

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2024-90-4-12-18>

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ БЛОЧНО-ПОРОЗНЫХ СИСТЕМ СОРБЦИОННО-АКТИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

© Игорь Артемьевич Платонов\*, Екатерина Анатольевна Новикова,  
Алеся Сергеевна Карсункина

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева, Россия, 443086, г. Самара, Московское ш., д. 34; \*e-mail: [platonov.ia@ssau.ru](mailto:platonov.ia@ssau.ru)

*Статья поступила 1 декабря 2023 г. Поступила после доработки 20 февраля 2024 г.  
Принята к публикации 22 февраля 2024 г.*

Изготовлены образцы модифицированных сорбционно-активными материалами блочно-порозных систем, различающиеся материалом основы (алюминий марки АД1 и сталь марки X20N80) и порозностью (0,6 и 0,75). Перед нанесением слоя сорбционно-активного материала на поверхности блочного образца был сформирован адсорбционный слой путем химического (для алюминия) и термического (для стали) оксидирования. В качестве модификаторов использовали активный уголь БАУ, Полисорб-1 и полиметилсилоксан как связующий компонент. При исследовании морфологии поверхности установлено, что наиболее равномерное распределение частиц сорбционно-активного материала наблюдается для Полисорба-1 на стальной поверхности. Для сравнения сорбционных характеристик полученных сорбционных систем при концентрировании летучих органических соединений были оценены степени извлечения при концентрировании и десорбции с использованием стандартной газовой смеси гексана с концентрацией 0,7 мг/л. Степени извлечения для исследуемых образцов сопоставимы с порошкообразными сорбентами и различаются в зависимости от массы нанесенного сорбционно-активного материала. Установлено, что наибольшие степени извлечения (61 %) достигнуты для образцов сорбционных систем с нанесенными на поверхность Полисорбом-1 и полиметилсилоксаном, так как оба вещества проявляют сорбционную активность по отношению к летучим органическим соединениям. При пятикратном использовании образцов сорбционных систем показано, что снижения степени извлечения при сорбции и десорбции не происходит, что говорит об эффективности их многократного использования.

**Ключевые слова:** сорбционные системы; концентрирование; Полисорб-1; блочно-порозный материал; летучие органические соединения; активный уголь БАУ; полиметилсилоксан.

## MODIFICATION OF BLOCK-POROUS SYSTEMS WITH SORPTION-ACTIVE MATERIALS

© Igor A. Platonov\*, Ekaterina A. Novikova, Alesya S. Karsunkina

Acad. S. P. Korolev Samara National Research University, 34, Moskovskoe sh., Samara, 443086, Russia;  
\*e-mail: [platonov.ia@ssau.ru](mailto:platonov.ia@ssau.ru)

*Received December 1, 2023. Revised February 20, 2024. Accepted February 22, 2024.*

The possibility of getting block-porous systems modified with sorption-active materials for the determination of volatile organic compounds was considered. The prepared samples of the block-porous systems differ in the base material (AD1 aluminum and X20N80 steel) and porosity (0.6 and 0.75). Before applying a layer of sorption-active material on the surface of the block sample, an adsorption layer was formed by chemical (for aluminum) oxidation and thermal (for steel) oxidation. Activated carbon BAU, Polysorb-1 and polymethylsiloxane as a binding agent were used as modifiers. When studying the surface morphology, it was found that the most uniform distribution of particles of the sorption-active material is observed for Polysorb-1 on the steel surface. To compare the sorption characteristics of the resulting sorption systems, the degree of recovery during concentration and desorption using a standard gas mixture of hexane with a concentration of 0.7 mg/liter was assessed. The values of the recovery degree for the studied samples are comparable to those of powdered sorbents and differ depending on the amount of the applied active layer. It is shown that the highest recovery degree (61%) is achieved for samples of sorption systems with Polysorb-1 and polymethylsiloxane applied to the surface, since both substances exhibit sorption activity towards volatile organic compounds. Moreover, it is shown that when samples of sorption systems

were used even five times, there was no decrease in the degree of extraction during sorption and desorption, which indicates the effectiveness of their repeated use.

**Keywords:** sorption systems; concentration; Polysorb-1; block-porous material; volatile organic compounds; BAU activated carbon; polymethylsiloxane.

