



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.07

doi: 10.17308/sorpchrom.2023.23/11543

Исследование сорбционных процессов в хромато-десорбционных системах на основе наноструктурированного полимерного сорбента Полисорб-1

**Игорь Артемьевич Платонов[✉], Екатерина Анатольевна Новикова,
Ирина Николаевна Колесниченко, Алеся Сергеевна Карсункина,
Астхик Эдиковна Маргарян**

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева,
Самара, Россия, pia@ssau.ru[✉]

Аннотация. Необходимость оптимизировать различные способы получения стандартных газовых смесей обусловлена повышением точности и экспрессности при проведении калибровки аналитических приборов. В аналитической практике существует множество способов получения газовых смесей, содержащих летучие органические соединения, соответствующих существующим стандартам для метрологического обеспечения газового анализа, в частности – хромато-десорбционный метод. Целью работы являлось изучение процессов, протекающих в хромато-десорбционной системе на основе наноструктурированного полимерного сорбента Полисорб-1, для оптимизации хромато-десорбционного способа получения стандартных газовых смесей. Объектом исследования являются хромато-десорбционные системы, представляющие собой металлические трубки различной длины, заполненные наноструктурированным полимерным сорбентом Полисорб-1.

В данной работе для увеличения экспрессности процесса получения СГС предложено исключить хромато-сорбционную стадию. Вместо нее в начальный участок системы с помощью автоматического дозатора вносили некоторый объем летучего компонента (гексана) в жидком состоянии объемом 10 – 500 мкл, после этого ХДС подключали к компрессору воздуха.

Экспериментальное изучение полученных ХДС заключалось в варьировании скорости потока газа, проходящего через систему, длины ХДС и количества гексана, помещенного в систему. Установлено, что уменьшение скорости потока газа, проходящего через ХДС, приводит к увеличению времени поддержания квазипостоянной концентрации аналита в газовой фазе, при этом среднее значение концентрации меняется незначительно. Увеличение количества гексана внесенного в систему приводит к увеличению концентрации аналита в получаемой смеси и увеличению времени поддержания постоянной концентрации. Однако, при достижении определённого количества вносимого гексана (в исследованной системе оно составило 100 мкл) концентрация летучего компонента в получаемой газовой смеси не изменяется, при этом увеличивается время поддержания постоянной концентрации.

Ключевые слова: стандартные газовые смеси, полимерные сорбенты, летучие органические соединения, хромато-десорбционная система, аналитический контроль.

Для цитирования: Платонов И.А., Новикова Е.А., Колесниченко И.Н., Карсункина А.С., Маргарян М.Э. Исследование сорбционных процессов в хромато-десорбционных системах на основе наноструктурированного полимерного сорбента Полисорб-1 // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2023. Т. 23, № 4. С. 495-503. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11543>



Original article

A study of sorption processes in chromato-desorption systems based on nanostructured polymer sorbent Polysorb-1

Igor A. Platonov[✉], Ekaterina A. Novikova, Irina N. Kolesnichenko,
Alesya S. Karsunkina, Asthik E. Margaryan

Korolev Samara National Research University, Samara, Russia, pia@ssau.ru[✉]

Abstract. The optimization of various methods for obtaining standard gas mixtures is required due to increased accuracy and speed when calibrating analytical instruments. In analytical practice, there are many methods for obtaining gas mixtures containing volatile organic compounds that meet existing standards for metrological support of gas analysis, in particular, the chromatography-desorption method.

The purpose of the study was investigation of the processes occurring in a chromatography-desorption system based on the nanostructured polymer sorbent Polysorb-1, in order to optimize the chromatography-desorption method for producing standard gas mixtures.

The object of the study was chromatography-desorption systems, metal tubes of various lengths filled with nanostructured polymer sorbent Polysorb-1. In this study, it was proposed to eliminate the chromatography-sorption stage to increase the speed of the process of obtaining SGM. Instead, a certain volume of a volatile component (hexane) in a liquid state with a volume of 10–500 μl was added to the initial section of the system using an automatic dispenser. After this, the CDS was connected to an air compressor.

The experimental study of the resulting CDS consisted of varying the gas flow rate passing through the system, the length of the CDS, and the amount of hexane placed in the system.

