник Казанского технологического университета*. Т. 18(10), 9 (2015).
12. J. Van Houten // *Results Probl Cell Differ*. V. 68, 291 (2019).
13. C. Scherer, N. Brennholt, G. Reifferscheid et al. // *Sci. Rep.* V.7, 17006 (2017).
14. M. Carbery, W. O'Connor, T. Palanisami // *Environment international*, V.115, 400 (2018).
15. D.M. Perkins, H.L. Müller, S. Grünewald et al. // *Science of the Total Environment*, V. 963, 178272 (2025).



## АВТОМОБИЛЬНЫЕ ШИНЫ КАК ИСТОЧНИК МИКРОПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: МАСШТАБЫ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Катунов И.В.

ПГТУ – ФИЛИАЛ НИУ МГСУ, г. Мариуполь

E-mail: igor.katunoff@yandex.ru

Автомобильные шины представляют собой один из наиболее значительных и при этом наименее заметных источников микропластикового загрязнения окружающей среды. Ежегодно в результате истирания шин при контакте с дорожным покрытием в окружающую среду попадает от 3 до 6 миллионов тонн микропластика, что составляет от 28% до 45% всего микропластикового загрязнения планеты. Эти микроскопические частицы размером от 0.05 до 100 микрометров проникают в воду, почву и воздух, оказывая токсическое воздействие на водные экосистемы и потенциально угрожая здоровью человека. Проблема усугубляется тем, что частицы содержат более 2400 химических соединений, включая высокотоксичное вещество 6PPD-хинон, которое вызывает массовую гибель лососевых рыб. Решение этой проблемы требует комплексного подхода, включающего технологические инновации в производстве шин, системы фильтрации дорожного стока, изменение поведения водителей и законодательное регулирование выбросов микропластика [1].

Проблема микропластикового загрязнения от автомобильных шин приобрела глобальные масштабы, соизмеримые с другими крупными экологическими вызовами современности. Согласно научным оценкам, ежегодно в мире производится более 3 миллионов тонн микропластика от износа шин и тормозных систем. Эта цифра эквивалентна массе около 200 тысяч тонн микропластика, ежегодно смываемого с дорог непосредственно в мировой океан. Каждый автомобиль в процессе эксплуатации оставляет за собой около 1 триллиона частиц микропластика на каждый километр пути [2]. Распределение источников микропластика в окружающей среде, где автомобильные шины занимают лидирующую позицию наряду с синтетической одеждой представлено на рисунке 1.

Масштаб индивидуального вклада в эту проблему также впечатляет. За весь срок службы одна автомобильная шина теряет от 1.2 до 4 килограммов своей массы, причем грузовые шины могут терять до 4 килограммов резины. В пересчете на душу населения ежегодный выброс микропластика от шин составляет от 0.23 до 4.7 килограмма на человека, со средним мировым показателем 0.81 килограмма в год. Эти оценки подтверждают, что шинный микропластик является доминирующим источником среди всех типов микропластикового загрязнения, значительно превосходя выбросы от других транспортных источников, таких как самолеты (2%), искусственное покрытие спортивных площадок (12–50%), износ тормозов (8%) и дорожная разметка (5%) [1, 3].

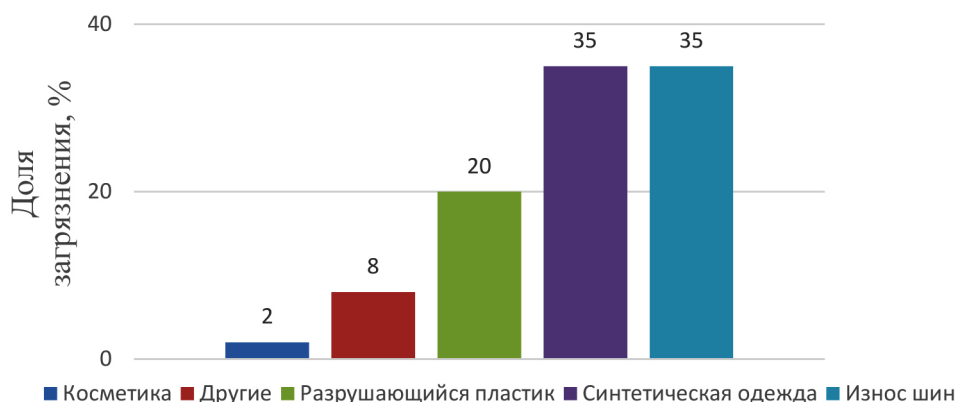


Рисунок 1. Распределение источников загрязнения микропластика.

