Uzbek Journal of Physics
DOI: https//doi.org/10.52304/.v25i3.451

О влиянии температуры поверхностно-ионизационного эмиттера на закономерности термодесорбционных спектров наркотических веществ

А.Ш. Раджабов[*,1,2], С.С. Исхакова[1], М.О. Нормуродова[3]

[1]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова Академии Наук РУз, Дурмон йули 33, 100125 Ташкент, Узбекистан
[2]Ташкетский государственный транспортный университет, Темирулчилар, 1, пр. 1, 100167 Ташкент, Узбекистан
[3]Национальный университет Узбекистана, Университетская 4, 100174, Ташкент, Узбекистан

Получена 06.07.2023, revised 27.08.2023

[*]Corresponding author: e-mai a.radjabov0217@gmail.com, Phone: +99890 139 36 14

Исследованы термодесорбционные спектры морфина, героина, кодеина и папаверина при разных температурах T_E поверхностно-ионизационного эмиттера. Выяснено, что зависимости температуры максимума термодесорбционных спектров от T_E эмиттера, наблюдаемые при определенных низких значениях T_E эмиттера, различны для разных исследованных веществ и исчезают при более высоких значениях T_E эмиттера. На основе термодесорбционной спектрометрии и математического моделирования процесса образования ионов на основе закономерностей поверхностной ионизации частиц в нестационарных условиях установлено, что эта зависимость возникает за счет зависимости скорости гетерогенных процессов, происходящих при адсорбции молекул на поверхности эмиттера, от T_E эмиттера.

Ключевые слова: поверхностная ионизация, морфин, героин, папаверин, кодеин, адсорбция, термодесорбционный спектр, математическая модель, скорость химической реакции и десорбции.

The thermal desorption spectra of morphine, heroin, codeine, and papaverine have been studied at different temperatures T_E of the surface ionization emitter. It was found that the dependence of the temperature of the maximum of thermal desorption spectra on the emitter T_E is observed at certain low values of the emitter T_E, is different for different studied substances, and disappears at higher values of the emitter T_E. On the basis of thermal desorption spectrometry and mathematical modeling of the ion formation process based on the patterns of surface ionization of particles under non-stationary conditions; it was found that this dependence arises due to the dependence of the rate of heterogeneous processes occurring during the adsorption of molecules on the emitter surface on the emitter T_E.

Keywords: surface ionization, morphine, heroin, papaverine, codeine, adsorption, thermal desorption spectrum, mathematical model, rate of chemical reaction and desorption.

I. Введение

Известно, что многие практические проблемы экологии, санитарии/гигиены, эпидемиологии, криминалистики, токсикологии и наркологии [1-7] связаны с задачами идентификации и количественным анализом определенных веществ в газовых смесях, экстрактах биопроб, продуктах питания и объектах окружающей среды [8-15]. В настоящее время для решения этих задач используются методы, основанные на ионизации в совокупности с различными способами разделения смесей и ионов [10–15]. Однако, несмотря на высокий уровень методов и приборов лабораторного анализа активных органических соединений [16-20], высокочувствительный экспрессный прямой (селективный) анализ образцов в полевых условиях остается одним из важных направлений в развитии аналитической области [21]. Одной из основных задач этого направления является создание относительно простых и не требующих особых условий (газы, ваку-

ум и др.) приборов с небольшими габаритами, энергопотреблением и временем анализа, что приведет к уменьшению себестоимости приборов и анализа образцов. В настоящее время проводятся многочисленные научные и научно-технические работы в этом направлении. К ним и относятся работы по применению термодесорбционных (ТД) спектрометров с селективным поверхностно-ионизационным (ПИ) способом детектирования веществ в условиях атмосферы воздуха.

ПИ термодесорбционные спектрометры показали свои возможности не только как методы качественного и количественного анализа хроматографически чистых активных органических веществ, но и как метод, способный анализировать следы психологически активных органических веществ в биорастворах (кровь и моча потребителей этих веществ) [22-24]. Поэтому развитие технологии и теоретических основ метода ПИ термодесорбционной спектрометрии может позволить решать ряд практических задач аналитической химии.

