

УДК 54.04

ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОЙ ГРАДУИРОВКИ ПОРТАТИВНОГО ГАЗОВОГО ХРОМАТОГРАФА С ФОТОИОНИЗАЦИОННЫМ ДЕТЕКТОРОМ ДЛЯ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОИСКА ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

© 2025 г. М. Н. Балдин^a, В. М. Грунов^{a, b, *}

^aИнститут нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН
просп. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090 Россия

^bНовосибирский государственный технический университет
просп. Карла Маркса, 20, Новосибирск, 630073 Россия

*E-mail: GruznovVM@ipgg.sbras.ru

Поступила в редакцию 19.06.2024 г.

После доработки 27.09.2024 г.

Принята к публикации 27.09.2024 г.

Представлены результаты формирования в полевых условиях градуировочной концентрации равновесного пара толуола методом однократной экстракции в статических условиях. Обоснован метод текущей корректировки градуировки газового хроматографа с учетом нестабильности светового потока безэлектродной лампы вакуумного ультрафиолета фотоионизационного детектора.

Ключевые слова: коэффициент Генри, текущая корректировка градуировки, портативная газовая хроматография, фотоионизационный детектор.

DOI: 10.31857/S0044450225020112 EDN: aeyiyo

При поиске залежей углеводородов геохимическим методом проводят геохимическую съемку на исследуемой площади. В процессе съемки регистрируют мигрирующие из залежи на поверхность Земли следовые концентрации ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксиолов) [1] методом пассивного концентрирования путем закладки концентраторов на глубину 0.5–1 м в точках геохимического профиля с интервалом 100–200 м на 1–2 суток. В качестве концентраторов используют металлические трубы длиной 30 мм, внешним диаметром 6 мм, толщиной стенки 0.4 мм с нанесенным на внутреннюю поверхность сорбентом – полисилоксановой хроматографической неподвижной фазой SE-30 [2].

Концентрирование обеспечивает регистрацию ароматических углеводородов на уровне 10^{-12} г/см³. Содержимое концентраторов анализируют в поле портативным поликапиллярным газовым хроматографом (ГХ) ЭХО-В-ФИД с фотоионизационным детектором (ФИД) и атмосферным воздухом в качестве газа-носителя. Воздух очищается встроенным фильтром.

Фотоионизационный детектор ГХ имеет ряд особенностей, обусловливающих необходимость часто проводить градуировку ГХ в полевых условиях при проведении геохимической съемки. Первая особенность – текущее загрязнение оптического окна ионизационной камеры детектора. Вторая особенность связана с нестабильностью светового потока используемой в ФИД безэлектродной лампы вакуумного ультрафиолета (ВУФ), возбуждаемой внешним переменным током высокой частоты от встроенного генератора электрического сигнала, а именно: световой поток ВУФ-лампы уменьшается с течением времени работы лампы [3]. Обе особенности лампы ФИД уменьшают световой поток в ионизационной камере детектора. В настоящей работе рассмотрена градуировка ГХ с учетом отмеченных особенностей ФИД, в качестве градуировочного аналита выбран толуол.

Загрязнение оптического окна ионизационной камеры ФИД за счет возникающей полимерной пленки на окне лампы происходит медленно. Ослабление ВУФ-излучения за счет полимерной пленки на окне лампы в течение 10

ч работы не превышает 2 % [4], что практически не влияет на результаты анализов. По опыту полевой работы градуировка прибора в этом случае необходима один раз в день с использованием градуировочных газообразных образцов проб. Известно, что для градуировки применяют парофазные источники газовых смесей [5] и формирователи микропотока [6]. Первые достаточно компактны, но для них, как правило, требуются источники инертного газа, что неудобно в полевых условиях. Вторые созданы в основном для лабораторных условий.

При геохимической съемке концентраций аренов необходима в общем случае градуировка по одному из аренов. Градуировка по веществам из других химических групп, например по ацетону [7], потребует пересчета градуировки с учетом газохроматографических режимов определения градуировочного вещества, что приведет к дополнительным погрешностям. По этой причине создана методика градуировки по толуолу.