It has been established that a decrease in the flow rate of gas passing through the CDS led to an increase in the time of maintaining a quasi-constant concentration of the analyte in the gas phase, while the average concentration changed slightly. An increase in the amount of hexane introduced into the system led to an increase in the concentration of the analyte in the resulting mixture and an increase in the time of maintaining a constant concentration. However, when a certain amount of introduced hexane was reached (in the studied system it was 100 μl), the concentration of the volatile component in the resulting gas mixture did not change, and the time to maintain a constant concentration increased.

Keywords: standard gas mixtures, polymer sorbents, volatile organic compounds, chromatography-desorption system, analytical control.

For citation: Platonov I.A., Novikova E.A., Kolesnichenko I.N., Karsunkina A.S., Margaryan A.E. A study of sorption processes in chromato-desorption systems based on nanostructured polymer sorbent Polysorb-1. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2023. 23(4): 495-503. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11543>

Введение

Анализ газовых смесей различного происхождения играет важную роль в таких областях, как мониторинг окружающей среды, промышленная безопасность, здравоохранение, контроль технологических процессов и т.п. [1].

В связи с увеличением количества антропогенных факторов загрязнения окружающей среды возникает потребность в точном и экспрессном анализе воздуха для контроля содержания примесей токсичных веществ. Развитие нанотехнологий и микроэлектронномеханических систем позволило создать портативные аналитические приборы, которые с успехом

справляются с этой задачей. Но оптимизации требует не только инструментальное, но и методическое обеспечение хроматографического анализа [2, 3].

Одной из стадий анализа газовых сред, непосредственно влияющих на точность и экспрессность анализа, является проведение калибровки прибора, поэтому совершенствование способов получения стандартных газовых смесей продолжает оставаться актуальной задачей аналитической химии [4]. В аналитической практике существует много способов получения газовых смесей, содержащих летучие



Таблица 1. Характеристики хромато-десорбционных систем

Table 1. Characteristics of chromatography-desorption systems

Параметр	Номер ХДС		
	1	2	3
Длина системы, см	12	24	11
Диаметр поперечного сечения системы, мм	3	3	7
Масса сорбента, г	0.2117	0.4369	0.9071
Объем системы, занятый сорбентом, см ³	0.8	1.6	4.2
Плотность набивки, г/см ³	0.271 ± 0.003		

органические соединения (ЛОС), отвечающим существующим стандартам для метрологического обеспечения газового анализа, которые являются альтернативой использованию сертифицированных сжатых газов [5-9]. Одним из таких методов является хромато-десорбционный метод, который основан на равновесном насыщении ЛОС потоком инертного газа, проходящего через хромато-десорбционную систему (ХДС), представляющую из себя трубчатый проточный контейнер, заполненный сорбентом с известным количеством ЛОС [10-12]. С помощью ХДС можно получать газовые потоки с микроконцентрациями алифатических и ароматических углеводородов, галогенсодержащих органических соединений [13].

Целью работы являлось изучение сорбционных процессов, протекающих в хромато-десорбционной системе на основе наноструктурированного полимерного сорбента Полисорб-1, для оптимизации процесса получения газовых смесей хромато-десорбционным способом.

Экспериментальная часть

Объектом исследования являлись хромато-десорбционные системы, представляющие собой металлические трубки различной длины, заполненные полимерным сорбентом Полисорб-1. Характеристики исследуемых систем представлены в таблице 1. Перед экспериментальным исследованием система подвергалась кондиционированию в динамическом режиме при температуре 120°C непрерывно в течение 5 часов для удаления летучих примесей.

Количественный анализ газовых смесей на выходе из хромато-десорбционной системы проводился газохроматографическим методом на газовом хроматографе «Кристалл 2000» с пламенно-ионизационным детектором и насадочной колонкой 1 м×3 мм, заполненной сорбентом Хроматон с 10%-ой пропиткой диизононилфталата.

Работа ХДС осуществлялась следующим образом: создавался поток воздуха компрессором, расход которого устанавливался регулятором расхода газа. Получаемый поток воздуха с определенной заданной скоростью направлялся в ХДС. На выходе из ХДС устанавливался капилляр с силиконовой трубкой 5, из которой осуществлялся отбор пробы объемом 0.5 см³ каждые 5 минут. Перед началом работы проводился количественный анализ создаваемого компрессором потока воздуха для подтверждения отсутствия фонового содержания гексана.