Теоретические основы ПИ термодесорбционной спектрометрии изучались авторами в ряде работ [25-27]. По результатам исследований в ПИ детекторе ионизационная эффективность определяется соотношением (по Ловеллоку)

$$L = \frac{\nu^+}{\nu_a} = \eta \sum_z \gamma_i \beta_i = \eta \beta_M \,, \qquad (1)$$

где ν_a – поток молекул, адсорбирующих на поверхности ПИ эмиттера; ν^+ – поток десорбированных ионов с ПИ эмиттера; γ_i – коэффициент преобразования молекул в частицы i-того вида вследствие гетерогенных химических реакций по i-тому каналу; β_i – коэффициент ПИ частиц i-того вида; z – число каналов гетерогенных химических реакций молекул; η – коэффициент использования (потерь) веществ в детекторе; β_M – молекулярный коэффициент ПИ [25, 28, 29].

Такой подход позволил объяснить многие результаты экспериментальных исследований. Однако экспериментально наблюдаемые смещения закономерностей ТД спектров от закономерностей термодесорбционной спектрометрии [30, 31], а именно: зависимость температуры максимума и ширины ТД спектров от температуры ПИ эмиттера все еще остаются не объясненными.

Данная работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию закономерностей возникновения зависимости температуры максимума и ширины ТД спектров от температуры эмиттера.

II. Объекты и методы исследования

Взаимосвязь между кинетикой термически программированного испарения и кинетикой гетерогенных химических реакций с образованием ионов исследовалась для относительно хроматографически чистых (не менее 99%) веществ, как морфин, папаверин, героин и кодеин. Хроматографически чистый папаверин фирмы «Alltech» (США), морфин, героин и кодеин в микроколичествах были переданы из Городского бюро Судебно-медицинской экспертизы Ташкента согласно договорам о научном сотрудничестве.

Экспериментальные исследования проводили на лабораторном стенде, построенном на базе ПИ детектора-спектрометра «Искович». Схема детектора с системой испарителя веществ представлена на рис. 1.

Детектор состоит из анода ПИ эмиттера (1) нагреваемого косвенным накалом – нихромовой нитью (2), вытягивающего электрода (3), коллектора (4), вещества (5), наносимого на поверхность испарителя (6), насоса (7), прокачивающего воздух с молекулами испаряемых веществ, системы воздушного охлаждения ионного источника с алюминиевым радиатором (8), прикрепленным к корпусу детектора.

При прокачивании испаренных молекул веществ к детектору также прокачивается горячий поток воздуха, выделяемый в системе испарения веществ, который может привести к увеличению температуры эмиттера и источника ионов. Для предотвращения этого действия система испарения веществ оснащалась экраном (9) из нержавеющей стали и дополнительным насосом (10) для прокачивания горячего воздуха из испарителя по отдельному каналу. Стрелками обозначена линия воздушного потока.

Эмиттер представляет собой окисленный молибден, легированный иридием [32], выполненный в виде полого цилиндра длиной 12 мм и диаметром 2.5 мм. Температуры эмиттера и испарителя определяли хромель-алюминиевой термопарой.

Нагрев испарителя и испарение молекул веществ с испарителя происходили согласно закону $T(t)=T_0+\omega t$ со скоростью ω=10°C/сек относительно начальной температуры T_0=300±0.5 К.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

Скорость откачки воздуха обоими насосами составляла порядка ~70 лит/час. Ток ионов $I(t)$ записывали синхронно с зависимостью $T(t)$ (рис. 2). Запись и обработку спектров осуществляли посредством цифрового осциллографа UTD2102 CEX с программными обеспечениями DSO Monitor Controller V1.8 и Wave Analysis фирмы UNI-Trend [33].

