

На правах рукописи

Карсункина Алеся Сергеевна

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

1.4.2. Аналитическая химия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
химических наук

Самара – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» на кафедре химии.

Научный руководитель: кандидат химических наук, доцент Новикова Екатерина Анатольевна

Официальные оппоненты:

Ульяновский Николай Валерьевич, доктор химических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», лаборатория химии природных соединений и биоаналитики, ведущий научный сотрудник;

Шашков Михаил Вадимович, кандидат химических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук», отдел исследования катализаторов, старший научный сотрудник.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», г. Воронеж

Защита состоится 26 декабря 2024 года в 11.00 на заседании диссертационного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 24.2.379.04 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по адресу: г. Самара, ул. Академика Павлова, 1, Самарский университет, корпус 22в, зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» https://www.ssau.ru/resources/dis_protection/karsunkina

Автореферат разослан « ____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Савченков Антон Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Определение микропримесей органических соединений в воздушных средах является одной из актуальных задач аналитической химии. Это связано с тем, что такие соединения могут оказывать негативное влияние на здоровье человека и окружающую среду. Анализ атмосферного воздуха, воздуха рабочей зоны и жилых помещений, а также выбросов промышленных предприятий требует применения высокочувствительных и специфичных методов анализа или предварительного концентрирования. Сорбционное концентрирование является одним из наиболее эффективных методов пробоотбора и пробоподготовки при анализе воздушных сред. Известные порошкообразные сорбенты характеризуются высоким газодинамическим сопротивлением, что сказывается на эффективности процессов массообмена как на этапе сорбции, так и на этапе десорбции. Для устранения данного недостатка можно предложить использование сорбционных систем, в которых сорбционно-активные материалы располагаются на поверхности материала-основы. Блочно-порозный материал, известный как «металлорезина», обладающий возможностью варьирования порозности и, как следствие, газодинамического сопротивления, а также формирования адсорбционных слоев различной химической природы, позволит использовать его в качестве основы для создания сорбционных систем блочно-порозного типа.

Степень научной разработанности проблемы. Имеются сведения о сорбционных системах в виде поверхностно-слойных сорбентов, где на крупнодисперсный носитель наносится сорбционно-активный материал, в котором и происходят сорбционные процессы. Это позволяет использовать более крупные зерна носителя, что уменьшает сопротивление потоку газаносителя и позволяет работать при больших скоростях потока. Благодаря созданию поверхностно-слойных сорбентов возможно снижение количества адсорбента и использование мелкодисперсных порошков.

Одним из возможных материалов-основы для создания сорбционных систем может быть материал «металлорезина», который применяется в качестве демпфирующего материала, носителя для частиц катализаторов и фильтрующей конструкции при очистке воды. Данный материал можно использовать в средах, где требуются высокая эффективность фильтрации, химическая стойкость и термическая устойчивость. Однако работы, посвященные изучению возможности использования материала «металлорезина» в качестве основы сорбционных систем при определении органических веществ в газовых средах, отсутствуют.

Цель и задачи исследований. Целью работы является создание и исследование сорбционных систем блочно-порозного типа для определения летучих и малолетучих органических соединений в воздухе методом газовой хроматографии.

Для достижения цели требовалось решить следующие задачи:

1) разработать методики изготовления сорбционных систем блочно-порозного типа, отличающиеся материалом основы, порозностью и сорбционно-активным материалом, для концентрирования летучих и малолетучих органических соединений;

2) исследовать влияние порозности и способа формирования слоя сорбционно-активного материала на поверхности материала-основы на параметры получаемых сорбционных систем блочно-порозного типа;

3) исследовать влияние порозности и природы сорбционно-активного материала на сорбционно-десорбционные характеристики получаемых сорбционных систем блочно-порозного типа;

4) оценить возможность применения полученных сорбционных систем блочно-порозного типа для решения конкретных аналитических задач при определении летучих и малолетучих органических микропримесей в газовых средах.

Научная новизна работы. Впервые предложено и обосновано применение блочно-порозного материала «металлорезины» как основы для сорбционных систем для определения органических микропримесей в воздушных средах. Установлено, что использование сорбционных систем блочно-порозного типа позволяет повысить эффективность при десорбции в статических условиях по сравнению с аналогичными сорбционно-активными материалами в порошкообразной форме.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что были получены закономерности влияния порозности сорбционных систем блочно-порозного типа на эффективность проведения десорбции в статическом режиме.

Практическая значимость работы.

1. Разработана методика изготовления сорбционных систем блочно-порозного типа для концентрирования малолетучих органических соединений в газовых средах;

2. Разработана методика изготовления сорбционных систем блочно-порозного типа, модифицированных полярными и неполярными полимерными неподвижными фазами, для концентрирования летучих органических соединений в газовых средах;

3. Разработана методика изготовления сорбционных систем блочно-порозного типа на основе твердых адсорбентов (Полисорб-1, активный уголь БАУ, нанодисперсный диоксид кремния) для концентрирования летучих органических соединений в газовых средах;

4. Разработаны методические рекомендации для использования сорбционных систем блочно-порозного типа для определения летучих и малолетучих органических соединений в воздушных средах.

Методология и методы исследования. Морфология поверхности образцов сорбционных систем блочно-порозного типа при травлении, окислении, нанесении сорбционно-активных материалов, а также полимерных материалов определена методом сканирующей электронной микроскопии с дисперсионно-рентгеновским микроанализом. Оценку сорбционно-

десорбционных свойств разрабатываемых систем проводили с помощью общепринятого методического подхода, основанного на оценке массы сорбированного и десорбированного компонента при различных условиях и расчета степеней извлечения при сорбции и десорбции на их основе. Оценку правильности разработанных схем анализа осуществляли путем анализа стандартных газовых смесей. Анализ полученных газовых смесей и экстрактов при определении сорбционных свойств проводили методом газовой хроматографии.

На защиту выносятся:

1. Обоснование применения блочно-порозного материала «металлорезины» как материала основы для создания нового типа сорбционных систем.

2. Результаты оценки влияния порозности и способа формирования слоя сорбционно-активного материала на характеристики сорбционных систем блочно-порозного типа.

