



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543

doi: 10.17308/sorpchrom.2023.23/11544

Сравнительная оценка работы монолитных хромато-десорбционных систем в статическом и динамическом режимах экстракции

**Игорь Артемьевич Платонов[✉], Александр Сергеевич Брыксин,
Ирина Михайловна Муханова, Ирина Николаевна Колесниченко**

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

Аннотация. Правильность, точность и прецизионность количественного хроматографического анализа определяется качеством приготовления стандартных образцов состава, разработка и применение которых позволяет решать аналитическим лабораториям широкий круг прикладных задач.

В статье представлены результаты исследования монолитных хромато-десорбционных систем (МХДС), позволяющих создавать растворы органических веществ с нормированным количеством органорастворимых аналитов динамическим способом. Целевой компонент равномерно распределен в объеме композиционного материала. Полученные экспериментальные образцы исследовались в специально разработанной экстракционной установке при температурах 25, 50 и 80°C и скорости потока элюента 3 см³/мин, в качестве которого использовали *n*-октан. Полученные экстракты были проанализированы с использованием метода газовой хроматографии. Проведена сравнительная оценка количества десорбированного органорастворимого аналита экстрагентом в статическом и динамическом режимах экстракции. Показано, что динамический способ экстракции характеризуется возможностью создавать потоки органических растворителей в течение более длительного времени, при этом выход на рабочий квазистационарный режим, который характеризуется отклонением концентрации аналита не более 10%, достигается быстрее. Установлено, что для получения квазистационарных концентраций в режиме динамической экстракции необходимо обеспечить прохождение через исследуемые образцы, массой 1.54 г, содержащие органорастворимые аналиты, 500–600 см³ экстрагента при скорости потока 3 см³/мин. Полученные результаты позволяют рекомендовать изготовленные МХДС для создания растворов органических растворителей с известным содержанием целевого вещества.

Ключевые слова: хроматография, градуировочные смеси, статические методы, динамические методы, монолитные хромато-десорбционные системы, полимеры, органические растворители.

Для цитирования: Платонов И.А., Брыксин А.С., Муханова И.М., Колесниченко И.Н. Сравнительная оценка работы монолитных хромато-десорбционных систем в статическом и динамическом режимах экстракции // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2023. Т. 23, № 4. С. 504-513. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11544>

Original article

A comparative assessment of the operation of monolithic chromatography-desorption systems in static and dynamic extraction modes

**Igor A. Platonov[✉], Alexander S. Bryksin,
Irina M. Mukhanova, Irina N. Kolesnichenko**

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

Abstract. The correctness, accuracy and precision of quantitative chromatographic analysis are determined by the quality of preparation of standard composition samples, the development and use of which allows analytical laboratories to solve a wide range of applied problems.



The article presents the results of a study of monolithic chromatography-desorption systems (MCDS), which allows creating solutions of organic substances with a normalized amount of organosoluble analytes in a dynamic way. The target component is evenly distributed throughout the volume of the composite material. The resulting experimental samples were studied in a specially designed extraction unit at temperatures of 25, 50, and 80°C and an eluent flow rate 3 cm³/min, which was *n*-octane. The obtained extracts were analysed using gas chromatography. A comparative assessment of the amount of desorbed organosoluble analyte by the extraction solution in static and dynamic extraction modes was carried out. It has been shown that the dynamic extraction method is characterized by the ability to create flows of organic solvents for a longer time, while reaching a working quasi-stationary mode, characterized by a deviation of the analyte concentration of no more than 10%, is achieved faster. It has been established that in order to obtain quasi-stationary concentrations in the dynamic extraction mode, it is necessary to ensure the passage of 500-600 cm³ at a flow rate of 3 cm³/min through the studied samples, weighing 1.54 g, containing organosoluble analytes. The results obtained allowed us to recommend the manufactured MCDS for creating solutions of organic solvents with a known content of the target substance.

Keywords: gas chromatography, calibration mixtures, static methods, dynamic methods, monolithic chromatography-desorption systems, polymers, organic solvents.

For citation: Platonov I.A., Bryksin A.S., Mukhanova I.M., Kolesnichenko I.N. A comparative assessment of the operation of monolithic chromatography-desorption systems in static and dynamic extraction modes. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2023. 23(4): 504-513. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11544>

Введение

На современном этапе развития аналитической химии решается несколько важных задач, к числу которых относятся усовершенствование существующих методов и средств приготовления газовых и жидких смесей известного состава, а также создание принципиально новых способов получения стандартных образцов [1-6].