В известных методах градуировки по толуолу используются проницаемые трубы (Permeation Tubes) [8–10]. Для получения стабильной концентрации толуола с трубок необходимо их помешать в термостат и постоянно пропускать стабильный поток чистого газа. Очевидно, что для использования проницаемых трубок в качестве источника градуировочной концентрации необходимо в портативный ГХ включить специальное оборудование, что неудобно для портативной технологии градуировки. Поэтому эту проблему решали с помощью методики создания равновесного пара толуола над его водным раствором.

В лабораторных условиях для создания концентраций равновесного пара толуола над его водным раствором на уровне 10^{-10} г/см³ используют непрерывную газовую экстракцию воздухом, очищаемым фильтром [7]. Тем не менее актуальна разработка более простого и экспрессного способа создания следовых концентраций толуола на уровне 10^{-10} г/см³, пригодного для работы в полевых условиях.

Цель настоящей работы – обоснование метода формирования в полевых условиях градуировочной концентрации равновесного пара толуола путем однократной экстракции в статических условиях и метода текущей корректировки градуировки ГХ с учетом нестабильности светового потока безэлектродной ВУФ-лампы ФИД по заранее заданной программе. Рассмотрено создание равновесного градуировочного пара толуола над водным раствором толуола методом однократной экстракции в статических условиях [11], и предложен метод текущей корректировки градуировки ГХ по усредненной функции спада светового потока ВУФ-лампы в течение рабочего дня.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Растворители и реагенты. В качестве растворителя для приготовления градуировочного раствора толуола использовали дистиллированную воду (400 мл) в сосуде емк. 500 мл. Использовали спиртовой раствор 2 мкл толуола (ГОСТ 5789-78) в 5 мл 95 %-ного этанола (ГОСТ 32036-2013). Градуировочный водный раствор толуола готовили растворением 1 мкл спиртового раствора толуола в 400 мл дистиллированной воды. Это соответствовало внесению в систему 3.47×10^{-7} г толуола. Спиртовой раствор толуола вносили в середину объема жидкости микрошприцем HAMILTON (Hamilton Company, США). Объем газовой фазы V_g в сосуде при закрытой пробке составлял 97 мл. Полученный раствор интенсивно взвешивали в течение 5 мин.

Для приготовления растворов использовали мерный цилиндр емк. 1000 мл (ГОСТ 1770-74) с ценой деления 10 мл, пипетку цифровую (ЗАО “Лабсистем СПб”, Россия) на 1000–5000 мкл.

Аппаратура. Градуировочную концентрацию толуола определяли методом сравнения с найденной концентрацией толуола от источника микропотоков “Микрогаз” (ЗАО “ИНТЕРА”, Россия) с эталоном 1 разряда [12]. Для определения концентраций использовали ГХ ЭХО-ВФИД со сменными устройствами ввода проб (инжекторами): шприцевым, петлевым автодозирующим и концентрационным для ввода проб с концентратором [13]. Температуру измеряли термометром ИТ-17.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Время установления равновесной концентрации толуола. После интенсивного предварительного взвешивания водного раствора толуола в течение 5 мин для определения времени установления равновесной концентрации ($t_{\text{равн}}$) толуола в воздухе над водным раствором измеряли зависимость среднеквадратичного отклонения (СКО) площадей хроматографических пиков толуола $S_{\text{толуол}}$ от времени покоя $t_{\text{пок}}$ раствора по трем измерениям при $t_{\text{пок}}$ 5, 10, 15, 20, 30, 40 мин. Для каждого значения времени покоя $t_{\text{пок}}$ готовили три образца градуировочного раствора. Пробы пара толуола отбирали микрошприцем HAMILTON. Результаты измерений приведены на рис. 1.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при времени установления равновесия $t_{\text{равн}} = 40$ мин значение СКО минимально и составляет 2.6 %. По этой причине время 40 мин рекомендовали в качестве времени установления равновесия приготовленного градуировочного раствора.

Зависимость от температуры коэффициента Генри для толуола в системе водный раствор

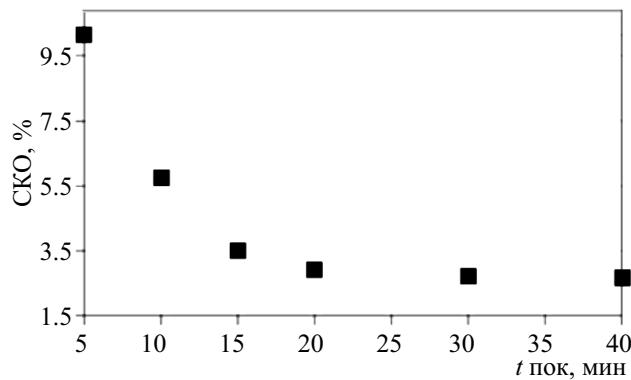


Рис. 1. Зависимость СКО амплитуд площадей пиков толуола от времени покоя раствора.