3. Результаты сравнительной оценки эффективности сорбции и десорбции сорбционных систем блочно-порозного типа различного типа с адсорбентами (Полисорб-1, активный уголь БАУ) и сорбентами ПМС200/Хроматон N-AW, ПЭГ-4000/Хроматон N-AW, широко применяемыми в аналитической практике.

4. Методические рекомендации для применения полученных сорбционных систем блочно-порозного типа при определении летучих и малолетучих органических микропримесей в газовых средах.

Апробация работы. Результаты диссертационных исследований апробированы на VI Всероссийском симпозиуме "Разделение и концентрирование в аналитической и радиохимии" с международным участием (Краснодар, 2021), Всероссийской конференции с международным участием и элементами научной школы для молодежи «Экотоксикология» (Тула, 2021), Всероссийском симпозиуме и школе-конференции молодых ученых "Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях" (Севастополь, 2021, 2023), Международной научно-практической конференции «Химия, экология и рациональное природопользование» (Магас, 2021), Девятом всероссийском симпозиуме и школе-конференции молодых ученых «Кинетика и динамика сорбционных процессов» (Сочи, 2022), V Всероссийской с международным участием школе-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «материалы и технологии XXI века» (Казань, 2022), 26-ой Международной выставке и деловом форуме «Безопасность и охрана труда - 2022» (Москва, 2022), Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2023» (Москва, 2023), XXI Всероссийской молодежной Самарской конкурсе-конференции по оптике, лазерной физике и физике плазмы (Самара, 2023), XII Конгрессе молодых ученых ИТМО (Санкт-Петербург, 2023).

Публикация результатов. По материалам диссертации опубликованы 4 статьи в издании, рекомендованном ВАК, 3 статьи в изданиях, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, тезисы 27 докладов.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, пяти глав, в которых изложены результаты проведенных исследований и их обсуждение, выводов, списка цитируемой литературы (151 наименование). Материалы диссертационной работы изложены на 117 страницах текста, включая 24 таблицы и 23 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована научная новизна и практическая значимость проводимых исследований, определена актуальность темы исследований, сформулированы цели и задачи проводимой работы, определены основные положения, выносимые на защиту. Представлен личный вклад автора, апробация результатов исследований, структура и объем диссертационной работы.

В первой главе рассмотрены такие актуальные проблемы в экологическом мониторинге и обеспечении безопасности промышленных предприятий, как проведение пробоотбора и пробоподготовки. Показано, что при определении микропримесей хроматографическим методом используются сорбенты различного типа. Особое внимание уделено поверхностно-слоистым сорбентам – рассмотрены их свойства, способы получения и области применения. Показано, что, благодаря своему строению, в качестве материала-основы можно использовать материал «металлорезина», порозность и способ формирования адсорбционных слоев на поверхности которого можно варьировать для определения широкого диапазона органических веществ в воздушных средах.

Во второй главе подробно изложены методики изготовления экспериментальных образцов сорбционных систем блочно-порозного типа на основе различных сорбционно-активных материалов.

В разделе 2.1 описана методика формирования блочно-порозной основы для сорбционных систем.

В качестве основы сорбционных систем предложено использование материала, известного как «металлорезина» (МР). Он представляет из себя проволочную спираль, уложенную и спрессованную в виде блока. Порозность материала-основы сорбционной системы может быть рассчитана по формуле:

$$\Pi = 1 - \frac{m}{\rho \cdot V_6}, \quad (1)$$

где m – масса проволоки, используемой для формирования блочной основы сорбционных систем, г;

ρ – плотность материала проволоки, г/см³;

V_6 – объём блока, см³.

В качестве материала-основы для изготовления сорбционных систем были выбраны сталь марки Х18Н10Т и алюминий марки АД1. Задаваемыми параметрами для блочно-порозной основы являются порозность (0,60 и 0,75), диаметр блока (задается диаметром пресс-формы – 8 мм) и диаметр проволоки (стальная проволока – 0,35 мм, алюминиевая проволока – 0,13 мм). На

основании данных величин была рассчитана масса проволоки, необходимая для формирования блочно-порозной основы при укладке и прессовании проволочной спирали до заданной высоты. Полученные образцы блочно-порозной основы показаны на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фотографии блоков основы, предназначенных для создания сорбционных систем блочно-порозного типа

В разделе 2.2 описана методика формирования адсорбционных слоев на поверхности блочно-порозного материала путем термической и химической обработки.

В рамках работы было изготовлено несколько образцов сорбционного материала с отличающимися друг от друга структурами поверхности, при этом методики создания адсорбционного слоя для стальных и алюминиевых образцов отличались. Формирование адсорбционного слоя для образцов на основе стали осуществляли химическим травлением в соляной кислоте при нагревании с последующим термическим оксидированием при различных температурах. Адсорбционный слой на поверхности алюминиевых образцов формировался с помощью химического травления в щелочном растворе при комнатной температуре. В результате были получены экспериментальные образцы (ЭО) сорбционных систем блочно-порозного типа, условные обозначения которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Виды экспериментальных образцов сорбционных систем блочно-порозного типа, полученных путем термического и химического оксидирования

Обозначение образца	Материал	Тип обработки поверхности
Ст – н/о	Сталь	Без термической и химической обработки
Ст – HCl		Травление в HCl
Ст – HCl+350°C		Травление в HCl и оксидирование на воздухе при 350°C продолжительностью 3 часа
Ст – HCl+500°C		Травление в HCl и оксидирование на воздухе при 500°C продолжительностью 3 часа
Ст – HCl+700°C		Травление в HCl и оксидирование на воздухе при 700°C продолжительностью 1 час
Al-н/о	Алюминий	Без термической и химической обработки
Al-окс		Химическое оксидирование

В разделе 2.3 описана методика формирования адсорбционных слоев на поверхности блочно-порозного материала путем нанесения тонких пленок из полимерного материала полиметилсилоксана (ПМС) и полиэтиленгликоля (ПЭГ) на предварительно подготовленные экспериментальные образцы

сорбционных систем как без обработки поверхности, так и подвергнутые термической и химической обработке.

Для формирования сорбционного слоя через образец пропускали раствор ПМС и ПЭГ в хлороформе, затем удаляли растворитель на песчаной бане.