Труды многих научных коллективов со всего мира по разработке данных способов и устройств легли в основу их классификации, и на сегодняшний день все способы получения стандартных газовых смесей (СГС) принято делить на статические и динамические [7-13]. Классификация способов получения СГС представлена на рисунке 1. Статические и динамические способы получения СГС имеют свои преимущества и недостатки.

Достоинством статических способов создания СГС является простота аппаратного оформления, для обслуживания которого не требуется привлечение высококвалифицированного персонала. Недостатком статических способов, особенно для летучих органических соединений (ЛОС), являются адсорбционные потери целевых компонентов на стенках сосуда,

что позволяет рекомендовать статические способы для создания только высококонцентрированных газовых смесей. По причине наличия адсорбционных потерь статические способы не позволяют проводить многоточечные калибровки без дополнительного разбавления, однако, несмотря на это, статические способы сегодня широко используются при калибровке аналитического лабораторного оборудования.

Создание СГС динамическими способами позволяет избежать адсорбционные потери на стенках сосуда, в котором происходит динамическое смешение паров ЛОС и газа-разбавителя, а также адсорбции целевых компонентов на внутренней поверхности капилляров, по которым смесь переносится к калибруемому прибору, за счет варьирования параметров установления динамического равновесия в системе. Адсорбционные потери становятся значимыми только при быстром изменении расхода газа-носителя, что преодолимо за счет увеличения времени установления равновесия. Недостатком динамических способов является сложность аппаратного оформления, высокие трудозатраты и сложность процедуры оценки вкладов неопределенностей



Рис 1. Классификация способов получения СГС [13]
 Fig 1. Classification of methods for obtaining SGM [13]

процедуры приготовления при оценке аттестованного значения концентрации аналита.

Можно с уверенностью заключить, что сегодня существует большое число способов, позволяющих изготовить стандартные образцы. Новые возможности аналитического оборудования и потребность в измерении более низких концентраций газообразных аналитов в различных газообразных образцах являются движущими силами процесса модификаций традиционных способов и создания новых, экономичных и экологичных способов приготовления СГС. В последние годы большой интерес у аналитиков вызывают динамические способы, позволяющие получать однородные и стабильные по своему составу смеси в широком диапазоне концентраций целевых веществ. Стоит отметить, что разработанные на сегодняшний день способы применимы, в основном, к созданию газовых смесей, а создание стандартных жидких смесей динамическими методами остается актуальной проблемой по сей день [13].

Одним из перспективных решений данной задачи могут служить предлагаемые МХДС, с помощью которых представляется возможным получение потоков органических растворителей с известным содержанием целевого компонента [14].

Целью настоящего исследования являлась сравнительная оценка работы МХДС в жидких органических средах при различных температурных условиях в динамическом режиме экстракции.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования выступали МХДС, полученные в результате полимеризации эпоксидной смолы. Внутри изготовленного полимерного стержня равномерно распределен органорастворимый аналит, предварительно нанесенный на нанодисперсный адсорбент. В работе исследовалась возможность получения растворов с известным содержанием тетрадекановой (C14), пентадекановой (C15), гексадекановой (C16), октадекановой (C18) кислот в потоке *n*-октана – малолетучего предельного орга

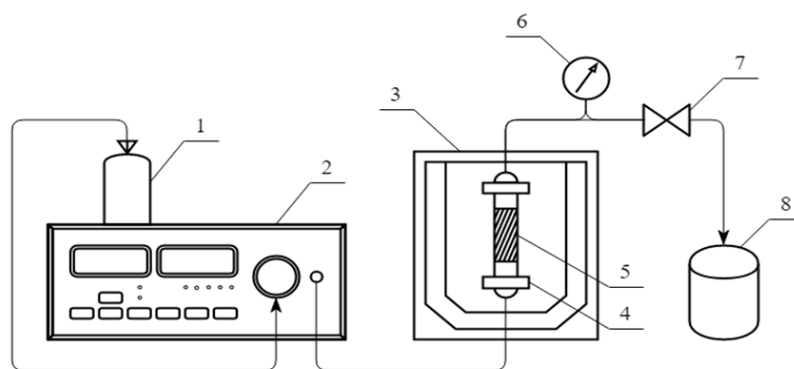


Рис 2. Схема установки для экстракции. 1 – сосуд с экстрагентом; 2 – насос высокого давления; 3 – термостат; 4 – экстрактор; 5 – образец; 6 – манометр; 7 – кран тонкой регулировки; 8 – сосуд для приёма экстракта

Fig 2. Scheme of installation for extraction. 1 – vessel with the extraction solution; 2 – high pressure pump; 3 – thermostat; 4 – extractor; 5 – sample; 6 – pressure gauge; 7 – fine adjustment valve; 8 – vessel for receiving the extract

нического растворителя, имеющего высокую растворимость по отношению к исследуемым жирным кислотам (ЖК) [15].