толуола–воздух. Концентрация толуола в газовой фазе над водно-спиртовым раствором толуола зависит от температуры T , объемов жидкой V_L и газовой фаз V_G и массы m внесенного вещества. Концентрации толуола определяли путем прямых измерений относительно значений из источника микропотоков “Микрогаз”. Из отношения площадей пиков толуола определяли концентрации толуола в газовой фазе c_G над водным раствором толуола:

$$c_G = \frac{S_G}{S_{MG}} \cdot \frac{c_{MG}}{G}, \quad (1)$$

где S_G – площадь пика толуола газовой фазы над раствором; S_{MG} – площадь пика толуола из источника “Микрогаз”; $c_{MG} = 9.90 \times 10^{-11}$ г/см³ – постоянная концентрация толуола из источника “Микрогаз”; G – коэффициент, приводящий измеренные значения к температуре 23 °С и давлению 760 мм рт. ст.

Условия измерений: время установления равновесной концентрации – 40 мин; время пробоотбора газовой фазы – 2 с; отбираемый объем – 7.1 мл; устройство отбора и ввода проб – петлевой автодозирующий инжектор.

Коэффициент Генри в зависимости от температуры раствора определяли отношением:

$$K = c_L/c_G, \quad (2)$$

где c_L , c_G – концентрации толуола в жидкой и газовой фазах соответственно.

Коэффициент Генри определяли по семи измерениям для каждой температуры. Концентрацию в газовой фазе оценивали по площади хроматографического пика. Полученные результаты сопоставлены с результатами работ [7, 11] (табл. 1).

Зависимость логарифма коэффициента Генри $\ln K$ от обратной температуры $1000/T$ согласно значениям, приведенным в табл. 1, изображена на рис. 2. Измеренное значение коэффициента

Таблица 1. Зависимость коэффициента Генри для толуола от температуры

Настоящая работа		Данные [7]		Данные [11]	
$t, ^\circ\text{C}$	K	$t, ^\circ\text{C}$	K	$t, ^\circ\text{C}$	K
15.3	8.47	19.8	6.5	15	5.4
20.7	6.15	23.4	5.4	20	4.51
21.5	6.06	24.8	5	25	3.97
22.3	5.86	27.3	4.3	30	3.51
24.7	5.57	29.8	4.1	40	2.82
26.1	4.53	31.3	3.9		
27.3	3.77	31.8	3.7		
28	2.97	33.4	3.6		
		34.8	3.5		

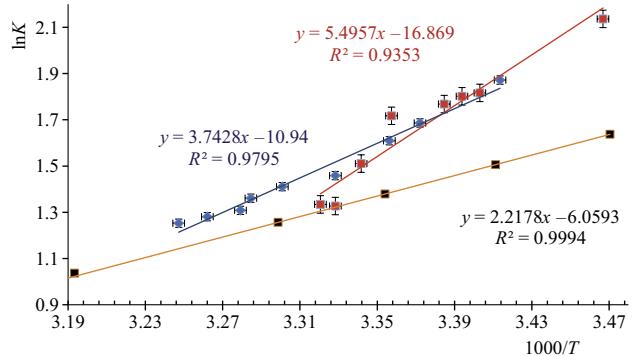


Рис. 2. Зависимость $\ln K$ от $1000/T$, где T – температура, К. (■) – измеренные значения, (◆) – данные [7], (■) – данные [11].

Генри близко к данным работы [7] и отличается частично температурным градиентом. Отличия связаны с другими условиями измерений в работе [7], а именно: с использованием исходного раствора толуола в ацетоне и непрерывной газовой экстракцией раствора очищаемым предварительно воздухом. В работе [14] использовали концентрации толуола на порядки выше, что может влиять на величину коэффициента Генри.