Таким образом, были получены образцы сорбционных систем на основе стали, отличающиеся полимерным материалом, нанесенным на поверхность блочно-порозной основы (таблица 2).

Таблица 2 – Виды экспериментальных образцов сорбционных систем блочно-порозного типа на основе полимерных материалов

Обозначение	Порозность	Полимерный материал
Ст-ПЭГ-0,75 (20)	0,75	Полиэтиленгликоль
Ст-ПЭГ-0,6 (10)	0,6	
Ст-ПЭГ-0,6 (20)		
Ст-н/о-ПМС-0,75	0,75	Полиметилсилоксан
Ст-ПМС-0,75		
Ст-н/о-ПМС-0,6	0,6	
Ст-ПМС-0,6		

В разделе 2.4 описана методика формирования адсорбционных слоев на поверхности блочно-порозного материала путем нанесения твердых адсорбентов. В качестве материала-основы были использованы 3 вида образцов – образцы без обработки поверхности, образцы с оксидным слоем, полученным при химической или термической обработке, образцы с предварительно нанесенной пленкой полимерного материала ПМС. Для модифицирования поверхности алюминиевых и стальных образцов блочно-порозного материала использовали активный уголь БАУ, Полисорб-1 и диоксид кремния.

Для нанесения полимерного сорбента Полисорб-1 и активного угля БАУ был использован метод суспензионного насыщения. Экспериментально установлено, что наиболее подходящая фракция для формирования адсорбционного слоя составила 10-20 мкм для полимерного сорбента Полисорб-1 и 3-10 мкм для активного угля БАУ. Формирование сорбционного слоя диоксида кремния проводилось двумя способами – золь-гель методом и суспензионным методом.

Таким образом, были получены образцы сорбционных систем блочно-порозного типа, отличающиеся материалом основы, порозностью, способом обработки поверхности, наличием полимерной пленки, нанесенной на поверхность блочно-порозной основы и сорбционно-активным материалом (таблица 3).

Таблица 3 – Виды экспериментальных образцов сорбционных систем блочно-порозного типа на основе твердых адсорбентов различного типа

Обозначение	Материал основы	Порозность	Сорбционно-активный материал
Ал-АУ-0,75	Алюминий	0,75	Активный уголь БАУ
Ал-Пс-0,75			Полисорб-1

Продолжение таблицы 3

Ал-ПМС-Пс-0,75	Алюминий	0,75	Полисорб-1 и ПМС в качестве связующего компонента
Ал-АУ-0,6		0,6	Активный уголь БАУ
Ал-Пс-0,6			Полисорб-1
Ал-ПМС-АУ-0,6			Активный уголь БАУ и ПМС в качестве связующего компонента
Ал-SiO ₂ -0,6			Диоксид кремния
Ст-АУ-0,75	Сталь	0,75	Активный уголь БАУ
Ст-Пс-0,75			Полисорб-1
Ст-ПМС-Пс-0,75			Полисорб-1 и ПМС в качестве связующего компонента
Ст-ПМС-АУ-0,75			Активный уголь БАУ и ПМС в качестве связующего компонента
Ст-SiO ₂ -0,6			Диоксид кремния

В разделе 2.5 описаны методики исследования экспериментальных образцов сорбционных систем блочно-порозного типа.

Исследование поверхности образцов сорбционных систем было проведено несколькими методами. Морфология поверхности изучалась на растровом сканирующем электронном микроскопе TESCAN Vega SB. Оценка количества нанесенного сорбционно-активного материала оценивалась гравиметрическим способом.

Была проведена сравнительная оценка газодинамического сопротивления исследуемых образцов сорбционных систем блочно-порозного типа и порошкообразных сорбентов Полисорба-1 и активного угля БАУ. Разница в давлении для сорбционных систем блочно-порозного типа значительно меньше по сравнению с порошкообразными сорбентами, что может быть объяснено низким газодинамическим сопротивлением исследуемых образцов. Также на газодинамическое сопротивление влияет порозность – с увеличением порозности увеличивается разница в давлении при пропускании потока воздуха.

В работе проводилась оценка сорбционно-десорбционных характеристик по отношению к малолетучим и летучим органическим соединениям для тех образцов сорбционных систем, которые отличались наиболее равномерным нанесением сорбционно-активного материала на поверхность блочно-порозной основы, и как следствие, наиболее низким газодинамическим сопротивлением. Для исследования данных характеристик необходимо было получить газовую смесь, содержащую микропримеси малолетучего/летучего органического соединения в воздухе.

Определение малолетучих органических веществ было проведено на примере диоктилфталата (ДОФ). Для получения потока газа, содержащего примеси ДОФ, была собрана установка в следующем составе: компрессор с помощью регулятора расхода газа направляет поток воздуха через источник ДОФ, представляющий собой поглотитель, заполненный чистым веществом и

помещенный в термостат (эксперимент проводили при температурах $24 \pm 3^\circ\text{C}$ и $60 \pm 3^\circ\text{C}$); далее полученная газовая смесь малолетучего органического вещества в воздухе проходит через систему концентрирования. Десорбцию ДОФ проводили с использованием трех растворителей (гексан, изопропанол (ИПС), толуол) объёмом 2 мл в ультразвуковой ванне в течение 2 минут. Количественный анализ полученных концентратов проводили методом газовой хроматографии.

Для реализации стадии сорбционного концентрирования летучего органического соединения (ЛОС) необходимо получить газовую смесь, которая содержит микропримеси ЛОС в воздухе. Для получения стандартных газовых смесей ЛОС был использован хромато-десорбционный и гравиметрический способы. В качестве аналита использовались летучие органические соединения различной полярности – этанол и гексан. Количественный анализ газовых смесей в ходе работы проводится газохроматографическим методом.

В третьей главе изложены основные результаты оценки влияния порозности и способа формирования адсорбционного слоя на характеристики исследуемых сорбционных систем блочно-порозного типа.