Исследуемые МХДС изготавливались в соответствии с указанными в работе [16] этапами и обладают аналогичными характеристиками.

На кафедре химии Самарского национально-исследовательского университета имени академика С.П. Королева была спроектирована и изготовлена экстракционная установка (рисунок 2), с использованием которой оценивалась возможность применения изготовленных МХДС в целях создания потоков органического растворителя с известным содержанием органорастворимых аналитов в режиме динамической экстракции. Принцип работы данной установки заключается в подаче экстрагента из сосуда 1 с помощью насоса высокого давления 2 в экстрактор 4, находящийся внутри термостата 3. Экстрагируемые вещества из образца 5 элюируются из экстрактора потоком подвижной фазы и попадают в сосуд 8. Экстрактор 4 представляет собой колонку из нержавеющей стали с известным количеством исследуемого образца в виде МХДС. Процесс подачи экстрагента и отбора проб регулируется манометром 6 и краном 7.

Экстракция органорастворимых аналитов из образцов МХДС в динамическом режиме осуществлялась при температурах 25, 50 и 80°C и постоянной скорости потока подвижной фазы 3 см³/мин, в качестве которой применялся *n*-октан. Скорость потока экстрагента была выбрана исходя из оптимального времени проведения экстракции и установления равновесия в системе «экстрагент-аналит». Выбор подвижной фазы обусловлен свойствами экстрагируемых ЖК, характеризующихся высокой растворимостью в неполярных органических растворителях. Массы исследуемых образцов 1.54±0.01 г. Общий объем пропущенного экстрагента составлял 1000 см³ для исследуемых температурных режимов. Каждые 100 см³ отбирали аликвоту для последующей пробоподготовки и анализа.

Полученные экстракты, содержащие органорастворимые аналиты, анализировали методом газовой хроматографии в соответствии с условиями хроматографирования, приведенными в работе [16].

Обсуждение результатов

Результаты хроматографического анализа октановых растворов ЖК, полученных в динамическом режиме экстракции

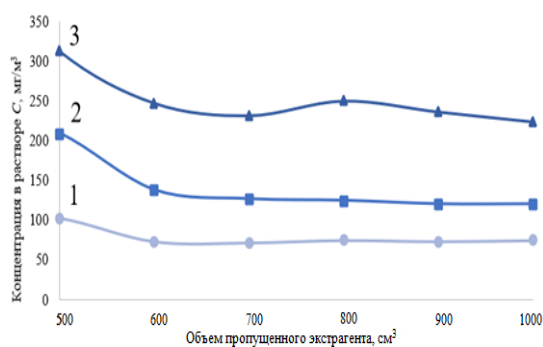


Рис 3. Зависимость концентрации тетрадекановой кислоты в *n*-октано от объема пропущенного экстрагента при температурах 25 (1), 50 (2), 80°C (3)

Fig 3. Dependence of the concentration of tetradecanoic acid in *n*-octane on the volume of the extraction solution passed through at temperatures 25 (1), 50 (2), 80°C (3)

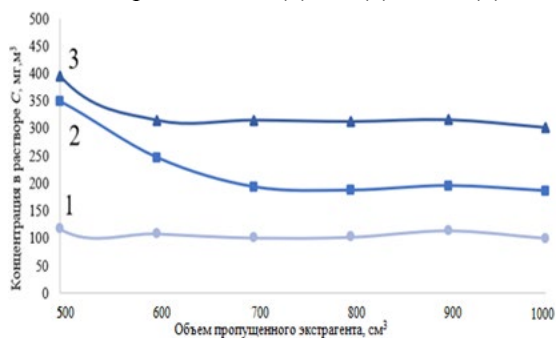


Рис 5. Зависимость концентрации гексадекановой кислоты в *n*-октано от объема пропущенного экстрагента при температурах 25 (1), 50 (2), 80°C (3)

Fig 5. Dependence of the concentration of hexadecanoic acid in *n*-octane on the volume of the extraction solution passed through at temperatures 25 (1), 50 (2), 80°C (3)

при температурах 25, 50 и 80°C, визуализированы на рисунках 3-6. Средняя относительная погрешность результатов измерений не превышает 10%.