Относительную погрешность градуировочной концентрации толуола σ_K определяли, предполагая независимость относительных погрешностей приготовления концентрации водного раствора толуола σ_L и коэффициента Генри σ_K . Относительную погрешность σ_L определяли, предполагая независимость погрешностей измерения объемов воды σ_V , газовой фазы σ_G , этанола σ_E , толуола σ_T , спиртового раствора толуола σ_{ET} . По результатам пяти измерений $\sigma_V = 1.25\%$, $\sigma_G = 2.5\%$, $\sigma_E = 2.8\%$, $\sigma_T = 2\%$, $\sigma_{ET} = 2.8\%$ и $\sigma_L = 4\%$.

Таким образом, для градуировки ГХ по толуолу в полевых условиях рекомендуется использовать предложенный метод формирования градуировочной концентрации равновесного пара толуола путем однократной экстракции в статических условиях с определением градуировочной концентрации толуола c_G из выражения (2) по найденному коэффициенту Генри для толуола в диапазоне температур от 15 до 28 °С (табл. 1).

Текущая корректировка градуировки газового хроматографа с учетом нестабильности светового потока безэлектродной лампы вакуумного ультрафиолета **ФИД**.

Стабильность светового потока безэлектродной лампы вакуумного ультрафиолета от момента включения ГХ исследовали путем анализа на ГХ ЭХО-В-ФИД воздуха с концентрацией толуола 10^{-10} г/см³ непрерывно в течение не менее 8 ч. Концентрация толуола формировалась с помощью источника микропотоков “Микрогаз”. Пробы воздуха из “Микрогаза” отбирали автоматическим петлевым инжектором по заданной программе и анализировали через каждые 7.5 мин в течение 8-часового рабочего дня. Зависимость светового потока от времени работы ВУФ-лампы определяли по изменению амплитуды хроматографического пика толуола с учетом того, что интенсивность светового потока пропорциональна амплитуде пика толуола [4, 15].

На рис. 3 приведены полученные зависимости величины $100 \times (A - A_r)/A_r$ от времени работы прибора, где A — текущая амплитуда пика толуола, A_r — амплитуда пика толуола из источника микропотоков

“Микрогаз”, зарегистрированная через час после включения лампы (прибора). Результаты приведены для двух приборов и разных интенсивностей лампы вакуумного ультрафиолетового излучения (**Инт. ВУФ**). Видно, что падение интенсивности ВУФ-излучения примерно на 40 % происходит в течение первого часа работы лампы, поэтому градуировка прибора с ФИД целесообразна через 1 ч после включения прибора. При меньшей интенсивности ВУФ-излучения (Инт. ВУФ 1) падение интенсивности через 1 ч после включения прибора не превышает 5 %. При относительных интенсивностях ВУФ-излучения в диапазоне 1.6–1.8 для различных условий работы приборов падение интенсивности за период после градуировки на всем протяжении укладывается в диапазон ± 5 % (через 8 ч работы минимальное падение по сравнению с градуировочной интенсивностью составило 10 %, максимальное — 20 %). При высокой относительной интенсивности ВУФ-излучения 3.8 (Инт. ВУФ 3.8), необходимой для увеличения чувствительности, падение интенсивности достигает 30 %.

Для падения интенсивности светового потока ВУФ-лампы характерен экспоненциальный спад. Зная экспоненту, можно организовать текущую корректировку исходной градуировки отклика ФИД в зависимости от времени работы прибора, отсчитываемого от 1 ч с момента включения прибора.

Текущая корректировка градуировки фотонизационного детектора. Стандартная процедура градуировки при анализе содержимого пассивных концентраторов в полевых условиях включает градуировку через 1 ч после включения прибора. Используют шприцевой или петлевой инжекторы (сменные устройства ввода проб) и специально приготовленную градуировочную концентрацию пара толуола.

После окончания градуировки прибора для анализа содержимого концентратора в прибор устанавливают концентрационный инжектор с концентратором. Смена инжектора и установка новых режимов работы прибора занимает до 30 мин. В полевых условиях, когда нужно оперативно проанализировать снятые с геохимического профиля около 100 концентраторов для последующей их установки на другой профиль, применение стандартной процедуры градуировки перед анализом каждого концентратора неприемлемо увеличивает общую продолжительность анализа концентраторов из-за постоянной смены инжекторов при градуировке.