## Введение

На сегодняшний день эколого-аналитический контроль воздушных сред, а также создание методик определения загрязнителей различного рода являются актуальными направлениями исследований. Одной из стадий при определении токсичных соединений в атмосферном воздухе является концентрирование, так как содержание загрязнителей может составлять 0,1 – 0,5 мг/м<sup>3</sup>.

Сорбционное концентрирование характеризуется такими преимуществами, как возможность сочетания с последующими методами анализа, дешевизна, высокая избирательность разделения, возможность миниатюризации сорбционных систем (СС) концентрирования, высокий коэффициент концентрирования и др. [1, 2]. При сорбционном концентрировании в качестве сорбентов обычно используют объемно-пористые материалы, которые, в свою очередь, должны обладать такими характеристиками, как высокая скорость восстановления сорбционных свойств, устойчивость к химическим и механическим воздействиям, экономическая эффективность, высокая площадь поверхности [3].

Несмотря на это, существенными недостатками применения мелкодисперсных материалов служат увеличение гидро- и газодинамического сопротивления и низкая скорость массообменных процессов, что ограничивает использование таких материалов для решения практических задач. Альтернативой является применение поверхностно-слоистых сорбентов [4 – 9], в частности, блочно-порозных конструкций с нанесенным на поверхность сорбционно-активным материалом.

Блочно-порозная система, известная также как «металлорезина», разработана учеными Самарского университета и получила свое название благодаря сочетанию свойств двух материалов. Для получения блочно-порозного образца используют дозированную по весу металлическую проволоку, спиралевидные заготовки которой прессуют до блока, а сам материал наделен демпфирующими свойствами, которые соотносятся со свойствами резины. Высокие значения удельной площади поверхности и возможность варьирования порозности обуславливают широкое использование образцов блочно-порозного типа для улавливания летучих соединений.

Известно применение таких систем в качестве демпфирующего и шумоподавляющего ма-

териала, носителя для микро- и наночастиц катализаторов, а также в качестве сорбционных систем для определения высококипящих органических соединений [10 – 14]. Особенности блочно-порозных систем являются возможность изменения порозности и, соответственно, газодинамического сопротивления слоя материала, а также модифицирования поверхности путем нанесения полимерного сорбционно-активного материала [15] или оксидирования различными методами.

В данной работе для создания сорбционных систем в качестве сорбционно-активных материалов выбраны активный уголь БАУ и Полисорб-1, обладающие большой удельной площадью поверхности, что объясняет их широкое применение для улавливания органических примесей из газовых смесей, в том числе из атмосферного воздуха.

## Экспериментальная часть

Были изготовлены сорбционные системы двух типов: на основе алюминия и на основе стали согласно методике [15]. Полученные экспериментальные образцы (ЭО) различались материалом основы и порозностью.

Порозность образца П была рассчитана по формуле:

$$\Pi = 1 - V_{\text{пр}}/V_{\text{бл}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{пр}}$  — объем проволоки, мм<sup>3</sup>;  $V_{\text{бл}}$  — объем блока сорбционной системы, мм<sup>3</sup>,

$$V_{\text{бл}} = V_{\text{пр}}/(1 - \Pi) = h_{\text{бл}}\pi D^2/4, \quad (2)$$

где  $\Pi$  — порозность блока;  $h_{\text{бл}}$  — высота блока сорбционной системы, мм;  $D$  — диаметр блока сорбционной системы, мм,

$$h_{\text{бл}} = \frac{4V_{\text{пр}}}{\pi D^2}. \quad (3)$$

Основные параметры ЭО блочно-порозных систем представлены в табл. 1.

Подготовка поверхности ЭО заключалась в образовании пористого оксидного слоя: для алюминиевых блоков — путем химического оксидирования в 5 %-ном щелочном растворе при комнатной температуре, для блоков на основе стали — путем термического оксидирования в те-

**Таблица 1.** Параметры блочно-порозных систем**Table 1.** Parameters of block-porous systems

Параметр	Алюминиевые образцы		Стальные образцы
Марка сплава	АД1		X20H80
Диаметр блока, $d_{бр}$ , мм	8		
Плотность материала, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,7		7,8
Диаметр проволоки, $d_{пр}$ , мм	0,35		0,13
Высота блока, $h_{бр}$ , мм	20	12	20
Порозность, П	0,75	0,6	0,75
Масса проволоки, $m_{пр}$ , г	0,67	0,63	2
Длина проволоки, $l_{пр}$ , мм	2500	2400	19 000
Площадь поверхности образца, $S$ , мм <sup>2</sup>	3000	2700	8000