Исходя из полученных данных можно заключить, что в первых циклах динамической экстракции наблюдается интенсивная десорбция молекул ЖК с поверхности МХДС, о чем свидетельствует высокое содержание определяемых компонентов в экстрактах. Подвижная фаза, движущаяся вдоль поверхности, проникает в поры полимера и нанодисперсного сорбента и экстрагирует в свой объем

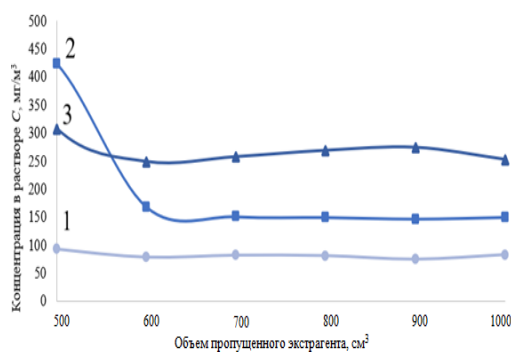


Рис 4. Зависимость концентрации пентадекановой кислоты в *n*-октано от объема пропущенного экстрагента при температурах 25 (1), 50 (2), 80°C (3)

Fig 4. Dependence of the concentration of pentadecanoic acid in *n*-octane on the volume of the extraction solution passed through at temperatures 25 (1), 50 (2), 80°C (3)

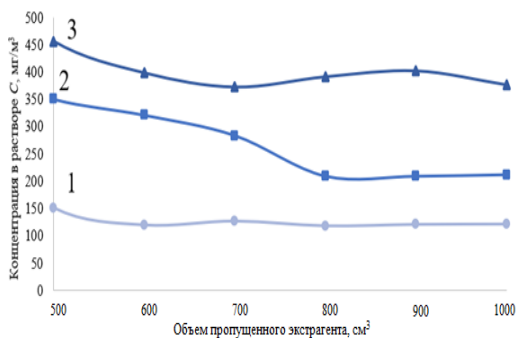


Рис 6. Зависимость концентрации октадекановой кислоты в *n*-октано от объема пропущенного экстрагента при температурах 25 (1), 50 (2), 80°C (3)

Fig 6. Dependence of the concentration of octadecanoic acid in *n*-octane on the volume of the extraction solution passed through at temperatures 25 (1), 50 (2), 80°C (3)

ЖК, что сопровождается скачком концентрации аналита за счет присоединения диффузионного механизма извлечения. Далее, с увеличением общего объема пропущенного экстрагента, выделение ЖК начинает происходить не только с поверхности, но и из более глубоких слоев полимера, в том числе за счет растворения матрицы. За счет разрушения внешнего слоя МХДС начинает работать внутренний объем, обеспечивающий буферный эффект, что приводит к увеличению скорости диффузии и установлению скорости высвобождения ЖК из МХДС в



экстракционную среду на некотором постоянном уровне, лимитируемом растворимостью аналитов в экстрагенте, коэффициентом диффузии и константой распределения ЖК в системе «*n*-октан-нанодисперсный адсорбент». Разница в длине углеводородных радикалов и молекулярной структуре органорастворимых аналитов определяет характер влияния описанных выше лимитирующих факторов, что в свою очередь объясняет разницу в содержании этих аналитов в растворах после каждого этапа экстракции.

Установлено, что в случае с октадекановой кислотой, выход на плато квазистационарных концентраций при температуре экстракции 50°C обеспечивается пропуском через образец МХДС 800 см³ экстрагента, что является исключением, так как в других исследуемых температурных режимах начало выделения близких количеств органорастворимых аналитов наступает после прохождения вдоль поверхности МХДС 600 см³ *n*-октана.