Особую тревогу вызывает распространение шинного микропластика в отдаленные регионы планеты. Исследования российских ученых из Дальневосточного федерального университета обнаружили частицы автомобильных покрышек даже в арктических морях, включая Баренцево, Печорское и Чукотское моря. Эти частицы попадают в Северный Ледовитый океан через крупные сибирские реки – Лену, Енисей и Колыму, а также переносятся морскими течениями из более густонаселенных регионов. Исследования в высокогорных Альпах также выявили, что частицы от износа автомобильных покрышек являются крупнейшим источником загрязнения нанопластиком даже в этих отдаленных местах [4].

Частицы износа шин представляют собой сложную смесь материалов с уникальными физико-химическими свойствами. Размер этих частиц варьируется в широком диапазоне: от крупных частиц размером более 100 микрометров до ультрамелких наночастиц менее 0.1 микрометра. Большинство частиц имеют размер от 0.05 до 100 микрометров, причем основная масса приходится на фракцию менее 2.5 микрометров. Частицы размером менее 10 микрометров способны становиться аэрозолями и переноситься по воздуху, составляя примерно 10% по массе от всех выбросов шинного микропластика. Крупные частицы оседают вблизи места образования, в то время как мелкие частицы могут находиться в воздухе от 5 до 11 дней, а наиболее мелкие способны дрейфовать на значительные расстояния, причем 57% из них в конечном итоге оседает в океане.

Частицы износа шин распространяются в окружающей среде по нескольким основным путям, каждый из которых имеет свои характеристики и экологические последствия. Первичный механизм распространения связан с атмосферным переносом мелких частиц, которые способны подниматься в воздух и переноситься ветром на значительные расстояния. Исследования показали, что частицы могут оставаться в воздухе более 6 дней, распространяясь на сотни километров от места образования. Более крупные частицы, размером около 1/5 диаметра человеческого волоса, могут плавать в воздухе в течение 5–11 дней, но обычно оседают вблизи места их выброса. Самые мелкие частицы дрейфуют на ветру значительно дольше и часто путешествуют на большие расстояния. Второй важный путь распространения — это смыв дождевой водой с дорожных поверхностей в ливневые стоки. По оценкам, частицы износа шин составляют от 50 до 90 процентов всего микропластика, который смывается с дорог во время дождя. Этот путь является особенно значимым в городских районах с интенсивным движением. Исследование в небольшом городке Оксфорд (Миссисипи) зафиксировало 30 000 частиц шинной пыли в 24 литрах ливневой воды после всего двух дождей. В мегаполисах с интенсивным движением концентрация может быть в разы выше. Дождевая вода переносит эти частицы в дренажные канавы, откуда они попадают в ручьи, реки, озера и в конечном счете в океаны. Третий путь связан с прямым осаждением на почву и растительность вдоль транспортных коридоров, создавая концентрированные зоны загрязнения. Исследования показывают, что в донных отложениях реки Северной Двины может накапливаться до 117 мг микропластика на 1 кг отложений в год. Из-за сильных течений и во время весенних паводков эти запасы высвобождаются и попадают в океан. Аналогичные процессы происходят в других крупных речных системах по всему миру [5].

Географическое распределение выбросов шинного микропластика крайне неравномерно и коррелирует с плотностью дорожного движения. Моделирование показало, что наибольшее количество частиц попадает в окружающую среду на востоке США, на севере Европы, в крупных китайских городах, густонаселенных районах Ближнего Востока и Латинской Америки. Выбросы на километр пути обычно уменьшаются в следующем порядке: большегрузные автомобили – грузовики – автобусы – фургоны – легковые автомобили – мотоциклы – мопеды. То есть снижаются с уменьшением массы транспортного средства. Торможение, ускорение и повороты вызывают увеличенные выбросы для всех типов транспортных средств. Выбросы на километр пути наиболее велики в городских районах из-за частых остановок и ускорений [6].