Калибровочная смесь производится в два этапа [13].

1. Первая стадия – приготовление сорбента, заполнение трубчатой системы, равновесное насыщение сорбента микропримесями ЛОС при температуре, превышающей рабочие температуры десорбции системы.

2. Вторая стадия включает десорбцию ЛОС потоком газа при температуре десорбции ниже температуры насыщения.

Таким образом, путем регулирования температуры десорбции, изменяется кон-

станта распределения для веществ в системе сорбент-газ и обеспечивают получение газовой смеси с заданным содержанием ЛОС, при этом не требуется дополнительное разбавление газовой смеси и изменения других параметров системы. Особенности работы и закономерности функционирования хромато-десорбционных систем описывает теория адсорбционного равновесного концентрирования [14].

Для увеличения экспрессности процесса получения газовых смесей исключали хромато-сорбционную стадию. Вместо этого насыщение проводили следующим образом: в начальный участок системы с помощью автоматического дозатора вносили калиброванный объем летучего компонента (гексана) в жидком состоянии объемом 10-500 мкл. После этого ХДС подключали к компрессору воздуха, после чего сразу проводили отбор первой пробы газовой смеси.

Получение стандартной газовой смеси летучего органического соединения с концентрацией гексана 0.65 мг/дм^3 для проведения калибровки газового хроматографа осуществляли статическим объеметрическим методом в газонепроницаемых инертных мешках «Tedlar» объемом 1 дм^3 .

Для определения сорбционной ёмкости ХДС проводили концентрирование летучего соединения до полного насыщения сорбента, то есть до выравнивания исходной концентрации летучего органического соединения и концентрации на выходе из системы. Количество сорбируемого гексана оценивали по разнице масс в исходной и полученной газовой смеси.

Сорбционную ёмкость a_c (мг/г) рассчитывалась по формуле:

$$a_c = \left[\sum_{i=1}^n (C_0 - C_{\Gamma\Phi_i}) \times V_{\text{ал}} \times 10^{-3} \right] / m_{\text{сорб}},$$

где $V_{\text{ал}}$ – объем аликвоты отбираемой газовой фазы, см^3 ; $m_{\text{сорб}}$ – масса сорбента, внесенная в ХДС, г; n – количество аликвот.

Время поддержания постоянной концентрации $\tau_{5\%}$ (мин) определяли как время, в течение которого СКО концентрации гексана в газовой смеси невыходе из ХДС не превышает 5%.

Расчет объема получаемой газовой смеси с постоянной концентрацией аналита $V_{\Gamma\Phi}$ проводился по формуле:

$$V_{\Gamma\Phi} = \tau_{5\%} \times F$$

где $\tau_{5\%}$ – время поддержания постоянной концентрации, мин; F – объемная скорость потока газа, пропускаемого через систему, $\text{дм}^3/\text{мин}$.

Обсуждение результатов

В ходе экспериментального исследования хромато-десорбционных систем варьировали следующие параметры:

- объемная скорость потока газа, проходящего через систему, $\text{см}^3/\text{мин}$;
- длина хромато-десорбционной системы (количество эквивалентных теоретических тарелок);
- количество гексана, помещенного в систему на хромато-сорбционной стадии.

Экспериментально полученные зависимости концентрации гексана в газовых смесях от скорости пропускания газа через ХДС 1-3 показано на рисунках 1-3. Результаты оценки рабочих характеристик системы 1 представлено в таблице 1. Как видно из представленных данных, увеличение скорости газового потока с 100 до $400 \text{ см}^3/\text{мин}$ приводит к снижению концентрации гексана в газовой смеси с 0.061 до 0.042 мг/дм^3 , но при этом практически отсутствует период поддержания постоянства концентрации. Такое состояние системы обусловлено интенсивным процессом перераспределения аналита в системе сорбент-газ при скорости потока $400 \text{ см}^3/\text{мин}$, при этом большая часть аналита десорбируется в первые 5-10 минут. Снижение скорости газа до $100 \text{ см}^3/\text{мин}$ приводит к тому, что система медленнее выходит на рабочий режим, но при этом время поддержания квазипостоянной концентрации увеличивается с 15 до 50 мин. Для практического использования