Повышение температуры экстрагента приводит к значительному увеличению растворимости ЖК в *n*-октане, что подтверждается экспериментальными данными. Так, уровень содержания ЖК в экстрактах, полученных при температурах 50 и 80°C, выше, чем в экстрактах, соответствующих 25°C, в два и три раза соответственно. На основании выявленных зависимостей можно заключить, что повышение температуры динамической экстракции приводит к увеличению содержания ЖК в подвижной фазе и сокращает жизненный цикл изготовленных МХДС за счет более быстрого высвобождения целевых компонентов.

По результатам хроматографического анализа экстрактов, полученных в динамическом режиме, установлен следующий порядок расположения ЖК по мере увеличения содержания аналита в *n*-октане: тетрадекановая, пентадекановая, гексадекановая, октадекановая кислота. Можно предположить, что с увеличением

числа атомов углерода в цепи соединения растёт сродство молекул аналита к растворителю, что способствует облегчению процесса перехода ЖК в подвижную фазу.

По результатам эксперимента установлено, что использование МХДС, изготовленных из двухкомпонентного полимера и нанодисперсного адсорбента с нанесенными аналитами, позволяет получать растворы *n*-октана с известным содержанием органорастворимых аналитов в режиме динамической экстракции при 25, 50 и 80°C и скорости потока экстрагента 3 см³/мин.

В работе [16] изучалась возможность получения постоянных концентраций органорастворимых аналитов в органических средах в среде неподвижного экстрагента при тех же температурных условиях.

При проведении сравнительной оценки десорбции органорастворимых аналитов в процессе статической и динамической экстракции следует отметить, что из образцов МХДС, исследуемых в статическом режиме, десорбция ЖК происходит более интенсивно, за счет длительности времени экспозиции и сокращения объема экстрагента. Данное обстоятельство согласуется с известными из литературы [17] принципами и закономерностями создания СГС и позволяет рекомендовать изготовленные МХДС для получения высококонцентрированных растворов органических веществ. При этом динамический метод позволяет за счет варьирования параметров экстракции получать растворы с разным содержанием аналита из одной матрицы в цикле одного анализа.

Динамическая экстракция сопровождается постоянным обновлением экстрагента, в том числе вблизи поверхности МХДС, в результате чего насыщение экстрагента не происходит, и выход на плато

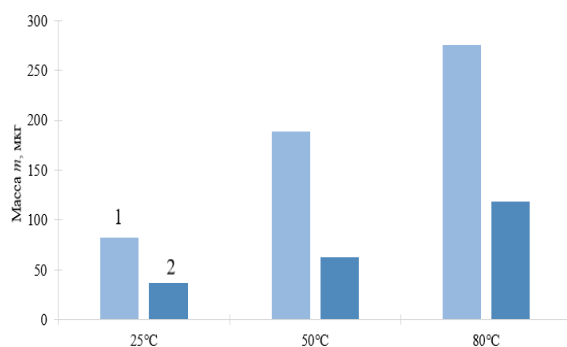


Рис 7. Выделившаяся масса тетрадекановой кислоты в процессе статической (1) и динамической (2) экстракции [16]

Fig 7. The released mass of tetradecanoic acid during static (1) and dynamic (2) extraction [16]

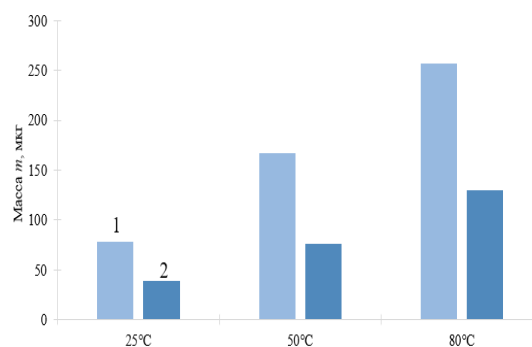


Рис 8. Выделившаяся масса пентадекановой кислоты в процессе статической (1) и динамической (2) экстракции [16]

Fig. 8. The released mass of pentadecanoic acid during static (1) and dynamic (2) extraction [16]

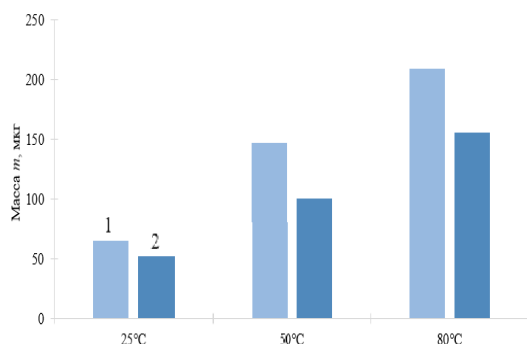


Рис 9. Выделившаяся масса гексадекановой кислоты в процессе статической (1) и динамической (2) экстракции [16]