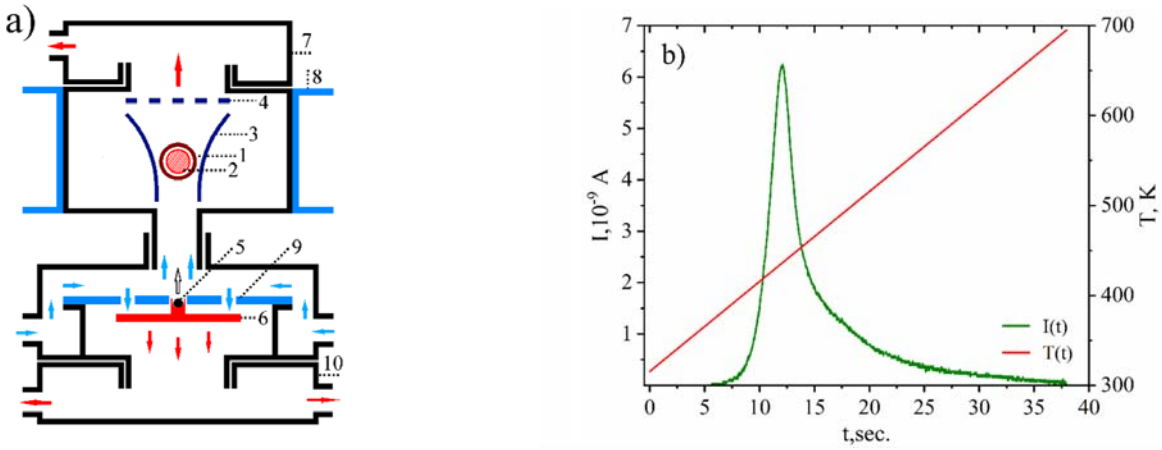


Рисунок 1. Схема ПИ детектора с испарителем (a); принцип регистрации тока ионов и развертки температуры испарителя (b).

..

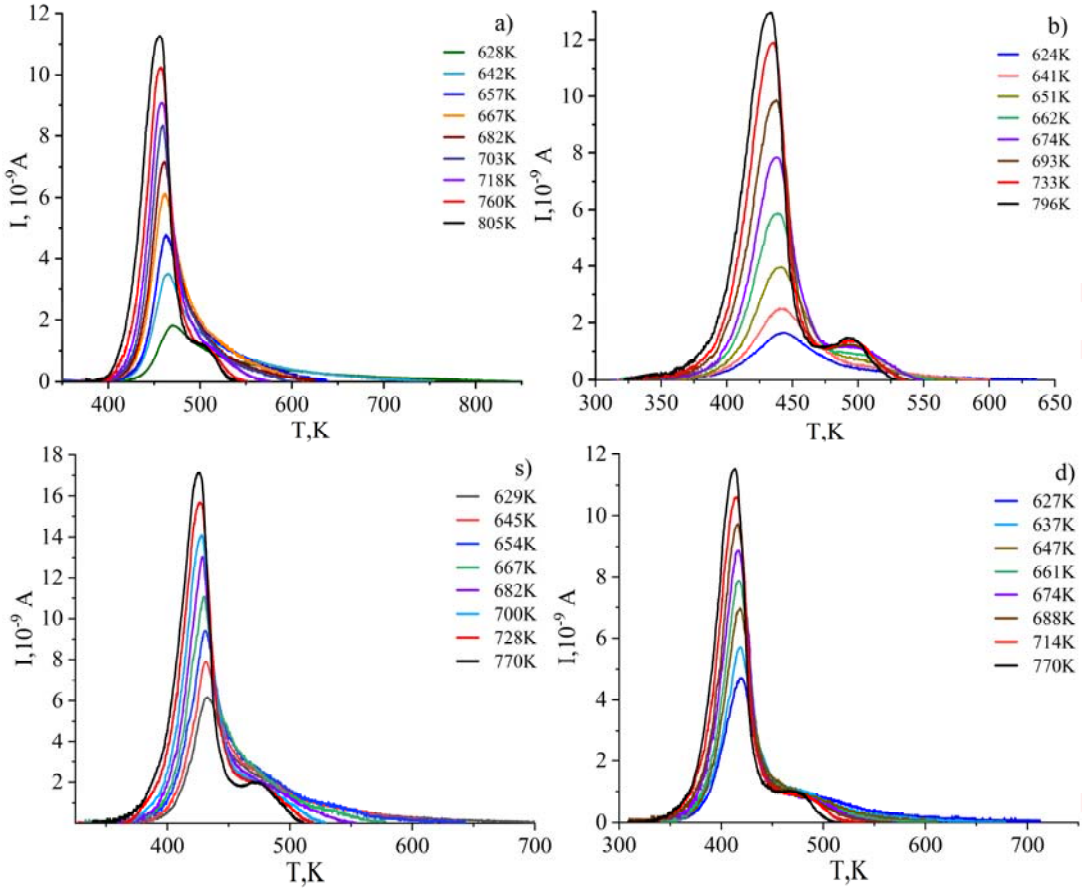


Рисунок 2. ТДПИ спектры морфина (a), героина (b), папаверина (s) и кодеина (d), полученных при разных температурах эмиттера.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

Теоретические исследования и их сравнение с экспериментальными результатами проводили в программной среде Wolfram Mathematica [34]. Для достижения поставленной цели была получена серия спектров при различных значениях температуры ПИ эмиттера T_E.