Одним из наиболее перспективных направлений решения проблемы шинного микропластика являются технологические инновации в самом производстве шин. Исследовательская группа из Университета Дьюка (США) под руководством профессора химии Стивена Крейга разработала новый подход к повышению прочности резиноподобных эластомеров. Ключевое открытие заключается в использовании слабых поперечных связей между полимерными цепями, которые распадаются при растяжении материала. Вопреки интуитивным ожиданиям, такой подход не только не уменьшает прочность материала, но наоборот, делает его еще более стойким. В экспериментах материал, созданный с использованием слабых связей, оказался в девять раз труднее разорвать по

сравнению с материалом, имеющим более сильные связи. Если шины будут изготавливаться из таких прочных эластомеров, это значительно снизит количество микропластика, выбрасываемого в окружающую среду [7].

Параллельно развивается направление использования альтернативных, экологически устойчивых источников резины. Ведущие производители шин активно исследуют возможности использования био-каучука из различных растений. Компания Linglong Tire в партнерстве с Пекинским университетом химической технологии разработала шины на основе эвкоммии ульмовидной (EU), естественного полимера, экстрагируемого из дерева эвкоммии. Компоненты эвкоммии улучшают прочность на разрыв и износостойкость, способствуют снижению сопротивления качению протекторной смеси и экономии энергии. По сравнению с шинами из натурального каучука, новые шины более экологичны и минимизируют вред для тропических дождевых лесов [8].

Другие перспективные источники устойчивого каучука включают гваюлу (*Parthenium argentatum*) – кустарник, произрастающий в засушливых регионах, и русский одуванчик (*Taraxacum kok-saghyz*). Компания Giti Tire представила прототип шины с 93% содержанием устойчивых материалов, включая 53% возобновляемых материалов (устойчивый натуральный каучук, сосновая смола, кремнезем из рисовой шелухи, растительные антиоксиданты) и 40% переработанных материалов (переработанная резина, технический углерод, сталь и даже ПЭТ из пластиковых бутылок). Эти инновации демонстрируют, что производительность, безопасность и экологическая устойчивость могут идти рука об руку [9].

Важным дополнением к технологическим улучшениям самих шин являются системы улавливания частиц непосредственно в точке их образования или на пути транспортировки в водные системы. Группа студентов из Имперского колледжа Лондона и Королевского колледжа искусств создала инновационное устройство The Tyre Collective, которое улавливает частицы микропластика при их образовании. Устройство устанавливается на колесо автомобиля и использует электростатику для сбора частиц микропластика, когда они вылетают из шины. Основываясь на результатах испытаний, исследователи считают, что их прототип может собирать 60% всех образующихся из шины частиц. Собранные фрагменты можно повторно использовать в изготовлении новых шин и других материалов, например, чернил. Второе направление — это фильтрация частиц из дорожного стока перед их попаданием в водные системы. Ученые из Университета Миссисипи разработали инновационный метод фильтрации с использованием биоугля и сосновой щепы. Экспериментальная установка, размещенная в дренажных системах, показала эффективность до 97.6% в улавливании микрочастиц шинной пыли. Пористая структура этих материалов идеально подходит для задерживания характерных продолговатых частиц шинной пыли. Биоуголь производится из рисовой шелухи методом пиролиза при температуре выше 600°C, что создает высокопористую структуру с большой удельной площадью поверхности. Исследования показывают, что биоуголь особенно эффективен в удалении различных загрязнителей из дорожного стока, включая не только сами частицы, но и токсичные химические вещества, которые они выщелачивают. Биоуголь способен адсорбировать органические загрязнители через гидрофобные взаимодействия, а также связывать тяжелые металлы, такие как цинк и свинец. Особенно примечательно, что эффективность биоугля в задерживании токсичного 6PPD-хинона достигает высоких значений, что делает эту технологию перспективной для защиты чувствительных водных экосистем. Преимущества этого метода многочисленны: он использует отходы сельского хозяйства (рисовую шелуху и сосновую щепу), отличается низкой стоимостью и экологической безопасностью. Биоретенционные системы с добавлением биоугля, золы и торфа эффективно удаляют микропластик размером более 10 микрометров, причем биоуголь оказался наиболее эффективным сорбентом, за ним следуют зола и торф. Однако исследователи признают, что данный метод не решает проблему глобально – он лишь локализует последствия, но не устраняет источник загрязнения [10].