**Таблица 2.** Полученные образцы сорбционных систем**Table 2.** Obtained samples of sorption systems

Обозначение	Материал основы	Порозность	Сорбционно-активный материал
АлАУ-0.75	Алюминий	0,75	Активный уголь БАУ
АлАУ-0.6		0,6	Активный уголь БАУ
АлАУ-ПМС		0,75	Активный уголь БАУ + ПМС
АлПс-0.75		0,75	Полисорб-1
АлПс-0.6		0,6	Полисорб-1
Ал(ПМС)Пс-0.75		0,75	Полисорб-1 + ПМС
СтАУ-0.75	Сталь	0,75	Активный уголь БАУ
СтАУ-ПМС			Активный уголь БАУ + ПМС
СтПс-0.75			Полисорб-1
Ст(ПМС)Пс-0.75			Полисорб-1 + ПМС

чение 3 ч при температуре 500 °С в муфельной печи.

Образцы на основе алюминия и стали также подвергали дополнительному нанесению тонкой полимерной пленки из полиметилсилоксана (ПМС) в качестве связующего компонента. Для равномерного распределения пленки по поверхности образцы кондиционировали при температуре 120 °С в течение 5 ч.

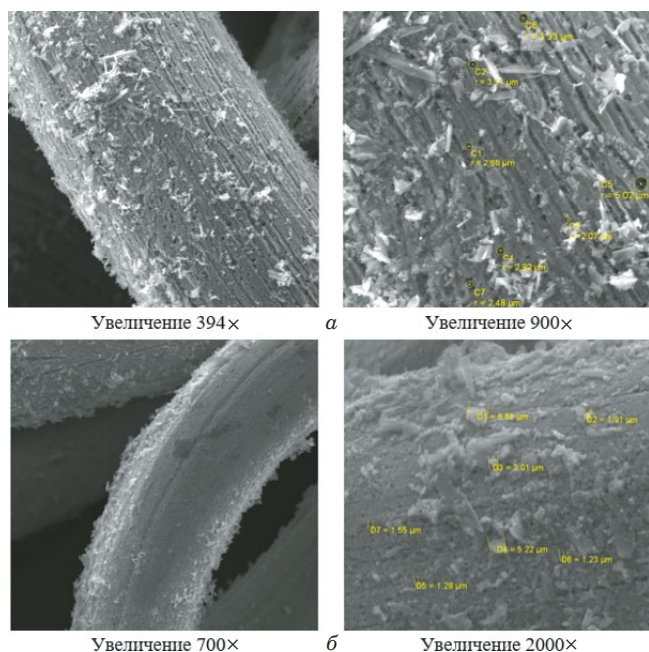
Модифицирование поверхности экспериментального образца проводили методом суспензионного насыщения [4]. Для этого через экспериментальный блок, помещенный в шприц, пропускали суспензию Полисорба-1 или активного угля БАУ в этаноле со скоростью 5 мл/мин с последующим испарением растворителя. После пропускания каждой порции в 5 мл образец высушивали до постоянной массы, пропускание продолжали до прекращения прироста массы сорбционно-активного материала.

Перед приготовлением суспензии гранулы сорбента измельчали механически (для Полисорба-1 исходный размер частиц составлял 50 мкм, для активного угля БАУ — 30 – 50 мкм) с последующей обработкой в ультразвуковой ванне

в течение 15 мин. Полученную суспензию Полисорба-1 с фракцией частиц 10 – 20 мкм и их концентрацией 0,2 г/мл пропускали через экспериментальный образец с последующим термостатированием при 70 °С до достижения постоянной массы. Суспензия активного угля БАУ, механически измельченная и осажденная, с размером частиц от 3 до 10 мкм (размер частиц сорбционно-активного материала оценивали турбидиметрическим методом), является наиболее подходящим вариантом для проведения модифицирования с возможностью оценки массы осажденного материала. Полученную суспензию наносили на экспериментальный образец аналогично Полисорбу-1.

Таким образом, получены ЭО, различающиеся блочно-порозным материалом основы, порозностью и сорбционно-активным материалом на поверхности (табл. 2).