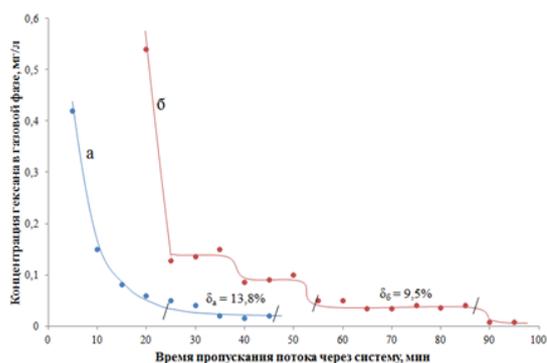


Рис. 1. Зависимость концентрации гексана в газовой фазе от времени пропускания потока воздуха через ХДС № 1

Fig. 1. Dependence of hexane concentration in the gas phase on the time of passing the air flow through the CdS No. 1

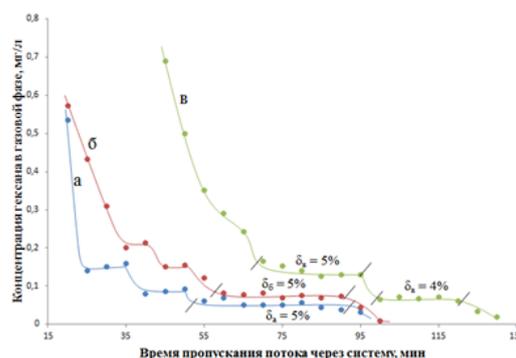


Рис. 2. Зависимость концентрации гексана в газовой фазе от времени пропускания воздуха через систему № 1

Fig. 2. Dependence of hexane concentration in the gas phase on the time of air passing through system No. 1

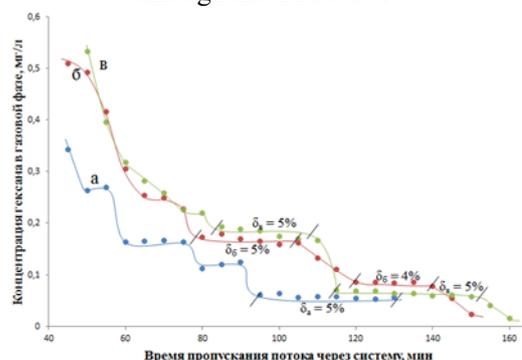


Рис. 3. Зависимость концентрации гексана в газовой фазе от времени пропускания воздуха через систему № 2

Fig. 3. Dependence of hexane concentration in the gas phase on the time of air passing through system No. 2

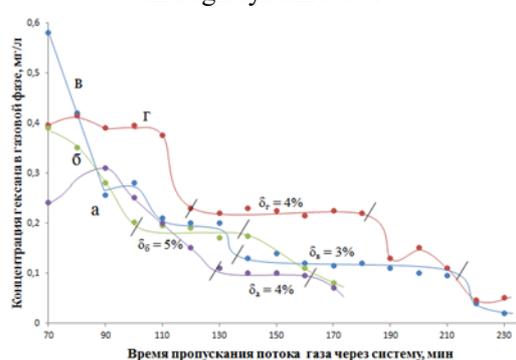


Рис. 4. Зависимость концентрации гексана в газовой фазе от времени пропускания воздуха через систему № 3

Fig. 4. Dependence of hexane concentration in the gas phase on the time of air passing through system No. 3

Таблица 2. Результаты хромато-десорбционного анализа системы № 1 при различной скорости потока инертного газа (объем гексана 50 мкл)

Table 2. Results of chromatography-desorption analysis of system No. 1 at different inert gas flow rates (hexane volume 50 μ l)

F, мл/мин	Средняя концентрация, мг/л	ОСКО, %	Время выхода системы на рабочий режим, мин	$\tau_{5\%}$, мин	$V_{ГФ}$, л
100	0.061	9.5	35	50	5.0
400	0.042	13.8	20	15	6.0

ХДС может быть рекомендовано регулирование скорости потока газа через систему: на начальном этапе работы ХДС необходимо применять более высокую скорость 400 см³/мин для ускорения распределения компонента по сорбционной системе, затем снижение скорости до 100 см³/мин для увеличения времени

поддержания квазипостоянной концентрации.