III. Описание и анализ результатов исследований

На рис. 2a-d представлены ТДПИ спектры морфина, героина, папаверина и кодеина, полученные при разных T_E эмиттера. Соответствующие значения T_E приведены на рисунке. Как видно из рис.2a, с увеличением температуры T_E эмиттера интенсивность спектров морфина увеличивается, а температура максимума T_m спектров уменьшается.

На рис. 3a (кр. 1) представлена зависимость $T_m = f(T_E)$ для морфина. Данная зависимость слабеет с увеличением T_E. Исследования заряда ионов Q_m, десорбированных до максимума T_m спектра, показывают, что с увеличением T_E значения Q_m/Q_0 увеличиваются, а форма спектра становится более узкой, где Q_0 – заряд ионов, соответствующий полной площади спектра. Зависимость $Q_m/Q_0 = f(T_E)$ для морфина представлена на рис. 3b (кр. 1). Как видно, с увеличением T_E зависимость $Q_m/Q_0 = f(T_E)$ слабеет и с некоторого значения T_E зависимость $Q_m/Q_0 = f(T_E)$ достигает области, где можно считать $Q_m/Q_0 \approx const$. В исследуемой области T_E значение Q_{max} достигает значения $Q_{max} \approx 0.6\ Q_0$.

Но форма спектра практически не меняется. Схожие эффекты наблюдались также при исследованиях героина, папаверина и кодеина.

Известно, что молекулы, адсорбированные на поверхности горячего эмиттера, вступают в гетерогенные химические реакции диссоциации, дегидрирования, ассоциации или десорбируют в исходном молекулярном состоянии [28, 29, 35]. Зависимости $T_m = f(T_E)$ и $Q_m/Q_0 = f(T_E)$ возникает из-за того, что эти гетерогенные процессы протекают в нестационарных условиях. В этом случае не выполняется условие:

$$\nu_a = \eta\omega\frac{dn}{dT} = \eta V n \approx \approx \eta V n_0 \exp\left[-\frac{kT^2}{\omega q} D \exp\left(-\frac{q}{kT}\right)\right], \quad (2)$$

где n_0 – число молекул вещества, нанесенного на поверхность испарителя; dn/dT – скорость изменения числа молекул на поверхности испарителя; q и V – теплота и скорость испарения (или сублимации) молекул веществ; D – константа; T – температура испарителя; ω – скорость развертки температуры испарителя; η – коэффициент использования веществ в спектрометре; k – постоянная Больцмана.

За счет химических реакций и десорбции число молекул в адсорбционном слое уменьшается со скоростью:

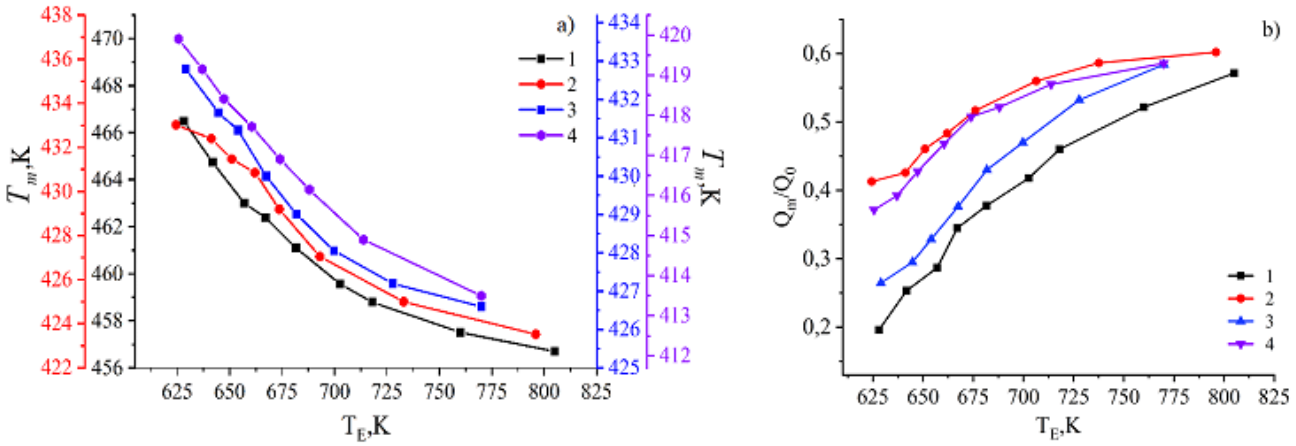


Рисунок 3. Графики зависимостей температуры максимума T_m (a) и соотношения Q_m/Q_0 (b) от температуры T_E эмиттера: 1 – морфин; 2 – героин; 3 – папаверин; 4 – кодеин.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

$$A = K_M + \sum_z K_i^d = C_M \exp\left[-\frac{E_M}{kT_E}\right] + \sum_z G \exp\left[-\frac{E_i^d}{kT_E}\right],$$

где $\sum_z K_i^d$ – сумма скоростей химических реакций молекул по всем возможным каналам; K_M – скорость десорбции молекул в исходном молекулярном состоянии; E_i^d – и E_M – энергия активации соответствующих процессов; z – число каналов гетерогенных химических реакций молекул; C_M и G – константы.

Число молекул N в адсорбированном состоянии связано с величинами A и dn/dT согласно уравнению непрерывности следующим образом:

$$\frac{dN}{dT} = -\eta\frac{dn}{dT} - \frac{AN}{\omega}. \qquad (3)$$

Число частиц (N_i) продуктов гетерогенных химических реакций и число молекул (N_M), десорбирующих в исходном молекулярном состоянии, изменяются согласно уравнениям

$$\frac{dN_i}{dT} = \frac{\gamma_i AN}{\omega} - \frac{K_i N_i}{\omega} \text{ и } \frac{dN_M}{dT} = \frac{\gamma_M AN}{\omega} - \frac{K_M N_M}{\omega}, \qquad (4)$$

где $\gamma_i = K_i^d / A$ – коэффициент, показывающий долю N молекул, которые, вступая в гетерогенные химические реакции по i-тому каналу, преобразуются в частицы i-того вида; $\gamma_M = 1 - \sum_z \gamma_i$ – доля N частиц, которые десорбируют в исходном молекулярном состоянии; $K_i = C_i \exp\left[-E_i / kT_E\right]$ – скорость десорбции частиц i-того вида, E_i – энергия активации процесса десорбции частиц i-того вида, C_i – константа [28, 29]. А суммарное число этих частиц N_s меняется соответственно по уравнению

$$\frac{dN_s}{dT} = \frac{dN_M}{dT} + \sum\frac{dN_i}{dT} = \frac{AN}{\omega} - \frac{K_M N_M}{\omega} - \sum\frac{K_i N_i}{\omega}. \qquad (5)$$

Из экспериментальных результатов и уравнений (2), (3), (4) и (5) видно, что гетерогенные процессы происходят в нестационарных условиях, из-за чего возникают зависимости $T_m = f(T_E)$ и $Q_m/Q_0 = f(T_E)$. С увеличением T_E увеличиваются значения A, K_i^d, K_M и K_i, из-за чего зависимости $T_m = f(T_E)$ и $Q_m/Q_0 = f(T_E)$ слабеют. Численный анализ уравнений (4) и (5) показал, что в условиях, когда T_m и Q_m/Q_0 не зависят от T_E, выполняются следующие условия

$$\frac{dN}{dT} \to 0,\ \frac{dN_i}{dT} \to 0,\ \frac{dN_M}{dT} \to 0,\ \frac{dN_s}{dT} \to 0 \qquad (6)$$

т.е. гетерогенные процессы, происходящие на поверхности эмиттера, переходят от нестационарного состояния к квазистационарному.