Для сокращения общей продолжительности анализа содержимого концентраторов предложена текущая корректировка градуировки

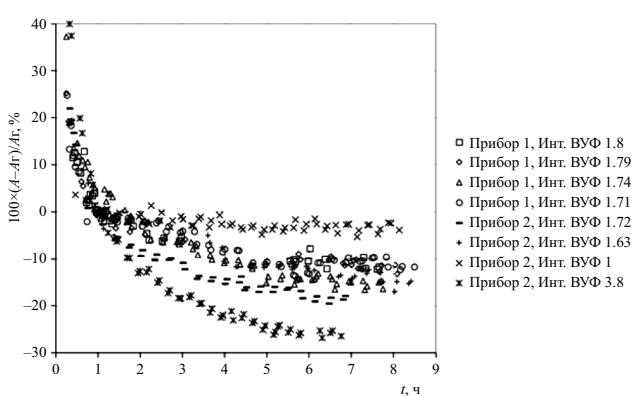


Рис. 3. Относительные по отношению к градуировочному пику A_r изменения (%) пика толуола $100 \times (A - A_r)/A_r$ от времени работы прибора. Приведены кривые для разных условий работы для двух приборов. Инт. ВУФ — относительная интенсивность ВУФ-излучения, нормированная на ВУФ-излучение, соответствующее току зажигания газового разряда лампы.

с учетом зависимости падения светового потока от момента времени включения прибора. При этом для конкретной конфигурации ФИД: лампа–генератор–термостат ФИД в ГХ, настроенной на необходимую интенсивность светового потока, через 1 ч после включения прибора измеряют относительную зависимость светового потока от времени работы в течение 8–10 ч при определении 10^{-10} г/см³ толуола и получают уравнение изменения относительной интенсивности в течение 8–10 ч работы. Как отмечено выше, интенсивность светового потока пропорциональна амплитуде пика толуола [4, 15]. Текущую корректировку градуировки отклика ФИД осуществляют с учетом найденного уравнения изменения относительной интенсивности светового потока. Для получения этого уравнения подробно исследовали спад светового потока.

На рис. 4 приведен пример зависимости относительных высот пика толуола от времени работы прибора через 1 ч от момента включения за 8 дней работы ГХ. Регистрировали концентрацию толуола 10^{-10} г/см³ от источника микропотоков “Микрогаз”. Пробы воздуха из “Микрогаза” отбирали автоматическим петлевым инжектором через каждые 7.5 мин в течение 10 ч. Результаты нормировали на высоту хроматографического пика для времени 1 ч после включения прибора. Оптическое окно ионизационной камеры детектора чистили ежедневно в начале работы. Падение градуировочного пика толуола по отношению к амплитуде пика при $t = 1$ ч описывается уравнением вида $y = -A \cdot \ln t + B$, где t – время, отсчитываемое от включения прибора (ВУФ-лампы). Коэффициенты A и B находят экспериментально, как отмечено выше, для конкретной конфигурации ФИД – лампа–генератор–температура ФИД в ГХ. Методом наименьших квадратов вычисляют коэффициенты уравнения A и B (стандартная процедура для программы Excel). При проведении измерений в последующие дни проводится корректировка градуировки по полученному уравнению. Оптическое окно рекомендуется чистить ежедневно.

Сплошная линия на рис. 4 – уравнение текущей корректировки градуировки при $A = 0.053$, $B = 0.984$:

$$y = -0.053 \cdot \ln t + 0.984. \quad (3)$$

Пунктирные линии на рис. 4 – границы диапазона $\pm 5\%$ от значений уравнения текущей градуировки. Из рис. 4 видно, что полученные значения высоты пика толуола за 8 дней отличаются от уравнения текущей градуировки не более чем на $\pm 5\%$. Уравнение (3) используют для текущей корректировки градуировки ГХ в течение рабочего дня.

На рис. 5 приведен пример блок-схемы ГХ с ФИД с текущей корректировкой градуировки отклика ГХ [16], где 1 – блок ввода пробы, 2 – газохроматографическая колонка, 3 – ФИД, 4 – микропроцессорный блок регистрации и обработки сигнала с ФИД. Текущая корректировка градуировки осуществляется в блоке 4, где хранится информация об особенностях работы безэлектродной лампы в существующей конструкции в зависимости от времени работы ГХ в виде уравнения $y = -A \cdot \ln t + B$ (коэффициенты A и B определяются при настройке ГХ). В блок 4 поступает информация из блока 1 ввода пробы о времени ввода в ГХ пробы с концентратора, начиная с момента включения прибора, и в соответствии с этим временем в блоке 4 определяется поправочный коэффициент корректировки калибровки и вносится поправка в сигнал детектора. Результат анализа передается в персональный компьютер, с которым соединен ГХ.