Fig. 9. The released mass of hexadecanoic acid during static (1) and dynamic (2) extraction [16]

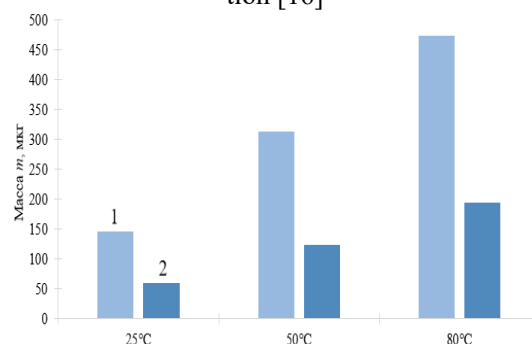


Рис 10. Выделившаяся масса октадекановой кислоты в процессе статической (1) и динамической (2) экстракции [16]

Fig.10. The released mass of octadecanoic acid during static (1) and dynamic (2) extraction [16]

квазистационарных концентраций лимитируется такими факторами, как коэффициент диффузии и константа распределения.

На рисунках 7-10 представлены данные об общей выделившейся массе ЖК из образцов МХДС в процессе проведения статической и динамической экстракции, начиная с шестого погружения в экстракционную среду, когда и в статическом, и в динамическом режимах образовалось плато квазистационарных концентраций. Как видно на представленных данных, статическая экстракция сопровождается более интенсивной степенью десорбции ЖК из МХДС в органический растворитель (в 2-3 раза).

На основании результатов анализа растворов *n*-октана, полученных в режиме

статической экстракции, установлен следующий порядок ЖК по мере увеличения содержания в экстрактах: гексадекановая, пентадекановая, тетрадекановая, октадекановая [16]. Прямой зависимости степени десорбции от длины углеводородного радикала установить не удалось, однако по результатам анализа экстрагента, используемого в качестве подвижной фазы при исследовании МХДС в динамическом режиме экстракции, можно заключить, что растворимость ЖК увеличивается с ростом углеводородного радикала в цепи соединения.

Заключение

Таким образом, в работе проведена сравнительная оценка степени извлечения органорастворимых аналитов из МХДС при температурах 25, 50 и 80°C и



скорости потока экстрагента $3 \text{ см}^3/\text{мин}$ в динамическом режиме экстракции. Показано, что для получения квазистационарных концентраций органорастворимых аналитов в режиме динамической экстракции при температурах 25, 50 и 80°C необходимо обеспечить прохождение через образцы МХДС 500-600 см^3 экстрагента (за исключением образца МХДС, исследуемого при 50°C и содержащего в качестве органорастворимого аналита октадекановую кислоту). Погрешность поддержания постоянных концентраций не превышает 10%.

Повышение температуры экстракции приводит к увеличению содержания органорастворимых аналитов в экстрактах, что может сократить время, в течение которого изготовленные МХДС будут работать стабильно.

Анализ экстрактов *n*-октана, полученных в процессе динамических испытаний МХДС, позволил установить четкую зависимость интенсивности десорбции от длины углеводородной цепи аналита: активнее десорбируются ЖК, имеющие более длинную углеводородную цепь.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 6142-2008 *Анализ газов. Приготовление градуировочных газовых смесей. Гравиметрический метод*. М.: Стандартинформ. 2008. 35 с.
2. ГОСТ Р ИСО 6144-2008 *Анализ газов. Приготовление градуировочных газовых смесей. Статический объемный метод*. М.: Стандартинформ. 2008. 27 с.
3. Tjandra A.D., Pham A.-H., Chandrawati R. Polydiacetylene-Based Sensors To Detect Volatile Organic Compounds // *Chem. Mater.* 2022. Vol. 34. P. 2853-2876.
4. Sartone L., Polvara E., Invernizzi M., Sironi S. Determination of Air Pollutants: Application of a Low-Cost Method for Preparation of VOC Mixtures at Known Concentration // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. P. 9149.
5. Rodinkov O., Postnov V., Spivakovskiy V., Znamenskaya E., Zheludovskaya

Сравнение результатов анализа растворов, полученных в процессе статических и динамических испытаний МХДС, позволяет заключить, что в режиме статической экстракции выход на плато квазистационарных концентраций происходит быстрее, что, вероятно, связано с насыщением раствора вблизи исследуемых образцов. Показано, что динамическая экстракция характеризуется менее интенсивной десорбцией органорастворимых аналитов в подвижную фазу, в качестве которой использовался *n*-октан. Полученные результаты могут быть использованы для создания растворов с известным содержанием органорастворимого аналита динамическим способом.