В условиях, определяемых уравнением (6), закономерности ТД спектров, полученных спектрометром, будут соответствовать закономерностям термодесорбционной спектрометрии. Токи регистрируемых ионов соответствующих видов (I_i и I_M) и их I_s сумма определяются соотношениями

$$\begin{aligned} I_i &= e\beta_i K_i N_i = e\beta_i\gamma_i\nu_a = eE_i Vn, \\ I_M &= e\beta_M K_M N_M = e\beta_M\gamma_M\nu_a = eE_M Vn, \\ I_s &= e\left(E_M + \sum_z E_i\right)nV = Q_0 V \exp\left[-\frac{kT^2}{\omega q}V\right] \end{aligned} \qquad (7)$$

где β_i и β_M – коэффициенты ПИ; e – заряд электрона; $E_i = \eta\beta_i\gamma_i$ и $E_M = \eta\beta_M\gamma_M$ – эффективности ионизации молекул веществ на соответствующие виды ионов, сумма которых равна $E = E_M + \sum_i E_i$.

Учитывая закономерности ТД спектрометрии, для определения суммарного заряда десорбированных ионов до температуры испарителя (спектра) получим

$$Q = Q_M + \sum_z Q_i = Q_0\left(1 - \exp\left[-\frac{kT^2}{\omega q}V\right]\right). \qquad (8)$$

На максимуме T_m спектра заряд десорбированных ионов Q_m до T_m равен

$$Q_m = 0.63Q_0 = const. \qquad (9)$$

А между I_m и Q_0 установится соотношение (согласно (7) и (8))

$$I_m / Q_0 = 0.36\ V_m = const, \qquad (10)$$

где I_m и V_m – ток и скорость испарения молекул на максимуме спектра. В исследуемой области величина T_m спектров в среднем достигает $Q_m \approx 0.6\ Q$.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

На максимуме испарения веществ по закономерностям ТД спектрометрии выполняются условия $(kT_m^2 / \omega q)V_m = 1$. Учитывая это, из (9) и (10) получим выражение для определения q

$$q = \frac{1.75kT_m^2}{e\omega}\frac{I_m}{Q_m}. \qquad (11)$$

Значения q, определенные по (11), приведены в таблице.

Таблица. Значение теплоты сублимации веществ q.

Вещество	Теплота сублимации, q, eV
Морфин	1.18
Героин	1.12
Папаверин	1.14
Кодеин	1.03

Как упоминалось выше, в исследуемой области T_E величина T_m спектров веществ, в среднем, достигает значения $Q_m \approx 0.6\ Q$, что свидетельствует о справедливости соотношении (2)-(11).

IV. Заключение

Таким образом, гетерогенные физико-химические процессы в ПИ термодесорбционной спектрометрии протекают в нестационарных условиях. Нестационарность возникает за счет испарения молекул веществ в термически запрограммированном режиме. Закономерности этих процессов на всех стадиях описываются уравнениями неразрывности.

Для того, чтобы закономерность полученных спектров соответствовала закономерности термодесорбционной спектрометрии, необходимо выполнения условия квазистационарности.

Случаи, не удовлетворяющие условию квазистационарности, для аналитических исследований неприменимы, так как это существенно усложняет работы по определению класса веществ и их качественному и количественному анализу.

Метаданные

Influence of the temperature of the surface-ionization emitter on the regularities of the thermal desorption spectra of narcotic substances

A.Sh. Radjabov[1,2], S.S. Iskhakova[1], M.O. Normurodova[3]

[1]Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies named after U.A. Arifov Academy of Sciences of RUz, Durmon Yuli 33, 100125, Tashkent, Uzbekistan
[2]Tashkent State Transport University, Temiryolchilar str., 1, 100167 Ташкент, Узбекистан
[3]National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, University str., 4, 100174, Tashkent, Uzbekistan

The thermal desorption spectra of morphine, heroin, codeine, and papaverine have been studied at different temperatures T_E of the surface ionization emitter. It was found that the dependence of the temperature of the maximum of thermal desorption spectra on the emitter T_E is observed at certain low values of the emitter T_E, is different for different studied substances, and disappears at higher values of the emitter T_E. On the basis of thermal desorption spectrometry and mathematical modeling of the ion formation process based on the patterns of surface ionization of particles under non-stationary conditions; it was found that this dependence arises due to the dependence of the rate of heterogeneous processes occurring during the adsorption of molecules on the emitter surface on the emitter T_E.

Keywords: surface ionization, morphine, heroin, papaverine, codeine, adsorption, thermal desorption spectrum, mathematical model, rate of chemical reaction and desorption.