Проблема микропластикового загрязнения от автомобильных шин представляет собой серьезный экологический вызов современности, масштабы которого только начинают осознаваться научным сообществом и обществом в целом. Решение этой проблемы требует комплексного подхода, объединяющего технологические инновации, инфраструктурные решения, изменение поведения и законодательное регулирование. Разработка более прочных эластомеров, способных снизить износ шин в девять раз, и использование экологически устойчивых источников резины открывают перспективы для создания шин нового поколения. Системы улавливания частиц непосредственно у колес транспортных средств и фильтрационные системы на основе биоугля в дренажных сетях

также демонстрируют свою эффективность. Тем не менее, остаются значительные научные пробелы и практические вызовы. Необходимы дальнейшие исследования долгосрочных эффектов воздействия шинного микропластика на здоровье человека, разработка стандартизированных методов измерения и анализа частиц, а также оценка эффективности различных митигационных мер в реальных условиях. Масштабное внедрение решений требует значительных инвестиций и международной координации. Изменение поведения миллионов водителей и адаптация существующей транспортной инфраструктуры представляют собой долгосрочные задачи, требующие устойчивых усилий.

В конечном счете, проблема шинного микропластика является симптомом более широкого вызова — необходимости согласования человеческой деятельности с планетарными границами. Автомобильная мобильность предоставила человечеству беспрецедентную свободу передвижения и экономические возможности, но теперь мы должны найти способы сохранить эти преимущества, минимизируя экологический ущерб. Проблема шинного микропластика демонстрирует, что даже кажущиеся незначительными аспекты нашей повседневной жизни могут иметь глобальные экологические последствия. Ее решение требует не только технологических инноваций, но и системного изменения нашего подхода к проектированию продуктов, инфраструктуры и транспортных систем с учетом их полного жизненного цикла и воздействия на окружающую среду.

#### Литература

1. Kole PJ, Löhr AJ, Van Belleghem FGAI, Ragas AMJ. // Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. Int J Environ Res Public Health. 14, 1265 (2017)
2. Автомобильные шины - загрязняют микропластиком океаны // Все про отходы и экологию URL: <https://cleanbin.ru/news/avtomobilnye-shiny-zagryaznyayut-mikroplastikom-okeyanu> (дата обращения: 17.10.2025).
3. Шины: источник пластикового загрязнения, о котором вы не подозревали // Vegetarian URL: <https://vegetarian.ru/articles/shiny-istochnik-plastikovogo-zagryazneniya-o-kotorom-vy-ne-podozrevali.html> (дата обращения: 17.10.2025).
4. В Арктике нашли микрочастицы покрышек: как они вредят природе // Наука: главные достижения и открытия в России и мире, современные исследования, передовые разработки URL: <https://science.mail.ru/news/8749-ekologi-vyyasnili-mutagennoe-vozdeystvie-chastich-avtopokryshek-na-ekosistemy-arktiki/> (дата обращения: 17.10.2025).
5. One of the biggest microplastic pollution sources isn't straws or grocery bags – it's your tires // The conversation URL: <https://theconversation.com/one-of-the-biggest-microplastic-pollution-sources-isnt-straws-or-grocery-bags-its-your-tires-259440> (дата обращения: 17.10.2025).
6. Booth, A., Sørensen, L., Brander, S., Weis, J.S., Courteney-Jones, W., Parker-Jurd, F., Thompson, R.C. // Vehicle tyres – A key source of microplastics to the environment: An introduction to fate, effects, and mitigation strategies. (2024)
7. Новый прорыв в создании экологически чистых шин // Экоффера URL: <https://ecosphere.press/2023/06/29/novyj-proryv-v-sozdanii-ekologicheskii-chistykh-shin/> (дата обращения: 17.10.2025).
8. Linglong Tire unveils sustainable rubber tire prototypes at CIIF // Linglong tire URL: [https://en.linglong.cn/content/details34\\_38629.html](https://en.linglong.cn/content/details34_38629.html) (дата обращения: 17.10.2025).
9. How tyres are turning green // Royal society of chemistry URL: <https://www.chemistryworld.com/features/how-tyres-are-turning-green/4020618.article> (дата обращения: 18.10.2025).
10. Stanley Chukwuemeka Ihenetu, Yilong Hao, Jun Ma, Jinhu Li, Gang Li // Effects of biochar on tire wear particle-derived 6PPD, 6PPD-Q, and antimony levels and microbial community in soil, Journal of Hazardous Materials, 491, 137951 (2025)



## ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПГБ В ПОЧВЕ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ

Луканина Ю.К.<sup>а,б,\*</sup>, Тертышная Ю.В.<sup>а,в,^</sup>, Хватов А.В.<sup>а</sup>

*а) ИБХФ РАН, г. Москва*

*б) РТУ МИРЭА ИТХТ, г. Москва*

*в) РЭУ им.Г.В. Плеханова, г. Москва*

*E-mail: \*julialkn@gmail.com, ^terj@rambler.ru*

В связи с все возрастающим экологическими проблемами и с увеличением количества полимерного мусора в последнее время пропагандируется замена синтетических полимеров на биоразлагаемые. Это приводит к росту производства таких полимеров, как полигидроксисилканоаты и особенно поли-3-гидроксibuтирата. ПГБ. Учитывая его полную утилизацию микробами, ПГБ находит широкое применение в сельском хозяйстве в качестве покровных, мульчирующих пленок, полос для посева семян, контейнеров, горшков и пр. Как правило ПГБ представлен как не влияющий на окружающую среду полимер. Однако представляет интерес информация о влиянии количества ПГБ в почвенном субстрате на рост и развитие растений их морфологические показатели требует дополнительных исследований.

В представленной работе в качестве субстрата для оценки роста и развития растений был взят универсальный торфяной грунт фирмы ООО Питер Пит. Для эксперимента была использована пленка ПГБ толщиной 100 мкм, полученные методом прессования ( $T\ 185^{\circ}\text{C}$ ,  $P\ 25\text{--}30\ \text{кгс/см}^2$ ). Пленки были помещены в емкости с почвой в количестве 0.1% и 1% от массы почвы. В качестве контрольного образца был использован грунт, не содержащий полимерной пленки. Каждый образец: контрольный и с содержанием ПГБ 0.1 и 1 мас.%, был исследован в 4-х повторностях.

Анализ полученных данных по контролю всхожести семян и морфологических показателей развития растения показывает, что на первоначальном этапе развития растения, наличие в почве полимерного материала (ПМ) в виде пленок приводит к торможению процесса, по мере увеличения содержания ПМ негативный эффект увеличивается. При этом следует отметить, что всхожесть семян контролируется на 7 сутки от начала эксперимента, и в этом случае нельзя говорить о том, что происходит какое-либо дополнительное химическое воздействие за счет наличия в почве пленок ПГБ. Определение средних значений морфологических показателей растения свидетельствует, что в дальнейшем (после 7 суток от начала эксперимента) начинает сказываться влияние количества ПГБ в почве на морфологические показатели растений.

Так же были проанализированы процессы, происходящие в полимерном материале в результате экспонирования в почве. Методами ИК-Фурье спектроскопии, ДСК и ТГА было оценено изменение структурных, теплофизических и термогравиметрических параметров ПГБ спустя 1 и 6 месяцев пребывания в почве.





## МИКРОПЛАСТИК НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ – МОДЕЛЬНЫЙ СОРБЕНТ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Сеньчукова А.С.<sup>а,\*</sup>, Фетин П.А.<sup>а,б</sup>, Минов А.Е.<sup>а</sup>, Ульянова О.В.<sup>а</sup>, Киселева К.Е.<sup>а</sup>,  
Левит С.И.<sup>а</sup>, Зорин И.М.<sup>а,б</sup>

*а) Санкт-Петербургский государственный университет*

*б) Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого*

*E-mail: \*a.senchukova@spbu.ru*

Загрязнение водных ресурсов – одна из главных экологических проблем современности. По данным ВОЗ, около трёх миллиардов человек не имеют доступа к безопасной питьевой воде, что подчёркивает необходимость разработки эффективных и экологичных методов очистки. Одним из перспективных направлений является использование полимерных сорбентов, в частности гидрогелей, отличающихся высокой ёмкостью, низкой стоимостью и возможностью регенерации.

