Поверхностная ионизация наркотических стимуляторов в биологических образцах

Б.Ш. Касимов, Ш.Дж. Ахунов, Ш.М. Ахмедов, Д.Т. Усманов*

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, ул. Дурмон йули 33, 100125 Ташкент, Узбекистан

Получена 18.06.2021

*Corresponding author: e-mail usmanov@iplt.uz Phone: +998 71 262 32 54, Fax: +998 71 262 32 54

В работе приведены экспериментальные результаты масс-спектрометрических исследований закономерностей поверхностной ионизации наркотических веществ. Получены масс-спектры этих веществ, температурные зависимости ионных токов и определены теплоты сублимации. Выявлены гетерогенные каналы реакций, происходящих на горячей поверхности термоэмиттера наркотических веществ и схемы адсорбции. Кроме этого, чтобы выявить аналитические возможности метода были исследованы смешанные стимуляторы в биологическом образце. Определены пределы обнаружения и линейно динамический диапазон исследованных соединений.

Ключевые слова: поверхностно-ионизационная, масс-спектрометрия, наркотические вещества, гетерогенные реакции, теплота сублимации, биологические образцы, пределы обнаружения.

The paper presents the experimental results of mass-spectrometric studies of the regularity of surface ionization of stimulants. Mass-spectra of these substances, temperature dependences of ion currents were obtained, and heats of sublimation were determined. Heterogeneous channels of reaction occurring on the hot surface of the thermo-emitter of stimulants and the adsorption scheme were revealed. In addition, mixed stimulants in a biological sample were investigated to reveal the analytical possibility of the method. The detection limits and the linear dynamic range of the investigated compounds were determined.

Keywords: surface ionization, mass-spectrometry, stimulants, heterogenous reaction, heat of sublimation, biological samples, limit of detection.

I. Введение

Исследования адсорбции молекул активных органических соединений (АОС), их химических превращений на горячей поверхности, десорбции многоатомных частиц, в том числе термодесорбции ионов поверхностной ионизации (ПвИ) органических и биоорганических соединений имеют важное фундаментальное значение для выяснения физико-химических процессов, происходящих на поверхности. Прикладной аспект этих исследований достаточно очевиден. Стимуляторами называют такие наркотики, как кокаин, крэк, метамфетамин и амфетамины [1]. Стимуляторами также являются АОС, непосредственно влияющие на центральную нервную систему, чтобы ускорить работу частей мозга и тела, увеличивая частоту сердечных сокращений, артериальное давление, обмен веществ и температуру тела пользователя. Многие стимуляторы по природе являются труднолетучими и термически нестабильными соединениями. Вследствие этого при спектрометрических исследованиях этих веществ получаемая информация зависит как от применяемого способа ионизации, так и от их физико-химической природы.

Среди различных физико-химических методов

масс-спектрометрия является наиболее эффективной. Особенно успешно применяются масс-спектрометрические методы в комбинации с различными видами хроматографии [2]. Например, масс-спектрометрия с ионизацией распылением (ИЭР) в сочетании с жидкостной хроматографией (ЖХ/МС) и масс-спектрометрия с ионизацией электронами (ИЭ) в комбинации с газожидкостной хроматографией (ГХ/МС) наиболее часто используются при детектировании и анализе наркотических веществ в биологических жидкостях [3-4]. Кроме того, к настоящему времени многие разработанные методы, работающие в атмосфере, такие как десорбция электроспрейной ионизации (ДЭСИ) [5], зондовая электроспрейная ионизация (ЗЭСИ) [6], диэлектрическая барьерная ионизация (ДБИ) [7] и т.д., применяются для анализа и обнаружения наркотических веществ в биологических образцах [8-9].