Раздел 3.1 посвящен исследованию морфологии поверхности сорбционных систем блочно-порозного типа. С использованием растрового сканирующего электронного микроскопа TESCAN Vega SB установлено, что при термической и химической обработке на поверхности образца на основе алюминия наблюдается образование трещин, а на поверхности стального образца, травленного и оксидированного, образование не только пор и трещин, но и сферических частиц диаметром 0,3-1 мкм. При исследовании процесса нанесения пленки полимерного материала отмечено, что происходит изменение структуры поверхности, при этом в ряде случаев наблюдается образование сгустков полимера на пересечении витков проволоки. При нанесении на поверхность блочно-порозной основы твердых адсорбентов наблюдается образование практически равномерного адсорбционного слоя (рисунки 2, 3)

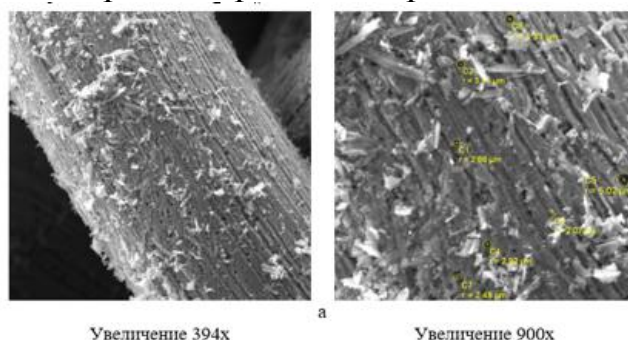


Рисунок 2 – Электронные изображения поверхности блочно-порозных сорбционных систем на основе стали, модифицированных активным углем БАУ

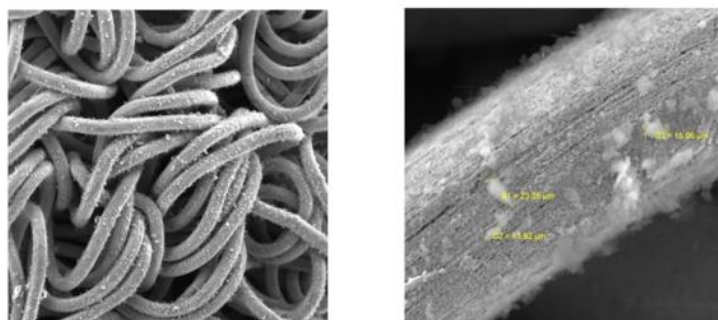


Рисунок 3 – Электронные изображения поверхности блочно-порозных сорбционных систем на основе стали, модифицированных полимерным сорбентом Полисорб-1

Наилучшая равномерность распределения сорбента на поверхности блочно-порозной основы была достигнута при нанесении Полисорба-1 на поверхность сорбционных блоков на основе стали.

В разделе 3.2 представлена оценка массы нанесенного сорбционно-активного материала на поверхность блочно-порозной основы.

При нанесении пленки полимерного материала на поверхность блочно-порозной основы не наблюдается значительного изменения количества нанесенного полимерного материала для образцов с предварительным травлением и термической обработкой при различных температурах. Стоит отметить, что количество нанесенного ПМС на необработанные образцы больше, чем на образцы, обработанные соляной кислотой и оксидированные. Это может быть связано с изменением порозности вследствие уменьшения диаметра проволоки на стадии травления и оксидирования.

Нанесение диоксида кремния на блочно-порозную основу осуществлялось золь-гель методом и суспензионным методом. При сравнении природы материала-основы установлено, что на алюминиевые образцы нанеслось больше сорбционно-активного материала в виде диоксида кремния, чем на стальные. Суспензионный метод позволил получить образцы с большей массой сорбционно-активного материала. Это может быть связано с большей плотностью суспензии по сравнению с гелем, используемым при изготовлении системы, а также с большей адгезией диоксида кремния по сравнению с гелем кремниевой кислоты. Для дальнейших исследований были выбраны образцы с наибольшими массами нанесенного диоксида кремния.

При сравнении образцов с одинаковой порозностью, но разной площадью поверхности масса активного угля БАУ, рассчитанная на единицу поверхности образца, у алюминиевых образцов оказалась в 1,5 раза больше, чем у стальных. При нанесении Полисорба-1 данная величина для алюминиевых образцов примерно в 3 раза больше, чем у стальных. При сравнении результатов модифицирования образцов одного материала с разной порозностью можно наблюдать, что уменьшение порозности приводит к уменьшению массы сорбированного модификатора, что может быть связано с уменьшением доступа суспензии к поверхности материала.

Для создания ряда образцов через блочно-порозную основу предварительно пропускали раствор ПМС в хлороформе, затем после удаления растворителя, пропускали суспензию адсорбента.

Дальнейшее экспериментальное исследование сорбционно-десорбционных свойств сорбционных систем на основе алюминия проводилось на образцах с наибольшей порозностью, т.к. для них наблюдалось наибольшее количество нанесенного сорбционно-активного компонента.

Четвертая глава посвящена исследованию сорбционных систем блочно-порозного типа по отношению к малолетучим органическим соединениям.

В разделе 4.1 представлена реализация адсорбционного концентрирования с использованием сорбционных систем блочно-порозного типа. Для оценки возможности использования таких систем для концентрирования малолетучих органических соединений проводилось изучение сорбционных свойств полученных экспериментальных образцов сорбционных систем блочно-порозного типа, а также сравнение их сорбционных характеристик по количеству десорбированного ДОФ (таблица 4).

Таблица 4 – Зависимость массы десорбированного ДОФ от типа экспериментального образца ($t_{\text{терм}} = 60^{\circ}\text{C}$, расстояние от источника ДОФ - 15 см, растворитель – ИПС, ОСКО не превышает 5%)

Тип экспериментального образца	Ст – н/о	Ст – HCl	Ст – HCl+350°C	Ст – HCl+500°C	Ст – HCl+700°C
Масса ДОФ, мкг	15	34	33	31	27

Из представленных данных видно, что наименьшее количество ДОФ десорбировано с образца с необработанной поверхностью. При сравнении образцов сорбционных систем, термически обработанных при разных температурах, можно отметить сопоставимое количество десорбированного ДОФ.

Для оптимизации стадии десорбции были исследованы различные растворители – гексан, ИПС и толуол. Установлено, что десорбция с использованием гексана и толуола эффективнее, чем с использованием изопропанола. Для дальнейших экспериментов был использован толуол.