Для получения газовой смеси, содержащей микропримеси летучего органического соединения (в качестве анализата был взят гексан), применяли объемметрический метод. Концентрация гексана в используемой газовой смеси составила 0,7 мг/л.



**Рис. 1.** Электронное изображение поверхности блочно-порозных сорбционных систем, модифицированных активным углем БАУ: *a* — сорбционные системы на основе алюминия; *б* — на основе стали

**Fig. 1.** Electron image of the surface of block-porous sorption systems modified with BAU active carbon: *a* — aluminum based sorption systems; *b* — steel based sorption systems

Концентрирование гексана из газовой смеси проводили путем пропускания через исследуемые образцы аликвот стандартной газовой смеси гексана в воздухе объемом 3 мл. Общий объем пропускаемой газовой смеси составил 30 мл.

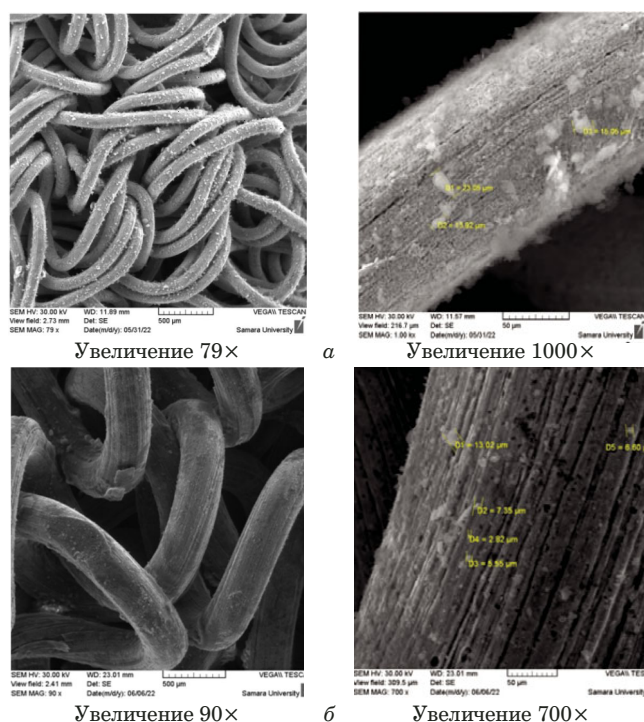
Летучее органическое соединение извлекали путем термодесорбции в статическом режиме. Для этого экспериментальный образец помещали в пенициллиновый флакон и металлический патрон, затем нагревали в течение 30 мин при температуре 120 °С. Отобранную пробу объемом 0,5 мл вводили в узел ввода хроматографа.

После десорбции образцы подвергали кондиционированию в проточной системе при температуре 120 °С в течение 5 ч, после чего проверяли отсутствие летучих примесей в условиях, идентичных условиям проведения десорбции.

Для сравнительной оценки сорбционных свойств стадии сорбции и десорбции проводили также для порошкообразных активного угля БАУ и Полисорба-1.

Количественный анализ полученных газовых смесей проводили с использованием газового хроматографа «Кристалл 5000.1» с пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой HP-FFAP (50 м × 0,32 мм × 0,52 мкм).

Морфологию поверхности сорбционных систем изучали с помощью растрового сканирующего электронного микроскопа TESCAN Vega



**Рис. 2.** Электронное изображение поверхности блочно-порозных сорбционных систем, модифицированных Полисорбом-1: *a* — сорбционные системы на основе алюминия; *б* — на основе стали

**Fig. 2.** Electronic image of the surface of block-porous sorption systems modified by Polysorb-1: *a* — aluminum based sorption systems; *b* — steel based sorption systems

SB с микрорентгеноспектральной приставкой INCAx-Act.

## Обсуждение результатов

На рис. 1 представлены фотографии поверхности ЭО с нанесенным активным углем БАУ.

После нанесения частиц сорбционно-активного материала на поверхность образцов блочно-порозного типа наблюдается образование адсорбционного слоя.

При образовании оксидного слоя стальные образцы приобретали серую матовую текстуру. Нанесенный на поверхность сорбционных систем на основе стали Полисорб-1 (рис. 2) представлял собой белый налет с локально образующимися агломератами преимущественно в местах соприкосновения витков проволоки.