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.

A., Nesterenko P. Preconcentration of Volatile Organic Compounds on Carbon Magnetic Sorbents in the Analysis of Air by Using the Configuration Change of the Sorbent Bed during the Transition from Sorption to Thermodesorption GC-FID // *Separations*. 2023. Vol. 10. P. 416.

6. Rodinkov O., Postnov V., Spivakovskiy V., Vlasov A., Bugaichenko A., Slastina S., Znamenskaya E., Shilov R., Lanin S., Nesterenko P. Comparison of Adsorbents Containing Carbon Nanotubes for Express Pre-Concentration of Volatile Organic Compounds from the Air Flow // *Separations*. 2021. Vol. 8. P. 50.

7. Barratt R.S. The preparation of standard gas mixtures. A review // *Analyst*. 1981. Vol. 106. P. 817-849.

8. Slominska M., Konieczka P., Namiesnik J. New developments in preparation and use of standard gas mixtures // *Trends Anal. Chem.* 2014. Vol. 62. 3. 135-143.



9. Milton M.J.T., Vargha G.M., Brown A.S. Gravimetric methods for the preparation of standard gas mixtures // *Metrologia*. 2011. Vol. 48ю P. R1-R9.
10. Nelson G. Gas Mixtures. Routledge, 2018. Vol. 1. 282 p.
11. Fijalo C., Dymerski T., Gebicki J., Namiesnik J. Devices for the Production of Reference Gas Mixtures // *Crit. Rev. Anal. Chem.* 2016. Vol. 46. P. 361-373.
12. Платонов И.А., Родинков О.В., Горбачева А.В., Москвин Л.Н., Колесниченко И.Н. Методы и средства приготовления стандартных газовых смесей // *Журнал аналитической химии*. 2018. Т. 73, № 2. С. 83-105.
13. Платонов И.А., Колесниченко И.Н., Новикова Е.А., Муханова И.М. Получение газовых смесей известного состава динамическими методами // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2017. Т. 17, № 3. С. 378-387.
14. Платонов И.А., Марилов С.С., Никишин И.А., Арутюнов Ю.И., Минахметов Р.А., Ефимов Е.Г., Брыксин А.С., Лабаев М.Ю. Патент РФ, № 202679, 2021.
15. Кипер Р.А. Растворимость веществ : Справочник. Пушино, 2-е электронное издание. 2020. 290 с.
16. Платонов И. А., Муханова И. М., Колесниченко И. Н., Брыксин А. С. Изучение возможности получения постоянных концентраций органорастворимых аналитов в органических средах в процессе эксплуатации монолитных хромато-десорбционных систем // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2023. Т. 23, № 2. С. 158-170.
17. Витенберг А.Г., Конопелько Л.А. Парофазный газохроматографический анализ: метрологические приложения // *Журнал аналитической химии*. 2011. Т. 66, № 5. С. 452-472.
1. GOST R ISO 6142-2008 Analiz gazov. Prigotovlenie graduirovochnyh gazovyh smesey. Gravimetricheskij metod. М., Standartinform, 2008, 35 p.
2. GOST R ISO 6144-2008 Analiz gazov. Prigotovlenie graduirovochnyh gazovyh smesey. Sticheskiy ob'emnyj metod. Moskva, Standartinform, 2008, 27 p.
3. Tjandra A.D., Pham A.-H., Chandrawati R. Polydiacetylene-Based Sensors To Detect Volatile Organic Compounds. *Chem. Mater*, 2022; 34(7): 2853-2876. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.1c04318>
4. Sartone L., Polvara E., Invernizzi M., Sironi S. Determination of Air Pollutants: Application of a Low-Cost Method for Preparation of VOC Mixtures at Known Concentration, / *Sustainability*, 2022; 14(15): 9149. <https://doi.org/10.3390/su14159149>
5. Rodinkov O., Postnov V., Spivakovskiy V., Znamenskaya E., Zheludovskaya A., Nesterenko P. Preconcentration of Volatile Organic Compounds on Carbon Magnetic Sorbents in the Analysis of Air by Using the Configuration Change of the Sorbent Bed during the Transition from Sorption to Thermodesorption GC-FID. *Separations*, 2023; 10(7): 416. <https://doi.org/10.3390/separations10070416>
6. Rodinkov O., Postnov V., Spivakovskiy V., Vlasov A., Bugaichenko A., Slashtina S., Znamenskaya E., Shilov R., Lanin S., Nesterenko P. Comparison of Adsorbents Containing Carbon Nanotubes for Express Pre-Concentration of Volatile Organic Compounds from the Air Flow. *Separations*, 2021; 8(4): 50. <https://doi.org/10.3390/separations8040050>
7. Barratt R.S. The preparation of standard gas mixtures. A review. *Analyst*, 1981; 106(1265): 817-849. <https://doi.org/10.1039/AN9810600817>
8. Slominska M., Konieczka P., Namiesnik J. New developments in preparation and use of standard gas mixtures, *Trends Anal. Chem.*, 2014; 62: 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.07.013>
9. Milton M.J.T., Vargha G.M., Brown A.S. Gravimetric methods for the preparation of standard gas mixtures, *Metrologia*,