Управление текущей корректировкой градуировки осуществляется специализированным ПО СОРБАТ-М [17], устанавливаемым на персональный компьютер, подключенный к ГХ.

Текущая корректировка градуировки введена в модификацию ГХ ЭХО-В-ФИД для геохимического поиска залежей углеводородов [1].

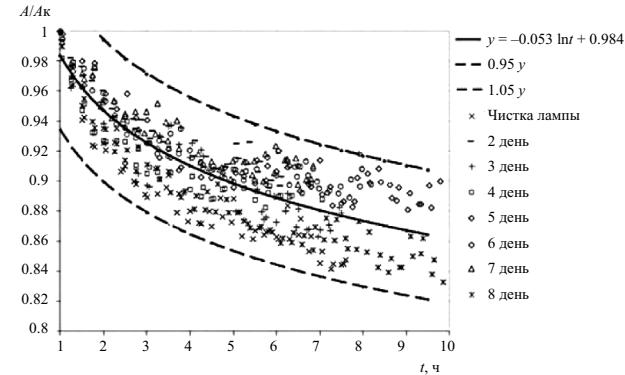


Рис. 4. Зависимости относительных высот пика толуола от времени работы прибора, начиная от момента его включения, за восемь дней работы газового хроматографа. Инт. ВУФ = 3.8.

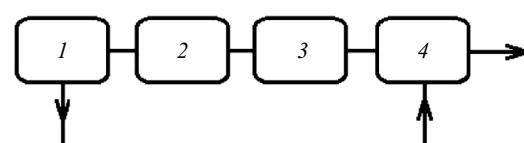


Рис. 5. Блок-схема ГХ с ФИД с текущей корректировкой градуировки отклика ГХ.

* * *

Для комплексной градуировки ГХ по толуолу в полевых условиях предложен метод формирования градуировочной концентрации равновесного пара толуола над его водным раствором путем однократной экстракции толуола в статических условиях с определением градуировочной концентрации толуола по представленному коэффициенту Генри в диапазоне температур от 15 до 28 °C. Равновесный пар толуола используется для исходной градуировки отклика ФИД. Для учета детерминированной (не случайной) нестабильности светового потока используемой в ФИД безэлектродной лампы вакуумного ультрафиолета предложена текущая корректировка исходной градуировки отклика ФИД в зависимости от времени работы прибора, отсчитываемого от 1 ч с момента включения прибора.