Распределение частиц Полисорба-1 на поверхности оксидированной стали более равномерное, чем на поверхности оксидированного алюминия, что, скорее всего, связано с особенностями структуры поверхности.

После пропускания суспензии с сорбционно-активным материалом полиметилсилоксан на поверхности проволоки распределяется неравномерно: наблюдаются скопление частиц полимерного агента и агломерация частиц Полисорба-1 в

**Таблица 3.** Значения массы сорбционно-активного материала, нанесенного на различные ЭО на основе алюминия и стали**Table 3.** Mass value of the deposited sorption-active material for different experimental aluminum- and steel-based samples

Параметры	Образец СС					
	АлПс-0.75	АлПс-0.6	СтПс-0.75	АлАУ-0.75	АлАУ-0.6	СтАУ-0.75
Общая масса сорбента, $m_c$ , мг	4,2	1,2	3,6	2,2	1,5	3,9
Масса сорбента на единицу поверхности, $\text{мкг/мм}^2$	1,40	0,44	0,45	0,73	0,56	0,49

**Таблица 4.** Сорбционные характеристики исследуемых образцов на основе алюминия и стали**Table 4.** Sorption characteristics of aluminum- and steel-based samples under study

	$R_{\text{сорб}}, \%$	$R_{\text{дес}}, \%$
<b>ЭО на основе алюминия</b>		
АлПс-0.75	84	32
Ал(ПМС)Пс-0.75	98	56
АлАУ-0.75	99	28
Ал(ПМС)АУ-0.75	99	10
<b>ЭО на основе стали</b>		
СтПс-0.75	78	17
Ст(ПМС)Пс-0.75	99	61
Ст-ПМС [2]	93	33
СтАУ-0.75	81	28
СтАУ-ПМС	99	9
Порошок АУ	100	2
Порошок Полисорб-1	96	70

местах соприкосновения витков. Распределение частиц Полисорба-1 по поверхности также неравномерно.

Наилучшая равномерность распределения была достигнута при нанесении Полисорба-1 на поверхность сорбционных блоков на основе стали.

Значения массы сорбционно-активного материала, нанесенного на алюминиевые и стальные блочно-порозные системы, и ее значение на единицу поверхности блочно-порозной системы приведены в табл. 3.

При сравнении образцов с одинаковой порозностью, но разной площадью поверхности масса активного угля БАУ на единицу поверхности алюминиевого образца оказалась в 1,5 раза больше, чем для стального, и в 3 раза больше при нанесении Полисорба-1.

При сравнении результатов модифицирования образцов одного материала с разной порозностью можно наблюдать, что уменьшение порозности приводит к снижению массы сорбированного модификатора, что может быть связано с уменьшением доступа суспензии к поверхности материала.

Прирост массы сорбционно-активного материала по отношению к площади поверхности образца выше для образца на основе алюминия порозностью 0,75.

Для дальнейшего исследования сорбционно-десорбционных свойств систем на основе алюминия были выбраны образцы с наибольшей порозностью, так как для них количество нанесенного сорбционно-активного компонента было наибольшим.

Для оценки сорбционных свойств исследуемых образцов через сорбционные системы пропускали газовую смесь с концентрацией гексана 0,7 мг/л. По результатам обработки полученных данных были рассчитаны степени извлечения при сорбции и десорбции (табл. 4).

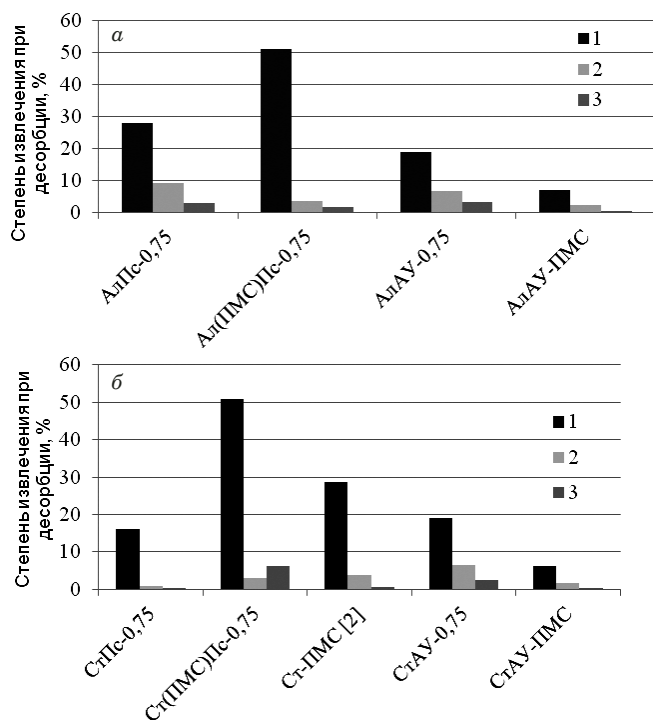
Степени сорбции при использовании сорбционных систем на основе стали и алюминия порозностью 0,75 различаются в зависимости от массы активного компонента на единицу поверхности, однако степени извлечения сопоставимы.