Поверхностная ионизация – образование положительных и отрицательных ионов при термодесорбции частиц с поверхности твердого тела, является термически равновесной [10]. ПвИ является высокоселективным и эффективным способом ионизации азотистых оснований. Поэтому теоретические и экспериментальные исследования адсорбции многоатомных молекул, их химических превращений на поверхности, десорбции многоатомных частиц, в том числе термодесорбции ионов ПвИ органических и биоорганических соединений, имеет не только важное фундаментальное, но и важное прикладное значение. ПвИ не является универсальным методом из-за ее высокой селективности к потенциалу ионизации веществ, но благодаря ее высокой чувствительности при анализе активных органических соединений имеет ряд преимуществ и позволяет проводить прямой анализ следовых количеств органических соединений в сложных смесях [11-13]. Тем не менее, исследования ПвИ молекул наркотических веществ и их смесей в биологических жидкостях при отдельной и совместной адсорбции на поверхности твердого тела, представляют большой научный интерес фундаментального характера. Они необходимы не только для выявления закономерностей адсорбции и ПвИ молекул сложного состава, но и для разработки научных основ новых высокочувствительных, селективных ПвИ методов обнаружения и анализа следовых количеств стимуляторов в различных объектах. ПвИ является одним из наиболее информативных среди множества методов по определению характеристик взаимодействия многоатомных частиц с твердым телом. Важной особенностью метода ПвИ является информация, получаемая в труднодоступной для других методик области высоких температур адсорбата. Поэтому применение ПвИ методов анализа для исследования наркотических препаратов и их смесей в различных объектах позволит получить необходимую информацию как о физико-химических свойствах ионизированных частиц и ионизирующей поверхности, так и о характеристиках их взаимодействия с поверхностью твердого тела.

В данной работе исследованы такие вещества, как амфетамин, метамфетамин (МА) и кокаин методом поверхностно-ионизационной масс-спектрометрии (ПвИ/МС), чтобы выявить ПвИ закономерности на горячей поверхности, а также аналитическую возможность метода.

II. Экспериментальная часть

Эксперименты проводили на статическом магнитном масс-спектрометре МИ-1201В («Электрон», г. Сумы, Украина), который модернизирован для ПвИ [14]. Требования, предъявляемые к технике и методике эксперимента для исследования ПвИ органических соединений, вытекают из её специфики и описаны в ряде работ [10, 15]. Для исследования ПвИ в случае труднолетучих органических соединений техника эксперимента должна обеспечивать следующее:

– применение высоковакуумной масс спектрометрии с анализом мономолекулярных распадов;

– по возможности чистоту исследуемых образцов, необходимых для сравнения с масс-спектрами смесей;

– систему подачи молекулярных потоков труднолетучих органических соединений к источнику ионов;

– надежную индикацию и идентификацию ионов;

– возможность измерения температуры эмиттера $T_{эм}$ в рабочих условиях;

– применение эмиттера с большой работой выхода, стабильной по времени;

– систему регистрации ионных токов.

Фланец источника ионов с ионизацией электронами в данном приборе заменен полностью с учетом решаемой задачи, а к камере ионизации присоединена система напуска для подачи моле-

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

кулярных пучков жидких и газообразных веществ. В нем применена ионно-оптическая система с одинарной фокусировкой пучка ионов. Работоспособность ПвИ источника тестировали по ионизации Cs. Контрольные опыты ПвИ молекул триэтиламина на термоэмиттере из окисленного вольфрама показали правильность проведенной юстировки, были достигнуты предельные плотности ионных токов и получен известный масс-спектр [16]. Упрощенная схема ионного источника ПвИ приведена в нашей предыдущей работе [14]. Диапазон массовых чисел при $V_{уск}$=2.5–5 кэВ составляет 1–900 а.е.м.; рабочее давление составляет $(1–3)\times10^{-6}$ Па. В качестве термоэмиттера использована окисленная текстурированная вольфрамовая лента 0.05×1.0×12.0 мм. Градуировку температуры эмиттера осуществляли с помощью оптического пирометра ВИМП-015М (“Калибр”, Москва, Россия), его температура изменялась в диапазоне от 600 К до 1250 К во всех экспериментах. Молекулярный поток исследуемых веществ на поверхность термоэмиттера направляли с помощью стандартного испарителя – кварцевой ампулы с платиновым нагревателем, внедренным в толщу стенки ампулы. Ампула была смонтирована в ионном источнике вблизи термоэмиттера. Температуру ампулы регулировали в диапазоне от 50°С до 150°С. В экспериментах использовали хроматографически чистые амфетамин, метамфетамин и кокаин, а также их искусственные смеси с человеческой кровью. Структурные формулы всех исследованных веществ приведены на рис. 1.