Литература (References)

[1] I.V. Yakunina, N.S. Popov, Metody i pribory kontrolya okruzhayushei sredy. Ekologicheskii monitoring (Izdatelstvo TGTU, Tambov, 2009).
[2] G. Norman, M. Marriott, Wes Schilling, Robert B. Gravani, Principles of Food Sanitation. Sixth Edition (Springer International Publishing AG (part of Springer Nature 2018). DOI: 10.1007/978-3-319-67166-6
[3] S.E. Shibanov, General Hygiene and Medical Ecology. Textbook for Students of Medical Faculties (Simferopol, 2018).
[4] R. Bonita, R. Beaglehole, T. Kjellström. Basic epidemiology. 2nd edition (World Health Organization, 2006).
[5] Jørn Olsen, Naomi Greene, Rodolfo Saracci, Dimitrios Trichopoulos. Teaching Epidemiology, A guide for teachers in epidemiology, public health, and clinical medicine. Fourth edition (Oxford University Press, 2015).
[6] Krishan Vij, Textbook of Forensic Medicine and Toxicology. Principles and Practice. Fifth Edition (Elsevier India, 2011).
[7] Victor R. Preedy. Neuropathology of Drug Addictions and Substance Misuse, Vol.2, Stimulants, Club and Dissociative Drugs, Hallucinogens, Steroids, Inhalants, and International Aspects (Elsevier Inc., 2016).
[8] Gary D. Christian, Purnendu K. (Sandy) Dasgupta, Kevin A. Schug. Analytical Chemistry (John Wiley & Sons, 2013).
[9] Norazhar Abu Bakar, A. Abu-Siada, S. Islam. IEEE Electrical Insulation Magazine **30**, No.3, 39 (2014). DOI: 10.1109/MEI.2014.6804740
[10] John R. Dean. Extraction Techniques in Analytical Sciences (John Wiley & Sons, Ltd, 2009).
[11] R. Self. Extraction of Organic Analytes from Foods. A Manual of Methods (The Royal Society of Chemistry, 2005).