Полимерные гидрогели – это трёхмерные сшитые сети, способные удерживать большие количества воды и обеспечивать диффузию растворённых веществ. Изменяя химический состав и функциональные группы, можно регулировать их физико-химические свойства и сорбционную активность. Благодаря этому гидрогели относятся к «умным» материалам, применимым в экологии.

В работе синтезированы сополимерные гидрогели на основе акриламида и амфифильных мономеров, содержащих катионные группы N-метилморфолина и триметиламмония. Материалы исследованы на способность сорбировать органические загрязнители различной ионной природы – анионный (конго красный), катионный (метиленовый синий) и нейтральный (рифампицин).

Показано, что сорбция происходит в основном за счёт электростатических взаимодействий между заряженными группами полимера и ионами загрязнителей. Наибольшая сорбционная способность наблюдается для конго красного, что подтверждает важность катионных групп. Сорбция нейтрального рифампицина указывает на вклад гидрофобных взаимодействий.

Таким образом, варьирование химического строения и содержания амфифильных мономеров позволяет управлять сорбционными свойствами гидрогелей. Полученные материалы демонстрируют потенциал для создания новых экологичных сорбентов для очистки водных растворов от органических загрязнителей.

**Благодарность:** Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-15-2024-629, МегаГрант).



# Sundy

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ

АНАЛИЗ РУД,  
ОРГАНИЧЕСКИХ  
МАТЕРИАЛОВ,  
МЕТАЛЛОВ  
И СПЛАВОВ



ПРОБОПОДГОТОВКА,  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ И ДЕЛЕНИЕ  
ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ



ТЕРМИЧЕСКИЙ  
АНАЛИЗ  
УГЛЯ И КОКСА



Поставка  
аналитического  
оборудования  
для промышленности  
и научных  
исследований

ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ТЕПЛОТВОРНОЙ  
СПОСОБНОСТИ  
МАТЕРИАЛОВ



АНАЛИЗ  
ФИЗИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ  
УГЛЯ  
И КОКСА



МАКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ  
УГЛЕРОДА, АЗОТА, ВОДОРОДА И СЕРЫ



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ  
АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ  
И ИСКУССТВЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ



[www.imc-systems.ru](http://www.imc-systems.ru)

МОСКВА  
ул. Строителей, д. 8,  
корпус 1  
+7 (495) 374-04-01  
[sales@imc-systems.ru](mailto:sales@imc-systems.ru)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
ул. Ефимова, 4А,  
литера А, офис 735А  
+7 (812) 200-41-43  
[sales@imc-systems.ru](mailto:sales@imc-systems.ru)

ЕКАТЕРИНБУРГ  
ул. Толмачева, д. 11  
офис 401  
+7 (343) 288-07-68  
[sales@imc-systems.ru](mailto:sales@imc-systems.ru)

НОВОСИБИРСК  
ул. Зеленая горка, д. 1  
офис 332  
+7 (383) 210-69-99  
[sales@imc-systems.ru](mailto:sales@imc-systems.ru)

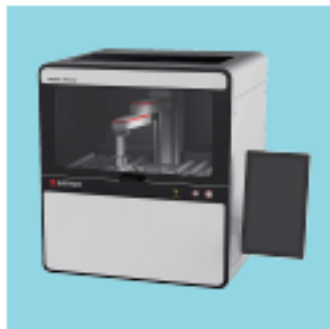
Элементный  
и изотопный анализ



Пробоподготовка для  
элементного анализа



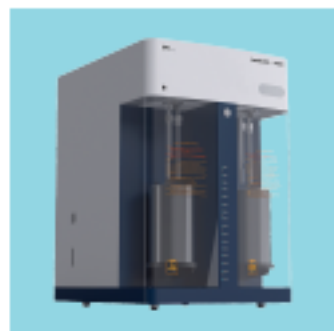
Рентгенофлуорес-  
центный анализ



Анализ масел и  
технических жидкостей



Анализ физических  
свойств материалов



Анализ углерода, серы,  
водорода, азота



Анализ твердого  
и жидкого топлива



Пробоподготовка для  
твердых материалов



Хроматографический  
метод анализа



Метод молекулярной  
спектрометрии



Электронная  
микроскопия



Испытание свойств  
материалов



Мониторинг  
атмосферного воздуха



Анализ природного  
газа



Контроль качества  
воды



Контроль промышлен-  
ных выбросов



«Группа Ай-Эм-Си»