В таблице 3 представлены характеристики работы систем 1-3, при различных объемах вносимого в ХДС жидкого гексана на хромато-сорбционной стадии, аликвота которого варировалась в диапа-

Таблица 3. Результаты исследования хромато-десорбционных систем
 Table 3. Results of the study of chromatography-desorption systems

№ системы	Сорбционная емкость, мг/г	Количество гексана, мкл	Средняя постоянная концентрация, мг/дм ³	СКО, %	V _{ГФ} , дм ³
1 (l=12 см)	20	50	0.051	5	3.5
		100	0.067	5	3.5
		200	0.150	5	3.0
2 (l=24 см)	28	50	0.051	5	4.5
		100	0.155	5	2.5
			0.092	4	4.5
		200	0.149	5	4.0
0.067	4		4.0		
3 (l=11 см)	35	10	0.102	3	5.0
		20	0.124	4	9.0
		50	0.167	5	10.0
		100	0.241	4	15.0

зоне 10-200 мкл. Зависимости концентрации гексана в газовой смеси на выходе из ХДС, отличающихся длиной и, соответственно, количеством эквивалентных тарелок, представлены на рисунках 1-4. Установлено, что в ряде случаев (система 1-2) наблюдается две области с квазипостоянной концентрацией гексана, причем концентрация гексана в каждой из них различается в 2 раза: первый период квазипостоянства концентрации для обеих систем характеризуется величиной средней концентрации 0.151 мг/дм³ с ОСКО=1.2%, второй период квазипостоянства концентрации для обеих систем характеризуется величиной средней концентрации 0.068 мг/дм³ с ОСКО=9.7%. Справедливо предположить, что наблюдаемая закономерность связана с буферным эффектом, характерным для гетерогенных систем [15], так как добавленное количество гексана в несколько раз превышает рассчитанное исходя из сорбционной ёмкости сорбента Полисорб-1 по отношению к гексану и создает избыток анализита в начальной части трубчатой проточной системы, который выступает в роли буфера и компенсирует динамически десорбирующийся гексан с конечной части системы, тем самым обеспечивая квазипостоянство концентрации анализита

в газовом потоке на выходе из ХДС. После истощения буфера происходит смещение равновесия в сторону расходования анализита, что проявляется экспоненциальным участком на кривой десорбции (рис. 3), после чего устанавливается равновесие в системе, отвечающего новому перераспределению зоны буфера, которая постоянно смещается к конечной части проточной системы, до полного истощения буферной зоны.

При дальнейшем увеличении объема вносимого гексана для системы № 3 увеличения концентрации компонента в газовой фазе не наблюдается: концентрация остается постоянной в пределах ОСКО=5%. Это обусловлено тем, что при данных количествах гексана в системе происходит полное насыщение сорбента. Стоит отметить, что до момента насыщения сорбента летучим компонентом он частично выходит из системы, что характеризуется временем выхода системы на режим. Следовательно, для полного насыщения системы необходим избыток летучего компонента, который создает буферный эффект.

При сравнении систем различной длины установлено, что при увеличении длины системы в 2 раза (системы 1 и 2)



объем получаемой газовой смеси увеличивается в среднем в 1.4 раза, что может быть использовано для расширения ресурса ХДС, при планировании работ в полевых условиях или при внелабораторном анализе.

Заключение

Таким образом, в работе показана возможность создания хромато-десорбционных систем, отличающихся массой сорбента и конфигурацией.

Экспериментально изучены ХДС на основе полимерного сорбента Полисорб-1, отличающиеся длиной, при варьировании скорости пропускания газа через хромато-десорбционную систему и количества гексана, используемого для насыщения системы.

Установлено, что уменьшение скорости потока газа, проходящего через ХДС, приводит к увеличению времени поддержания квазипостоянной концентрации аналита в газовой фазе, при этом среднее значение концентрации меняется незначительно. Увеличение числа теоретических тарелок за счет увеличения длины системы приводит к увеличению времени поддержания квазипостоянной концентрации аналита в газовой фазе, при этом

среднее значение концентрации меняется незначительно.