Добавление ПМС в качестве связующего не привело к увеличению степени извлечения для образцов, модифицированных активным углем БАУ. Это может быть связано с тем, что при дополнительном кондиционировании с образцов был удален ПМС вместе с активным углем БАУ.

Но в то же время наилучшие результаты при концентрировании гексана были достигнуты с использованием композиционных сорбционных систем на основе оксидированной стали с нанесенным на поверхность полимерным сорбентом Полисорб-1 и ПМС в качестве связующего, поскольку наряду с Полисорбом-1 полимерная пленка ПМС также проявляет сорбционные свойства. При данных параметрах сорбционных систем степень извлечения достигает 60 %, что сопоставимо со степенью извлечения при использовании порошкообразного Полисорба-1.

Сравнение материалов блочно-порозного типа и активного угля БАУ в порошкообразной форме показало, что сорбционные системы позволяют достичь больших значений степени извлечения.

Для образцов оксида алюминия АлПс-0.75 и АлПс-0.6 с одинаковой площадью поверхности и разной порозностью степень извлечения при



**Рис. 3.** Степень извлечения (%) при десорбции (три первых извлечения) для исследуемых образцов на основе алюминия (а) и стали (б)

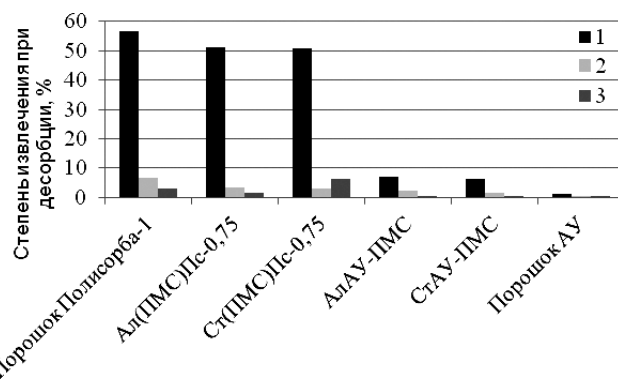
**Fig. 3.** Recovery degree during desorption (the first three extractions) for the analyzed aluminum-based (a) and steel-based samples (b)

сорбции меняется незначительно, в то время как степень извлечения при десорбции уменьшается. Основной причиной может быть уменьшение массообмена при уменьшении значения порозности, из-за чего проведение процесса в статических условиях осложняет переход сорбата с поверхности образца в газовую фазу.

При сравнении полученных результатов с литературными данными [10] было установлено, что стальные образцы с нанесенной на поверхность полимерной пленкой ПМС проявляют лучшие сорбционные свойства, чем образцы на основе Полисорба-1, но в то же время степень извлечения при десорбции в 2 раза меньше по сравнению с композиционными сорбентами на основе Полисорба-1 с ПМС в качестве связующего.

Поскольку одним из важных критериев при выборе сорбента является эффективность десорбции, оценивали степень извлечения при первых трех циклах (рис. 3, 4).

Наилучшие показатели при оценке количества десорбированного с поверхности сорбата для трех первых циклов десорбции были достигнуты для образцов с ПМС в качестве связующего и составили 50 % уже после первого цикла десорбции, что сопоставимо со степенью извлечения при использовании порошкообразного Полисорба-1.



**Рис. 4.** Степень извлечения (%) при десорбции (три первые извлечения) для исследуемых образцов на основе стали, алюминия, порошкообразных сорбентов и активного угля БАУ

**Fig. 4.** Recovery degree (%) during desorption (the first three extractions) for the analyzed steel-based samples, aluminum, powdered sorbents and active carbon BAU

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 трехкратном использовании сорбционных систем не наблюдается снижения массы сорбированного гексана, что говорит о возможности их неоднократного использования.