Авторы искренне благодарят Какулю В.В., магистранта Новосибирского государственного технического университета, за помощь в проведении экспериментов и Засыпкину И.И., ведущего инженера ИНГГ СО РАН, за помощь в оформлении рукописи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований Российской Федерации, проект FWZZ-2022-0027 (Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук) “Новые технологии внелабораторного химического анализа и контроля, прецизионных измерений физических полей природных и техногенных объектов”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Грузнов В.М., Балдин М.Н., Науменко И.И., Карташов Е.В., Прямов М.В. Портативная газовая хроматография с пассивными концентраторами для экспрессной геохимической съемки по ароматическим углеводородам / Химический анализ в геологии и геохимии / Под ред. Г.Н. Аношина. Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2016. С. 555.
- Балдин М.Н., Грузнов В.М., Карташов Е.В., Конторович А.Э., Сидельников В.Н. Устройство про-боотбора паров углеводородов. Патент на полезную модель № 81344 RU. Опубл. 10.03.2009, приоритет полезной модели 06.10.2008.
- Фотоионизационное детектирование в газоаналитической технике. <https://chromdet.ru/ru/librarys/articles-online/fid> (дата обращения: 05.06.2024 г.).
- Будович В.Л., Будович Д.В., Полотнюк Е.Б. Новые лампы вакуумного ультрафиолета для газоаналитической техники // ЖТФ. 2006. Т. 76. № 4. С. 140.
- Витенберг А.Г., Конопелько Л.А. Парофазный газохроматографический анализ: метрологические приложения // Журн. аналит. химии. 2011. Т. 66. № 5. С. 452. (Vitenberg A.G., Konopel'ko L.A. A Gas-chromatographic headspace analysis: Metrological aspects // J. Anal. Chem. 2011. V. 66. № 5. P. 438.)
- Источники микропотоков газов и паров ИМ-ГП. <https://www.ooo-monitoring.ru/products/calibr/pmt/im-gp/> (дата обращения: 13.05.2024 г.).
- Малышева А.О., Балдин М.Н., Грузнов В.М. Определение коэффициентов распределения летучих органических веществ в системе жидкость–воздух для создания градуировочных газообразных образцов со следовыми концентрациями веществ // Журн. аналит. химии. 2017. Т. 72. № 10. С 867. (Malysheva A.O., Baldin M.N., Gruznov V.M. Determination partition coefficients of volatile organic substances in the system liquid–air for the creation of calibration gas-phase samples with trace concentrations of substances // J. Anal. Chem. 2017. V. 72. № 10. P. 1013.)
- Drager Safety Catalog. <https://www.draeger.com/Content/Documents/Content/Global-Safety-Catalogue-2023-ebk-DMC-en-master-22-12-NO-PRICES.pdf> (дата обращения: 05.06.2024 г.).
- KIN-TEK The Calibration Specialists. <https://kin-tek.com/> (дата обращения: сентябрь 2024 г.).
- Chromatotec “airTOXIC BTX PID”. <https://chromatotec.com/solutions/auto-gc-866-analyzers-range/vocs/airtoxic-btx-pid/> (дата обращения: сентябрь 2024 г.).
- Витенберг А.Г. Статический парофазный газохроматографический анализ. Физико-химические основы и области применения // Рос. хим. журн. 2003. Т. 47. № 1. С. 7.
- Установки динамические “Микрогаз-ФМ” – рабочие эталоны 1-го разряда. Руководство по эксплуатации СКБД. 229655.016 РЭ.
- Хроматограф газовый с фотоионизационным детектором “ЭХО-В-ФИД”. Руководство по эксплуатации ИЦ 421541.805.С600 РЭ.
- Kolb B., Welter C., Bichler C. Determination of partition coefficients by automatic equilibrium headspace gas chromatography by vapor phase calibration // Chromatographia. 1992. V. 34. P. 235.
- Будович В.Л., Полотнюк Е.Б. Об относительной чувствительности фотоионизационного газоанализатора.

- <https://chromdet.ru/ru/librarys/articles-online/ob-otnositelnoj-chuvstvitelnosti-fotoionizatsionnogo-gazoanalizatora> (дата обращения: 21.05.2024 г.)
16. Балдин М.Н., Грузнов В.М., Науменко И.И. Газовый хроматограф с фотоионизационным детектором с безэлектродной лампой с текущей корректировкой калибровки. Патент на полезную модель 204530 RU. Приоритет от 09.03.2021.

Дата госрегистрации 28 мая 2021 г. Опубликовано: 28.05.2021. Б. и. № 16.

17. Малышева А.О., Балдин М.Н., Грузнов В.М., Блинова Л.В. Внелабораторный экспрессный газохроматографический способ анализа выдыхаемого человеком воздуха с автоматизированной градуировкой // Аналитика и контроль. 2018. Т. 22. № 2. С. 177.

PRINCIPLE OF COMPLEX GRADUATION OF A PORTABLE GAS CHROMATOGRAPH WITH A PHOTOIONIZATION DETECTOR FOR GEOCHEMICAL PROSPECTING OF HYDROCARBON DEPOSITS

M. N. Baldin^a, V. M. Gruznov^{a, b, *}

^a*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS)
Novosibirsk, Russia*

^b*Novosibirsk State Technical University
Novosibirsk, Russia*

**E-mail: GruznovVM@ipgg.sbras.ru*

Abstract. The results of formation of the calibration concentration of equilibrium vapor of toluene in the field conditions by the method of single extraction under static conditions are presented. The method of current adjustment of calibration of gas chromatograph is substantiated taking into account instability of light flux of electrodeless vacuum ultraviolet lamp of photoionization detector.

Keywords: Henry coefficient, current adjustment of calibration, portable gas chromatography, photoionization detector.