[imc-systems.ru](http://imc-systems.ru)

**МОСКВА**  
ул. Строителей, д. 8,  
корпус 1  
+7 (495) 374-04-01  
[sales@imc-systems.ru](mailto:sales@imc-systems.ru)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
ул. Ефимова, 4А,  
литера А, офис 735А  
+7 (812) 200-41-43  
[sales@imc-systems.ru](mailto:sales@imc-systems.ru)

**ЕКАТЕРИНБУРГ**  
ул. Толмачева, д. 11  
офис 401  
+7 (343) 288-07-68  
[sales@imc-systems.ru](mailto:sales@imc-systems.ru)

**НОВОСИБИРСК**  
ул. Зеленая горка, д. 1  
офис 332  
+7 (383) 210-69-99  
[sales@imc-systems.ru](mailto:sales@imc-systems.ru)





СИБУР – крупнейшая нефтегазохимическая компания России, российский лидер по производству полимеров и каучуков. Компания выпускает востребованные продукты для общества и использует передовые технологии для создания новых возможностей, инвестируя в социальную инфраструктуру и улучшая качество жизни людей. Продукция СИБУРа применяется во многих секторах экономики по всему миру.

Наука в СИБУРе представлена системой прикладных (СИБУР ПолиЛаб) и инновационных (СИБУР-Инновации) разработок: от переработки и исследования полимеров до разработки катализаторов и специальных компонентов, а также моделирования процессов.



**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЖИДКОСТНЫЕ ХРОМАТОГРАФЫ**  
**«СКОРОХОД»**  
**ОТ КОМПАНИИ ООО «К-ТРЕЙД» (г. Казань)**

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

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

Торгово-инжиниринговая компания ООО «К-Трейд» (г. Казань) с 2025 года является официальным партнером уникального отечественного производителя жидкостных хроматографов Sevko & Co, который уже более 10 лет занимает особенную нишу на российском рынке хроматографического оборудования. Компания выпускает жидкостные хроматографы под торговой маркой «Скороход» по полному циклу, не использует в составе прибора дефицитные западные компоненты и OEM-узлы других производителей. ВЭЖХ «Скороход» является оригинальной разработкой, вобравшей в себя лучшее из мирового опыта создания ВЭЖХ-систем. Подавляющее большинство деталей, расходных материалов и узлов (например, переключающие краны, краны высокого и низкого давления, четырехходовые электромагнитные клапаны, головки насосов, инфузионные и измерительные насосы, камеры дегазации, мембранные вакуумные насосы дегазаторов, уплотнения плунжеров, тело обратных клапанов, ячейки детекторов, корпуса приборов и многое другое) производятся непосредственно на мощностях Sevko & Co. Другие компоненты (например, сапфировые плунжеры, электронные платы, шарики и седла обратных клапанов) закупаются у российских производителей этих компонентов. Таким образом, прибор максимально автономен, а его эксплуатация и поддержание работоспособности обеспечены и гарантированы Производителем и не зависят от мировой политики. В составе линейки ВЭЖХ «Скороход» выпускается несколько уникальных решений, не имеющих аналогов на российском рынке: анализатор АКА-1000 с модулем постколоночной дериватизации для определения аминокислот, ионофорных антибиотков, биогенных аминов, микотоксинов, витаминов; полупрепаративные (до 40 мл/мин) и препаративные решения (до 150 мл/мин); «Скороход» для анализа радиофармацевтических лекарственных препаратов с гамма-радиометрическим детектором. Уникальный автодозатор прямого дозирования пробы из иглы, как у ушедших западных производителей, гарантирует нулевой кросс-перенос, отсутствие перерасхода отбираемой пробы, короткий цикл дозирования, а также высочайшие точность и повторяемость дозирования пробы. Для экологического мониторинга, в частности, для определения ПАУ предлагается ВЭЖХ «Скороход» с градиентным насосом, флуориметрическим и диодно-матричным детекторами.