Увеличение количества гексана, внесенного в систему, не приводит к существенному изменению концентрации гексана в получаемой смеси и объема получаемой газовой смеси, но при этом возникает два периода поддержания квазипостоянной концентрации летучего компонента в газовой фазе, средние концентрации которого различаются примерно в два раза. При варьировании количества вносимого жидкого гексана в диапазоне 10-200 мкл можно варьировать концентрацию гексана в получаемой газовой смеси в диапазоне 0.05-0.24 мг/дм³, при дальнейшем повышении количества вносимого гексана концентрация сохраняется постоянной в пределах 0.23 мг/дм³±5%.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

Список литературы

1. Slominska M., Konieczka P., Namiesnik J. Standard gas mixture indispensable reference materials in the analysis of gaseous media // *Trends in Analytical Chemistry*. 2010. Vol. 29. P. 419-429.

2. Алексашина О.В. Проблемы контроля вредных примесей в воздухе производственных помещений // *Экология промышленного производства*. 2015. № 3 С. 41-44.

3. Платонов И.А. Родинков О.В., Горбачева А.Р. Методы и средства приготовления стандартных газовых смесей // *Журнал аналитической химии*. 2018. Т.73, № 2. С. 84-99.

4. Смыгина И.Н. Дисс. канд. хим. Наук. Самара, 2007. 172 с.

5. Березкин В.Г., Платонов И.А., Онучак Л.А. Динамический способ получения парогазовых смесей с постоянными концентрациями летучих органических соединений с регенерируемым потоком жидкого раствора // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2006. Т. 6, № 4. С. 591-595.

6. Сакодынский К.И. Полимерные сорбенты для газовой хроматографии. М.: Наука. 1977. 168 с.

7. ГОСТ Р ИСО 6142-2008. Национальный стандарт российской федерации. анализ газов. Приготовление градуировочных газовых смесей.

8. ГОСТ Р ИСО 6144-2008. Национальный стандарт российской федера-



ции. анализ газов. Приготовление градуировочных газовых смесей. Статический объемный метод.

9. Москвин Л.Н., Родинков О.В. Хроматомембранное концентрирование микропримесей органических загрязнителей природных вод и атмосферного воздуха // *Журн. аналитической химии*. 2002. Т. 57, № 10. С. 1057-1063.

10. Березкин В.Г., Арутюнов Ю.И., Платонов И.А. Патент РФ, № 2324174, 2008.

11. Березкин В.Г., Арутюнов Ю.И., Платонов И.А. Патент РФ, № 2324473, 2008.

12. Platonov I.A., Kolesnichenko I.N., Lange P.K. Chromatographic-Desorption Method for Preparing Calibration Gas Mixtures of Volatile Organic Compounds // *Measurement Techniques*. 2017. Vol. 59, no 12. P. 1330-1333.

13. Березкин В.Г., Платонов И.А., Смыгина И.Н. Хромато-десорбционный способ получения потока газа, содержащего микропримеси летучих соединений // *Химия и химическая технология*. 2007. Т. 50, № 8. С. 22-24.

14. Новиков В.Ф. Перикова Е.С., Каратаев О.Р. Проблемы экологической безопасности воздушной среды промышленных предприятий // *Известия КазГАСУ*. 2009. № 2. С. 289-294.

15. Витенберг А.Г., Иоффе Б.В. Газовая экстракция в хроматографическом анализе. Парофазный анализ и родственные методы. Л.: Химия. 1982, 280 с.

References

1. Slominska M., Konieczka P., Namiesnik J., Standard gas mixture indispensable reference materials in the analysis of gaseous media. *Trends in Analytical Chemistry*, 2010;29: 419-429.

2. Aleksashina O.V., Problemy kontrolya vrednykh primesej v vozduhe proizvodstvennyh pomeshchenij, *Ecology of industrial production*, 2015; 3: 41-44. (In Russ.)

3. Platonov I.A. Rodinkov O.V., Gorbacheva A.R., Metody i sredstva

prigotovleniya standartnyh gazovyh smesej, *J. of Analytical Chemistry*, 2018; 73(2): 84-99. (In Russ.)