Концентрирование ДОФ на образец, изготовленный из алюминия, осуществлялось при комнатной температуре без дополнительного нагревания поглотителя с ДОФ (таблица 5).

Таблица 5 – Зависимость массы десорбированного ДОФ от типа экспериментального образца ($t_{\text{терм}} = 23^{\circ}\text{C}$, расстояние от источника ДОФ - 1 см, растворитель – толуол, ОСКО не превышает 5%)

Экспериментальный образец	Al-н/о	Al-окс	Ст-н/о
Масса ДОФ, мкг	5,7	2,6	6,6

Из данных, представленных в таблице 5, видно, что сорбционные свойства необработанных стальных и алюминиевых образцов сопоставимы, но масса ДОФ, десорбированного с оксидированного образца из алюминия меньше, чем у образцов, не обладающих адсорбционным слоем.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при окислении, с одной стороны, формируется оксидный слой, который может выступать в качестве сорбционного, что приводит к увеличению извлечения ДОФ из парогазовой смеси, с другой стороны, происходит уменьшение диаметра проволоки и, следовательно, увеличение порозности системы, что приводит к уменьшению извлечения ДОФ из парогазовой смеси.

В разделе 4.2 представлена оценка возможности использования сорбционных систем блочно-порозного типа для определения диоктилфталатов в воздухе рабочей зоны.

В рамках работы проведена сравнительная оценка различных способов концентрирования – стандартизированной методики абсорбционного концентрирования, адсорбционного концентрирования с использованием полученных сорбционных систем блочно-порозного типа и порошкообразного сорбента активного угля БАУ (таблица 6).

Таблица 6 - Определенная концентрация ДОФ в газовом потоке при проведении абсорбционного и адсорбционного концентрирования

Тип концентрирования	Концентрация ДОФ $C \pm \Delta$, мг/м ³ , при различных объемах газовой фазы, отобранной для анализа		
	V _{ГФ} = 20 л	V _{ГФ} = 10 л	V _{ГФ} = 5 л
Абсорбционное концентрирование	0,46 ± 0,15	0,14 ± 0,06	менее предела обнаружения
Адсорбционное концентрирование с использованием активированного угля БАУ	0,12 ± 0,05	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения
Адсорбционное концентрирование с использованием сорбционной системы Ст – HCl+500°C	1,6 ± 0,3	2,2 ± 0,5	2,4 ± 0,3

Установлено, что стандартизированная методика определения ДОФ с абсорбционным концентрированием дает явно заниженные результаты по сравнению с адсорбционным концентрированием. Это может быть связано как с неполным улавливанием ДОФ из газового потока, так и с внесением дополнительных погрешностей при упаривании экстракта. Стоит отметить, что при реализации абсорбционного улавливания относительная случайная погрешность в 1,5-2 раза больше, чем при использовании полученных сорбционных систем. Таким образом, использование предлагаемых систем позволяет повысить не только правильность определения ДОФ за счет более эффективного улавливания компонента, но и прецизионность анализа. Адсорбционное концентрирование с использованием активного угля БАУ также даёт заниженный результат. Заниженный результат может быть связан с неполнотой десорбции ДОФ с активированного угля: при повторной десорбции ДОФ с активированного угля концентрация ДОФ в растворителе была сопоставима с первой десорбцией. Также установлено, что для проведения концентрирования с использованием предлагаемых сорбционных систем достаточно отобрать 5-10 литров газовой фазы: при увеличении объема

отобранной газовой фазы наблюдается уменьшение определенной концентрации ДОФ, что обусловлено неполным улавливанием компонента из пропускаемого потока.

Пятая глава посвящена исследованию сорбционных систем блочно-порозного типа по отношению к летучим органическим соединениям.

В разделе 5.1 описано исследование сорбционно-десорбционных свойств сорбционных систем блочно-порозного типа на основе полимерных пленок. Образцы сорбционных систем блочно-порозного типа с нанесенным на поверхность ПМС были исследованы по отношению к неполярному летучему органическому соединению – гексану (таблица 7). Установлено, что степень извлечения при сорбции $R_{сорб}$ при выбранных условиях составляет в среднем 95 %. При этом для образцов, обладающих большей порозностью (0,75), наблюдается меньшая степень извлечения (90%) по сравнению с образцами с порозностью 0,6 (около 100%). Однако при аналогичных условиях десорбции степень извлечения при десорбции снижается для образцов с порозностью 0,6. Это может быть связано как с уменьшением доли свободного пространства для массообменных процессов, так и увеличением количества ПМС при создании образцов. Показано, что при аналогичных условиях степень извлечения гексана при десорбции у исследуемых сорбционных систем превышает степень извлечения сорбента на основе ПМС, где в качестве основы был использован Хроматон N-AW, что может быть объяснено существенным увеличением порозности у сорбционных систем по сравнению с системами ПМС/Хроматон N-AW, приводящей к более активному протеканию массообменных процессов.

Таблица 7 – Результаты исследования сорбционных систем блочно-порозного типа на основе ПМС по отношению к гексану

Вид ЭО	Объем отобранной газовой фазы V, мл	Концентрация гексана в газовой фазе C_0 , мг/л	Степень извлечения при сорбции $R_{сорб}$, %	Степень извлечения при десорбции $R_{дес}$, %
Ст-н/о-ПМС-0,75	30	1,3	91	10,0
	15	0,325	89	17,5
Ст-ПМС-0,75	30	0,325	99	31,0
Ст-н/о-ПМС-0,6	30	0,325	99	8,2
	60	0,325	98	2,6
Ст- ПМС-0,6	30	0,325	99	5,4
	60	0,325	99	4,6
ПМС/Хроматон N-AW	30	0,325	99	9,8

Образцы сорбционных систем блочно-порозного типа с нанесенным на поверхность ПЭГ, имеющего полярные функциональные группы, были исследованы по отношению к полярному летучему органическому соединению – этанолу (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты исследования сорбционных систем блочно-порозного типа на основе ПЭГ по отношению к этанолу