## Заключение

Были изготовлены сорбционные системы с блочно-порозной основой и активным углем БАУ и Полисорбом-1 в качестве сорбционно-активных материалов.

Сравнение сорбционных систем и порошкообразных сорбентов показало, что блочно-порозные образцы позволяют достичь больших значений степени извлечения благодаря своей структуре, которая содержит больше свободного пространства для массообмена при десорбции.

Оценены сорбционные свойства полученных образцов на примере кондиционирования микропримесей гексана. Влияние материала основы, а также применения ПМС в качестве связующего на сорбционные характеристики не выявлено.

При уменьшении порозности увеличивается степень извлечения при сорбции, однако уменьшается степень извлечения при десорбции из-за ее проведения в статических условиях, что затрудняет процесс перехода гексана в газовую фазу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цизин Г. И. Развитие методов концентрирования микрокомпонентов в России (1991 – 2010 гг.) / Журн. аналит. химии. 2011. Т. 66. № 11. С. 1135 – 1143.

2. **Золотов Ю. А.** Разделение и концентрирование в химическом анализе / Росс. хим. журн. 2005. Т. XLIX. № 2. С. 6 – 10.
3. **Li M., Wang Ch., O'Connell M. J.** Carbon nanosphere adsorbents for removal of arsenate and selenate from water / Environ. Sci.: Nano. 2015. N 3. P. 245 – 250. DOI: 10.1039/C4EN00204K
4. **Родинков О. В., Москвин Л. Н.** Поверхностно-слойные композиционные сорбенты для экспрессного концентрирования летучих органических веществ из водных и газовых сред / Журн. аналит. химии. 2012. Т. 67. № 10. С. 908 – 916.
5. **Родинков О. В., Карпов Д. С., Москвин Л. Н.** Композиционные поверхностно-слойные сорбенты углеродно-фторопластовые сорбенты для экспрессного концентрирования органических веществ из водных растворов / Журн. аналит. химии. 2007. Т. 62. № 12. С. 1238 – 1244.
6. **Родинков О. В., Карпов Д. С., Постнов В. Н., Москвин Л. Н.** Композиционные гидрофобные сорбенты для концентрирования летучих органических веществ из водных растворов / Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 4: Физика, химия. 2007. № 4. С. 77 – 83.
7. **Берёзкин В. Г., Никитина Н. С.** Поверхностно-слойные сорбенты в газовой хроматографии / Успехи химии. 1971. Т. 40. № 5. С. 927 – 942. DOI: 10.1070/RC1971v040n05ABEH001930
8. **Берёзкин В. Г., Никитина Н. С.** Поверхностно-слойные сорбенты в газовой хроматографии / Газовая хроматография в нефтехимии. — М.: Наука, 1975. С. 118 – 141.
9. **Родинков О. В., Бугайченко А. С., Москвин Л. Н.** Композиционные сорбенты для сорбционного и хроматомембранного концентрирования и выделения летучих органических веществ из водной и газовой сред / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. Т. 75. № 8. С. 11 – 17.
10. **Родинков О. В., Рачковский И. Н., Москвин Л. Н.** Хроматомембранное газоэкстракционное генерирование стандартных газовых смесей с применением композиционных угольно-фторопластовых матриц / Журн. аналит. химии. 2008. Т. 63. № 9. С. 941 – 947.
11. **Воронов Д. А., Погорельский Н. Н.** Конструктивное решение комбинированного демпфера опор роторов газотурбинных двигателей / Проблемы и перспективы науки. 2018. № 2(4). С. 60 – 63.
12. **Иголкин А. А., Изжеуров Е. А., Сафин А. И.** Применение пористого материала «металлорезина» в гидрогазовых системах энергетических установок для шумоподавления и термостабилизации / Судостроение. 2012. № 5(804). С. 46 – 48.
13. **Тупикова Е. Н.** Платиновые металлы на металлических носителях — каталитические системы окислительных и гидрогенизационных процессов: дис. ... канд. хим. наук. Самара, 2003. 175 с.
14. **Платонов И. А., Новикова Е. А., Тупикова Е. Н., Карсункина А. С.** Определение высококипящих органических соединений с использованием блочно-порозных сорбционных систем / Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 4. С. 478 – 485. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3630
15. **Платонов И. А., Новикова Е. А., Карсункина А. С.** Поверхностно-слойные блочно-порозные сорбционные системы на основе полиметилсилоксана / Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 5. С. 623 – 629. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3768