4. Smygina I.N. Diss. cand. chem. nauk. Samara, 2007. 172 p. (In Russ.)

5. Berezkin V.G., Platonov I.A., Onuchak L.A., Dinamicheskij sposob polucheniya parogazovyh smesej s postoyannymi koncentraciyami letuchih organicheskikh soedinenij s regeneriruemym potokom zhidkogo rastvora. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2006; 6(4): 591-595. (In Russ.)

6. Sakodynsky K.I. Polimernye sorbenty dlja gazovoj hromatografii. M., Nauka, 1977, 168 p. (In Russ.)

7. GOST R ISO 6144-2008. Nacional'nyj standart rossijskoj federacii analiz gazov. Prigotovlenie graduировочных газовых смесей. Статический об'емный метод. Gas analysis. Preparation of calibration gas mixtures. Static volumetric method. (In Russ.)

8. GOST R ISO 6144-2008. Nacional'nyj standart rossijskoj federacii. analiz gazov. Prigotovlenie graduировочных газовых смесей. Статический обемный метод. (In Russ.)

9. Moskvin L.N., Rodinkov O.V. Hromatomembrannoe koncentrirovanie mikroprimesej organicheskikh zagryaznitelej prirodnyh vod i atmosfernogo vozduh. *J. of Analytical Chemistry*. 2002; 57(10): 1057-1063.

10. Berezkin V.G., Arutyunov Yu.I., Platonov I.A. Patent RF, № 2324174, 2008. (In Russ.)

11. Berezkin V.G., Arutyunov Yu.I., Platonov I.A. Patent RF, № 2324473, 2008. (In Russ.)

12. Platonov I.A., Kolesnichenko I.N., Lange P.K. Chromatographic-Desorption Method for Preparing Calibration Gas Mixtures of Volatile Organic Compounds. *Measurement Techniques*. 2017; 59(12): 1330-1333.

13. Berezkin V.G., Platonov I.A., Smygina I.N. Hromato-desorbcionnyj sposob polucheniya potoka gaza, soderzhashchego mikroprimesi letuchih



soedinenij. *Chemistry and chemical technology*. 2007; 50(8): 22-24.

14. Novikov V.F., Perikova E.S., Karataev O.R. Problemy ekologicheskoy bezopasnosti vozdushnoy sredy promyshlennykh predpriyatij. *Izvestija KazGASU*. 2009; 2: 289-294. (In Russ.)

15. Vitenberg A.G., Ioffe B.V. Gazovaja jekstrakcija v hromatograficheskom analize. Parofaznyj analiz i rodstvennyye metody, 1982, 280 p.

Информация об авторах / Information about the authors

И.А. Платонов – заведующий кафедрой химии, профессор, д.т.н., Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

Е.А. Новикова – доцент кафедры химии, к.х.н., Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

И.Н. Колесниченко – доцент кафедры химии, к.х.н., Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

А.С. Карсункина – аспирант кафедры химии, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

А.Э. Маргарян – аспирант кафедры химии, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

I.A. Platonov – Head of the Department of Chemistry, Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of Chemistry, Samara National Research University, Samara, Russian Federation, e-mail: pia@ssau.ru

E.A. Novikova – candidate of chemical sciences, associate professor, Department of Chemistry, Samara National Research University Samara National Research University, Samara, Russian Federation, e-mail: novikova.ea@ssau.ru

I.N. Kolesnichenko – candidate of chemical sciences, associate professor, Department of Chemistry, Samara National Research University Samara National Research University, Samara, Russian Federation, e-mail: irmiks@mail.ru

A.S. Karsunkina – the postgraduate student of the Department of Chemistry, Samara National Research University, Samara, Russian Federation, e-mail: karsunkina.alesya@mail.ru

A.E. Margaryan – the postgraduate student of the Department of Chemistry, Samara National Research University, Samara, Russian Federation, e-mail: asyaigithanyan@mail.ru

Статья поступила в редакцию 09.06.2023; одобрена после рецензирования 25.07.2023; принята к публикации 02.08.2023.

The article was submitted 09.06.2023; approved after reviewing 25.07.2023; accepted for publication 02.08.2023.