Вид ЭО	Объём отобранной газовой фазы V, мл	Концентрация этанола в газовой фазе C ₀ , мг/л	Степень извлечения при сорбции R _{сорб} , %	Степень извлечения при десорбции R _{дес} , %
Ст-ПЭГ-0,6 (10)	20	0,39	96	13
	50	0,039	93	2
	100	0,016	89	4
Ст-ПЭГ-0,6 (20)	20	0,39	78	23
	50	0,039	85	5
	100	0,016	84	5
Ст-ПЭГ-0,75 (20)	20	0,39	79	23
	50	0,039	80	34
	100	0,016	79	39
ПЭГ-Хроматон N-AW	20	0,39	95	14

Установлено, что для Ст-ПЭГ-0,6(10) образца сорбировалось примерно 96% от теоретически рассчитанной массы, для Ст-ПЭГ-0,6(20) и Ст-ПЭГ-0,75(20) образца сорбировалось примерно 80% от теоретически рассчитанной массы. Сравнение сорбционно-десорбционных характеристик сорбционных систем и сорбента на основе ПЭГ, нанесенного на Хроматон N-AW, показывает повышение эффективности при статической десорбции.

Раздел 5.2 посвящен исследованию сорбционно-десорбционных свойств сорбционных систем блочно-порозного типа на основе твердых адсорбентов.

Результаты оценки сорбционно-десорбционных характеристик сорбционных систем на основе стали и алюминия представлены в таблицах 9-10 (аналит – гексан).

Таблица 9 – Результаты исследования сорбционных систем блочно-порозного типа на основе алюминия

	Ал-Пс-0,75	Ал-ПМС-Пс-0,75	Ал-АУ-0,75	Ал-ПМС-АУ-0,75	Ал-SiO ₂ -0,6
R _{сорб} , %	84	98	99	99	50
R _{дес} , %	32	56	28	10	4

Таблица 10 – Результаты исследования сорбционных систем блочно-порозного типа на основе стали

	Ст-Пс-0,75	Ст-ПМС-Пс-0,75	Ст-АУ-0,75	Ст-ПМС-АУ-0,75	Ст-SiO ₂ -0,6
R _{сорб} , %	78	99	81	99	42
R _{дес} , %	17	61	28	9	2

Степени извлечения при сорбции при использовании сорбционных систем на основе стали и алюминия порозностью 0,75 отличаются в зависимости от массы активного компонента на единицу поверхности.

Наилучшие результаты при концентрировании гексана были достигнуты с использованием исследуемых сорбционных систем на основе оксидированной стали с нанесенным на поверхность полимерным сорбентом Полисорб-1 и ПМС в качестве связующего компонента.

В разделе 5.3 показана оценка возможности использования сорбционных систем блочно-порозного типа для определения летучих органических соединений в воздухе.

Анализ методик выполнения измерений, которые используются для определения содержания летучих органических соединений в воздушных средах показал, что в качестве пробоотбора в большинстве случаев проводится отбор в контейнеры или используются сорбционные трубки. В последнем случае пробоотбор сочетается с этапом пробоподготовки (сорбционного концентрирования).

На основании проведенных ранее исследований для проведения пробоотбора, совмещенного с пробоподготовкой, предложены сорбционные системы Ст-ПМС-Пс-0,75.

Оценка возможности использования разработанных сорбционных систем блочно-порозного типа для определения летучих органических соединений в воздухе проводилась с использованием традиционного подхода «введено-найдено» при анализе стандартных газовых сред. Сорбция проводилась путем пропускания стандартной газовой смеси через сорбционную систему. Для извлечения сконцентрированных примесей проводили термодесорбцию в герметично закрытом пенициллиновом флаконе при температуре 150⁰ С в течение 30 мин. Параллельно аналогичные операции проводились сорбционными трубками, заполненными сорбентом Полисорб-1, с аналогичными геометрическими параметрами. Результаты представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты оценки случайной и систематической погрешности при реализации сорбционного концентрирования с использованием сорбционных систем блочно-порозного типа и традиционных сорбционных трубок на основе сорбента Полисорб-1

Тип сорбционной системы	Концентрация аналита в исходной газовой смеси, мг/л	Экспериментально определенная концентрация аналита, мг/л	Относительная случайная погрешность ОСКО, %	Относительная систематическая погрешность δ , %
Аналит - гексан				
Ст-ПМС-Пс-0,75	0,05	0,037	12	26
	0,10	0,072	8	28
	0,17	0,12	7	29
Сорбционные трубки (Полисорб-1)	0,05	0,034	15	32
	0,10	0,059	9	41
	0,17	0,097	9	43

Продолжение таблицы 11

Аналит - этанол				
Ст-ПМС-Пс-0,75	0,12	0,099	11	18
	0,38	0,31	8	18
	0,56	0,45	8	20
Сорбционные трубки (Полисорб-1)	0,12	0,079	13	34
	0,38	0,24	7	37
	0,56	0,31	8	45

В рассматриваемом случае систематическая погрешность в первую очередь обусловлена неполным извлечением аналита при термодесорбции: при использовании сорбционных систем блочно-порозного типа при оптимизации условий десорбции степень извлечения составляет 70-75% для гексана и 75-80 % для этанола, тогда как при использовании порошкообразного Полисорба-1 – не более 60% для гексана и 65% для этанола. Также стоит отметить, что исходная концентрация аналита не оказывает существенного влияния на степень извлечения для сорбционных систем блочно-порозного типа (ОСКО не более 5 %), тогда как для сорбционных трубок при увеличении концентрации степень извлечения изменялась значительно (ОСКО 9 %). Случайные погрешности при использовании обеих систем сопоставимы.

В рамках работы проведено сопоставление результатов анализа стандартных газовых смесей с имитацией реальных условий пробоотбора и транспортировки проб. Пробоотбор имитировали с использованием стандартной газовой смеси, приготовленной в тедларовых пакетах и пропусканием стандартной газовой смеси через сорбционные системы блочно-порозного типа Ст-ПМС-Пс-0,75 с последующей герметизацией. Анализ при реализации первого и второго способа пробоотбора проводили через 2, 12, 24 часа (таблица 12). Экспериментально показано, что использование сорбционных систем позволяет уменьшить погрешность анализа, связанную с хранением пробы.