## REFERENCES

1. **Tsysis G. I.** Methods of the preconcentration of trace components: development in Russia (1991 – 2010) / J. Anal. Chem. 2011. Vol. 66. N 11. P. 1020 – 1028. DOI: 10.1134/S1061934811110141
2. **Zolotov Yu. A.** Separation and preconcentration in chemical analysis / Ross. Khim. Zh. 2005. Vol. XLIX. N 2. P. 6 – 10 [in Russian].
3. **Li M., Wang Ch., O'Connell M. J.** Carbon nanosphere adsorbents for removal of arsenate and selenate from water / Environ. Sci.: Nano. 2015. N 3. P. 245 – 250. DOI: 10.1039/C4EN00204K
4. **Rodinkov O. V., Moskvin L. N.** Surface-layer composite sorbents for the rapid preconcentration of volatile organic substances from aqueous solutions and gas atmospheres / J. Anal. Chem. 2012. Vol. 67. N 10. P. 814 – 822. DOI: 10.1134/S1061934812100073
5. **Rodinkov O. V., Karpov D. S., Moskvin L. N.** Composite surface-layer sorbents carbon-fluoroplastic sorbents for express concentration of organic substances from aqueous solutions / J. Anal. Chem. 2007. Vol. 62. N 12. P. 1116 – 1121. DOI: 10.1134/S1061934807120027
6. **Rodinkov O. V., Karpov D. S., Postnov V. N., Moskvin L. N.** Composite hydrophobic sorbents for concentrating volatile organic substances from aqueous solutions / Vestn. S.-Peterburg. Univ. Fiz. Khimiya. 2007. N 4. P. 77 – 83 [in Russian].
7. **Berezkin V. G., Nikitina N. S.** Surface layer Sorbents in Gas Chromatography / Russ. Chem. Rev. 1971. Vol. 40. N 5. P. 456 – 464. DOI: 10.1070/RC1971v040n05ABEH001930
8. **Berezkin V. G., Nikitina N. S.** Surface-layer sorbents in gas chromatography / Gas chromatography in petrochemistry. — Moscow: Nauka, 1975. P. 118 – 141 [in Russian].
9. **Rodinkov O. V., Bugaichenko A. S., Moskvin L. N.** Composite sorbents for sorption and chromatomembrane concentration and separation of volatile organic substances from aqueous and gaseous media / Industr. Lab. Mater. Diagn. 2009. Vol. 75. N 8. P. 11 – 17 [in Russian].
10. **Rodinkov O. V., Rachkovsky I. N., Moskvin L. N.** Chromatomembrane gas extraction generation of standard gas mixtures using composite carbon-fluoroplastic matrices / J. Anal. Chem. 2008. Vol. 63. N 9. P. 857 – 862. DOI: 10.1134/S1061934808090104
11. **Voronov D. A., Pogorelskii N. N.** Design solution of a combined damper for gas turbine engine rotor supports / Probl. Persp. Nauki. 2018. N 2(4). P. 60 – 63 [in Russian].
12. **Igolkin A. A., Izzheurov E. A., Safin A. I.** The use of porous material “metal rubber” in hydrogas systems of power plants for noise reduction and thermal stabilization / Sudostroenie. 2012. N 5(804). P. 46 – 48 [in Russian].
13. **Tupikova E. N.** Platinum metals on metal supports — catalytic systems for oxidation and hydrogenation processes. Candidate's thesis. — Samara, 2003. — 175 p. [in Russian].
14. **Platonov I. A., Novikova E. A., Tupikova E. N., Karsunkina A. S.** Determination of high-boiling organic compounds using block-porous sorption systems / Sorb. Khromatogr. Prots. 2021. Vol. 21. N 4. P. 478 – 485 [in Russian]. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3630
15. **Platonov I. A., Novikova E. A., Karsunkina A. S.** Polymethylsiloxane-based surface-layer block-porous sorption systems / Sorb. Khromatogr. Prots. 2021. Vol. 21. N 5. P. 623 – 629 [in Russian]. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3768