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

[12] S. Suzanne Nielsen. Food Analysis (Springer International Publishing, 2017).
[13] Adriana S. Franca, M.L. Leo. Nollet. Spectroscopic Methods in Food Analysis (Taylor & Francis Group, 2018).
[14] E.A. Sevryukova. Monitoring zagryazneniya okruzhayushei sredy (Yurait, Moskva, 2016).
[15] Janick Artiola, Ian L. Pepper, Mark L. Brusseau. Environmental Monitoring and Characterization (Elsevier Science & Technology Books, 2004).
[16] Jürgen H. Gross. Mass Spectrometry, A Textbook. (Springer International Publishing AG, 2017).
[17] Michal Holcapek, Wm. Craig Byrdwell. Handbook of Advanced Chromatography. Mass Spectrometry Techniques (Academic Press and AOCS Press, Elsevier, 2017).
[18] Joseph A. Caruso, Hendrik Emons and all. Advanced Techniques in Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC–MS–MS and GC–TOF–MS) for Environmental Chemistry (Copyright Elsevier, 2013).
[19] Elsa Lundanes, Léon Reubsaet, Tyge Greibrokk. Chromatography, Basic Principles, Sample Preparations and Related Methods (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Germany, 2014).
[20] Francis Rouessac and Annick Rouessac. Chemical Analysis: Modern Instrumentation Methods and Techniques (John Wiley & Sons Ltd, 2013).
[21] Yu.A. Zolotov. Problemy analiticheskoi khimii. Vnelaboratornyi khimicheskii analiz (Nauka, Mjscow, 2010).
[22] U.Kh. Rasulev, U. Khasanov, D.T. Usmanov, M.M. Shahitov, T.K. Islamov. Proceeding of 39th Anuual international mettings, TIAFT-2001 293 (Prague, August 26-30, 2011).
[23] A.Sh. Radjabov, U. Khasanov, S.S. Iskhakova, Sh.M. Akhmedov, G.P. Kakhramonova, Sh.Dj. Akhunov, D.T. Usmanov. Technical Physics **68**, No.3, 389 (2023).
[24] U.Kh. Rasulev, E.G. Nazarov, G.B. Khudaeva. Journal of Chromatography A **704**, No.2, 473 (1995). DOI: 10.1016/0021-9673(94)01126-Y
[25] U.Kh. Rasulev, U. Khasanov, V.V. Palitcin. J. Chromatography A **896**, No.1-2, 3 (2000). DOI: 10.1016/s0021-9673(00)00458-1.
[26] U.Kh. Rasulev, U. Khasanov, S.S. Iskhakova. Int. J. Ion Mob. Spectr. **4**, No.2, 121 (2001).
[27] S.S. Iskhakova, A.V. Mikhailin, U.K. Rasulev, Y.R .Sagatov, U. Khasanov. Journ. of Anal. Chem. **59**, No.1, 50 (2004).
[28] A. Kholov, K.S. Tursunov, U.Kh. Rasulev, E.G. Nazarov, M.N. Lapushkin, M.V. Knat'ko, E.Ya. Zandberg, I.L. Zhuravleva. Teor. Eksp. Khim. **20**, No.4, 405 (1985). DOI: 10.1007/BF00516575
[29] G. Rakhmanov, U.Kh. Rasulev, I. Saidumarov. Con. on Applicat. of Surf. Interface Anal. **38**, No.4, 219 (2006). DOI: 10.1002/sia.2206
[30] A.S. Radjabov, S.S. Iskhakova, D.T. Usmanov. Tech. Phys. **67**, 104 (2022). DOI: 10.1134/S106378422201011X
[31] N.M. Popova, L.V. Babenkova, G.A. Saveleva, Yu.G. Kulevskaya, N.G. Smirnova, V.K. Solnyshkova. O sovremennom metode termodesorbtsii i ego ispol'zovanii v adsorbtsii i katalize (Nauka, AlmaAta, 985).
[32] U.Kh. Rasulev, E.E. Petushkov, E.G. Nazarov, A.A. Stamov, Yu.P. Kozlov. Vysokochistye Veshestva **2**, 27 (1993).
[33] UTD2000CEX-II Series Digital oscilloscope User Manual. https://instruments.unitrend.com/static/upload/file/20210529/UTD2000CEX-II%20Series%20User%20Manual.pdf
[34] V.P. D'yakonov. Mathematica 5/6/7, (Moscow, 2010).
[35] U.Kh. Rasulev, E.Ya. Zandberg. Prog. Surf. Sci. **28**, No.3-4, 181 (1988). DOI: 10.1016/0079-6816(88)90003-2

Сирт ионлаш эмиттер ҳароратининг гиёҳванд моддалар термодесорбцион спектрлари қонуниниятига таъсири ҳақида

А.Ш. Раджабов[1,2], С.С. Исхакова[1], М.О. Нормуродова[3]

[1]Ўзбекистон Фанлар Академияси У.А. Арифов номидаги Ион-Плазма ва лазер технологиялари институти, Дурмон йўли 33, 100125 Тошкент, Ўзбекистон
[2]Тошкент давлат транспорт университети, Темирйулчилар, 1, 100167 Тошкент, Ўзбекистон
[3]Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий Университети, Университет кўчаси 4, 100174, Тошкент, Ўзбекистон

Сирт ионлаш эмиттери турли T_E ҳароратларида морфин, героин, кодеин ва папаверин термодесорбция спектрлари ўганилди. Термодесорбция спектрлари максимуми ҳароратининг эмиттер T_E га боғлиқлиги T_E нинг маълум бир паст қийматларида кузатилади, турли ўрганилган моддалар учун ушбу боғлиқлик фарқ қилиши ва T_E нинг нисбатан юқори ҳароратида йўқолиши аниқланди. Термодесорбцион спектрометрия ва заррачаларнинг ностационар шароитда сирт ионлашуви қонуниятлари асосида ион ҳосил бўлиш жараёнини математик моделлаштириш асосида бу боғлиқлик молекулаларнинг эмиттер юзасига адсорбцияланганда содир бўладиган гетероген жараёнлар тезлигининг эмиттер T_E га боғлиқлиги туфайли юзага келиши аниқланди.

Калит сўзлар: сирт ионлаш, морфин, героин, папаверин, кодеин, адсорбция, термодесорбцион спектрлар, математика модели, кимёвий реакция ва десорбция тезликлари.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.