Таблица 12 – Результаты оценки систематической погрешности при реализации двух способов пробоотбора (аналит – гексан, $C_0 = 0,28$ мг/л)

Способ пробоотбора	«Время хранения пробы», ч	Экспериментально определенная концентрация аналита $C \pm \Delta$, мг/л	Относительная систематическая погрешность δ , %
Тедларовый пакет	2	0,24±0,03	14
	12	0,18±0,02	36
	24	0,15±0,02	46
Сорбционная система блочно-порозного типа Ст-ПМС-Пс-0,75	2	0,25±0,02	11
	12	0,25±0,03	11
	24	0,24±0,03	14

Таким образом, применение предложенных в данной работе сорбционных систем позволяет повысить точность и чувствительность анализа газовых сред за счет уменьшения потерь аналита при хранении и транспортировке проб при

отборе проб в контейнеры или неполной десорбции при отборе проб с использованием традиционных сорбционных трубок.

Для оценки способности сорбционных систем к регенерации и возможности их повторного использования после завершения этапа десорбции образцы кондиционировали и исследовали их концентрационные характеристики повторно. Установлено, что при многократном использовании сорбционных систем не наблюдается стабильного снижения концентрации сорбированного гексана, что говорит о возможности их неоднократного использования без снижения эффективности при концентрировании летучих органических соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы были сделаны следующие выводы:

1. Разработаны методики изготовления сорбционных систем блочно-порозного типа для концентрирования малолетучих органических соединений; сорбционных систем блочно-порозного типа на основе полимерных материалов полиметилсилоксана и полиэтиленгликоля для концентрирования летучих органических соединений; сорбционных систем блочно-порозного типа на основе твердых адсорбентов Полисорба-1, активного угля БАУ и диоксида кремния для концентрирования летучих органических соединений.

2. Проведено исследование влияния порозности и способа формирования слоя сорбционно-активного материала на поверхности материала-основы на параметры получаемых сорбционных систем блочно-порозного типа. Установлено, что при увеличении порозности системы увеличивается количество нанесенного полимерного материала и твердых адсорбентов, но при этом ухудшается равномерность распределения данных веществ на поверхности блочно-порозной основы. Установлено, что уменьшение концентрации полимерного сорбционно-активного материала в растворе, используемом для его нанесения, уменьшение размера частиц твердого сорбента в суспензии и/или их концентрации приводит к формированию более плотной и равномерной пленки, но при этом увеличивается время нанесения.

3. Проведена сравнительная оценка сорбционных свойств сорбционных систем блочно-порозного типа, в том числе с аналогичными по природе порошкообразными сорбентами. Показано, что полученные сорбционные системы блочно-порозного типа позволяют повысить эффективность десорбции летучих органических соединений в статических условиях по сравнению с аналогичными сорбционно-активными материалами в порошкообразной форме в 1,2 – 2 раза в зависимости от природы сорбента и аналита.

4. Проведена оценка возможности применения полученных сорбционных систем блочно-порозного типа для решения конкретных аналитических задач при определении летучих и малолетучих органических микропримесей в газовых средах. На примере определения диоктилфталата в воздухе показано, что использование сорбционных систем блочно-порозного типа без дополнительной модификации поверхности сорбционно-активным

материалом позволяет повысить чувствительность и снизить погрешность анализа по сравнению с абсорбционным способом пробоотбора и пробоподготовки и использованием порошкообразного активного угля БАУ. На примере определения этанола и гексана в воздухе показано, что использование сорбционных систем блочно-порозного типа на основе ПМС и Полисорба-1 позволяет повысить точность анализа за счет более эффективной десорбции по сравнению с порошкообразным сорбентом Полисорб-1. В рамках работы установлена возможность многократного использования сорбционных систем блочно-порозного типа – до 20 актов сорбции-десорбции при изменении степени извлечения не более 5 %.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В ПУБЛИКАЦИЯХ

Статьи в рецензируемых научных журналах, перечень которых установлен Министерством науки и высшего образования Российской Федерации:

1. Платонов, И.А. Определение высококипящих органических соединений с использованием блочно-порозных сорбционных систем / И.А. Платонов, Е.А. Новикова, А.С. Карсункина, [и др.]// Сорбционные и хроматографические процессы. – 2021. – Т. 21, № 5. – С. 623-629, 0,46 п/л.

2. Платонов, И.А. Поверхностно-слоиные блочно-порозные сорбционные системы на основе полиметилсилоксана / И.А. Платонов, Е.А. Новикова, А.С. Карсункина // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2021. – Т. 21, № 5. – С. 623-629, 0,4 п/л.

3. Платонов, И.А. Исследование сорбционных процессов в хромато-десорбционных системах на основе наноструктурированного полимерного сорбента Полисорб-1 / И.А. Платонов, Е.А. Новикова, А.С. Карсункина, [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2023. – Т. 23, № 4. – С. 495-503, 0,52 п/л.

4. Платонов, И.А. Модифицирование блочно-порозных систем сорбционно-активными материалами / И.А. Платонов, Е.А. Новикова, А.С. Карсункина // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2024. – Т. 90, №4. – С. 12-18, 0,4 п/л.

В научных рецензируемых изданиях и сборниках трудов:

5. Novikova E.A., Karsunkina A.S., Lebedev A.N. Reception and research of new "metallo - rubber" -based sorption materials // 13th International Students Conference "Modern Analytical Chemistry". — 2017. — P. 178-182, 0,29 п/л.

6. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С. Новые сорбционные системы на основе блочного материала с варьируемой порозностью // I Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию ФБГОУ «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. –

Грозный: Изд-во ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, 2017. – С. 610-613, 0,23 п/л.

7. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С. Получение сорбционных материалов на основе металлорезины и исследование их сорбционных свойств // Международная молодежная научная конференция, посвященная 110-летию со дня рождения академика С.П. Королева, 75-летию КуАИ-СГАУ-СамГУ-Самарского университета и 60-летию со дня запуска первого искусственного спутника Земли. XIV Королевские чтения. – Самара: Изд-во СНЦ, 2017. – С. 144-145, 0,12 п/л.

8. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С., Лебедев А.Н. Использование сорбционных материалов на основе металлорезины для концентрирования малолетучих органических соединений // Всероссийская школа-конференция с международным участием «Байкальская школа-конференция по химии». – Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2017. – 326-328, 0,17 п/л.

9. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С. Концентрирование малолетучих органических соединений на сорбционных материалах на основе металлорезины // XX Всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием). – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2017. – С. 314, 0,06 п/л.

10. Новикова Е.А., Карсункина А.С. Создание сорбционных систем на основе «металлорезины», модифицированной полимерной пленкой // IV Всероссийская конференция «химия и химическая технология: достижения и перспективы». – Кемерово: Изд-во КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2018. – 801.1-801.5, 0,29 п/л.

11. Карсункина А.С., Лебедев А.Н. Получение и применение сорбционного материала с варьируемой порозностью // Международный молодежный научный форум «Ломоносов – 2018». Электронное издание. – М.: МАКС Пресс, 2018. – URL: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2018/data/section_12_13671.htm.

12. Новикова Е.А., Карсункина А.С. Получение сорбционных систем для экологического мониторинга воздуха // IX Молодежная экологическая конференция «Северная пальмира». – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН, 2018. – С. 47-51, 0,29 п/л.

13. Карсункина А.С., Лебедев А.Н. Использование сорбентов для определения пластификаторов в воздухе // XXI Всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием). – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2018. – С. 287, 0,06 п/л.

14. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С., Лебедев А.Н. Модифицирование поверхности блочного материала с варьируемой порозностью как способ получения нового типа сорбционных систем // VII Всероссийский симпозиум и Школа-конференция молодых ученых «Кинетика и динамика обменных процессов». – Сочи: Издательский дом «Граница», 2018. – С. 189-190, 0,12 п/л.

15. Новикова Е.А., Карсункина А.С. Исследование модифицированного сорбционного материала на основе «металлорезины» // III Всероссийская научная конференция (с международным участием) «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов». – Иваново: ФГБОУ ВО ИГТУ, 2018. – Т. 1. – С.125, 0,06 п/л.
16. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С. Исследование блочно-пористых сорбционных систем // Международная молодёжная научная конференция "XV Королёвские чтения", посвящённая 100-летию со дня рождения Д.И. Козлова. – Самара: Изд-во СНЦ, 2019. – С. 600, 0,06 п/л.
17. Новикова Е.А., Карсункина А.С. Создание блочно-пористых сорбционных систем для экологического мониторинга // VII Научная молодёжная школа-конференция «Химия, физика, биология: Пути интеграции». – Москва: Изд-во ФГБУН Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, 2019. – С. 36, 0,06 п/л.
18. Новикова Е.А., Карсункина А.С., Лебедев А.Н. Анализ летучих органических соединений с использованием сорбционных систем // Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Инновационные материалы и технологии». – Минск: Изд-во БГТУ, 2019. – С. 285-287, 0,17 п/л.
19. Новикова Е.А., Карсункина А.С. Концентрирование летучих органических соединений с использованием модифицированных блочно-пористых материалов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/1900>.
20. Карсункина А.С., Лебедев А.Н. Модифицирование блочно-пористого материала // XXII Всероссийская конференция молодых ученых-химиков (с международным участием). — 2019. — С. 299, 0,06 п/л.
21. Карсункина, А.С. Получение стандартных газовых смесей летучих органических соединений хромато - десорбционным методом / А.С. Карсункина, Е.А. Новикова, И.А. Платонов // Международная научно-практическая конференция "Внедрение передового опыта и практическое применение результатов инновационных исследований". — 2021. — С. 19-21, 0,17 п/л.
22. Новикова Е.А., Карсункина А.С., Ушмодина Е.А., Мишина В.Е. Сорбционные системы блочного типа с варьируемой порозностью для концентрирования полярных органических соединений // Международная научно-практическая конференция «Химия, экология и рациональное природопользование». — 2021. — С. 105-108, 0,23 п/л.
23. Новикова Е.А., Карсункина А.С. Создание поверхностно-слоистых сорбционных систем с варьируемой порозностью // Всероссийский симпозиум и школа-конференция молодых ученых "Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях". – 2021. – С. 135-136, 0,12 п/л.
24. Новикова Е.А., Карсункина А.С. Платонов И.А. Создание поверхностно-слоистых сорбционных систем с варьируемой порозностью // VI

Всероссийский симпозиум "Разделение и концентрирование в аналитической и радиохимии" с международным участием. — 2021. — С. 66, 0,06 п/л.

25. Новикова Е.А., Карсункина А.С., Ушмодина Е.А., Мишина В.Е. Сорбционные системы блочного типа с варьируемой порозностью для концентрирования полярных органических соединений // Международная научно-практическая конференция молодых исследователей им. Д.И. Менделеева. — 2022. — Т. 1. — С. 270-272, 0,17 п/л.

26. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С. Концентрационные системы на основе блочно-порозного материала // Девятый всероссийский симпозиум и школа-конференции молодых ученых «Кинетика и динамика сорбционных процессов», приуроченные к 150-летию со дня рождения М.С. Цвета. — 2022. — С. 168-169, 0,12 п/л.

27. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С. Поверхностно-слоиные сорбционные системы на основе наноструктурированных сорбционно-активных материалов // XXI Всероссийская молодежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы, посвященная 300-летию РАН. — 2023. — С. 79-80, 0,12 п/л.

28. Новикова Е.А., Карсункина А.С. Блочно-порозные системы для аналитического контроля газовых сред // 26-я Международная выставка и деловой форум «Безопасность и охрана труда - 2022» (БИОТ-2022). — 2023. — С. 176-178, 0,17 п/л.

29. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С. Сравнение сорбционных свойств блочно-порозных сорбционных систем // Всероссийская конференция и школа-конференция молодых ученых "Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях". — 2023. — С. 112-113, 0,12 п/л.

30. Новикова Е.А., Карсункина А.С. Использование сорбционно-активных материалов для модифицирования блочно-порозных систем // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. — СПб: Университет ИТМО, 2023. — URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/10230>.

31. Новикова Е.А., Платонов И.А., Карсункина А.С. Концентрационные системы на основе блочно-порозного материала // Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2023». — 2023. — С. 29, 0,06 п/л.