References



2011; 48(5): R1-R9. <https://doi.org/10.1201/9780203755105>

10. Nelson G. *Gas Mixtures*. Routledge, 2018; 1: 282. <https://doi.org/10.1201/9780203755105>

11. Fijalo C., Dymerski T., Gebicki J., Namiesnik J. Devices for the Production of Reference Gas Mixtures. *Crit. Rev. Anal. Chem.*, 2016; 46(5): 361-373. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.953672>

12. Platonov I.A., Rodinkov O.V., Gorbacheva A.V., Moskvina L.N., Kolesnichenko I.N. Methods and devices for the preparation of standard gas mixtures. *J. of analytical chemistry*, 2018; 73(2): 109-127. <https://doi.org/10.1134/S1061934818020090>

13. Platonov I.A., Kolesnichenko I.N., Novikova E.A., Mukhanova I.M. Poluchenie gazovykh smesei izvestnogo sostava dinamicheskimi metodami, *Sorbtsionnyye i Khromatograficheskiye Protssy*, 2017; 17(3): 378-387. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2017.17/391> (In Russ.)

14. Platonov I.A., Marilov S.S., Nikishin I.A., Arutjunov Ju.I., Minahmetov R.A., Efimov E.G., Bryksin A.S., Labaev M.Ju. Patent RF, no. 202679, 2021. (In Russ.)

15. Kiper R.A. *Rastvorimost' veshhestv: Spravochnik*. Pushhino, 2-e jelektronnoe izdanie, 2020, 290 p. (In Russ.)

16. Platonov I.A., Muhanova I.M., Kolesnichenko I.N., Bryksin A.S. Izuchenie vozmozhnosti polucheniya postojannykh koncentracij organorastvorimyykh analizov v organicheskikh sredah v processe jekspluatacii monolitnykh hromato-desorbtsionnykh system, *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2023; 23(2): 158-170. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11140> (In Russ.)

17. Vitenberg A.G., Konopel'ko L.A. *Gas-chromatographic headspace analysis: metrological aspects*, 2011: 66(5): 438-457. <https://doi.org/10.1134/S106193481103018X> (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

И.А. Платонов – д.т.н., профессор кафедры химии самарского национально-исследовательского университета имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

А.С. Брыксин – аспирант самарского национально-исследовательского университета имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

И.М. Муханова – к.х.н., доцент кафедры химии самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

И.Н. Колесниченко – к.х.н., доцент кафедры химии самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

I.A. Platonov – prof., grand Ph.D (technical sciences), Head of the department of chemistry, Samara National Research University, Samara, e-mail: pia@ssau.ru

A.S. Bryksin – the postgraduate student of the Department of Chemistry, Samara National Research University, Samara, E-mail: 79376442669@yandex.ru

I.M. Mukhanova – candidate of Chemical Sciences. Associate Professor of the chemistry Department, Samara National Research University, Samara, e-mail: mim042004@mail.ru.

I.N. Kolesnichenko – candidate of Chemical Sciences. Associate Professor of the chemistry Department, Samara National Research University, Samara, e-mail: irniks@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 07.09.2023; одобрена после рецензирования 13.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 07.09.2023; approved after reviewing 13.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.