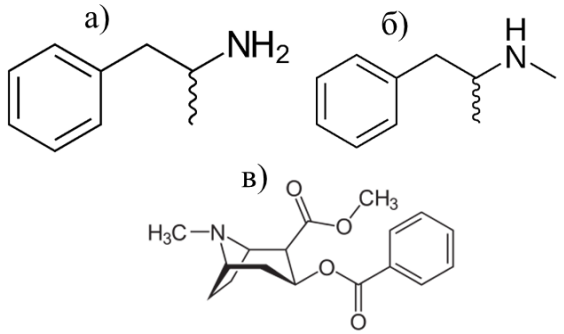


Рисунок 1. Структурные формулы исследованных веществ: а) амфетамин, б) метамфетамин и в) кокаин.

Кровь была получена от одного здорового сотрудника лаборатории. Хроматографически чистые стандарты стимуляторов в микроколичествах были получены в Главном бюро судебно-медицинской экспертизы Республики Узбекистан. Сначала образцы были разбавлены в этаноле с концентрацией 1 мг/мл. Кровь была разбавлена в воде с концентрацией 50% и далее растворы стимуляторов были примешаны к этому раствору. Для определения предела обнаружения метода и построения калибровочной кривой были подготовлены образцы с концентрацией от 0.05 нг/мл до 500 мкг/мл. Все подготовленные образцы до исследования сохраняли при температуре –18°С. Образцы в количествах от 1 мкл до 8 мкл заправляли в ячейку, высушивали на воздухе при комнатной температуре и затем анализировали методом ПвИ/МС. Влияния времени сушки образца на воспроизводимость результатов не обнаружено при комнатной температуре. Все эксперименты проводили в режиме регистрации положительно заряженных ионов.

III. Результаты и обсуждение

Амфетамин, метамфетамин и кокаин являются сильными стимуляторными веществами, но их структурные формулы резко отличаются друг от друга, так как амфетамин и метамфетамин относятся к группе производного фенилэтиламина, а кокаин относится к тропановым алкалоидам [17]. Эти активные азотистые основания и их производные ограниченно применяются в медицине в качестве локального анестетика (кокаин) и при лечении синдрома дефицита внимания и гиперактивности, ожирения, нарушения сна, расстройства настроения, нарушения контроля над импульсами, астмы, а также нарколепсии [18]. Поэтому исследования этих стимуляторов представляют определенный интерес в фундаментальном аспекте, а также в аналитической области для чувствительного обнаружения и анализа их в сложных смесях.

Масс-спектры ПвИ хроматографически чистых стимуляторов состоят из депротонированных (квазимолекулярных) $[M–H]^+$ и фрагментированных $[M–R]^+$ ионов, которые соответствуют продуктам химических реакций в адслое, где M – молекула, H – атом водорода и R – радикал [19]. Образующиеся ионы полностью соответствуют закономерностям ПвИ, которые установлены для азотистых органических соединений [10]. В нашей предыдущей работе [19] мы исследовали амфетамин, метамфетамин и кокаин, смешанные с необработанной человеческой мочой, методом ПвИ/МС для аналитической цели. В этой работе приведены масс-спектры ПвИ

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

указанных чистых стимуляторов для сравнения со смешанными образцами. Масс-спектр ПвИ амфетамина состоит из нескольких ионных линий $[M\text{-}H]^+$ и $[M\text{-}R]^+$. Такие частицы живут сравнительно долгое время и достигают теплового и зарядового равновесия на поверхности термоэмиттера и будут ионизироваться механизмами ПвИ, так что можно измерить их среднее время жизни на поверхности термоэмиттера. В масс-спектре ПвИ амфетамина ионная линия с *m/z* 134 соответствует квазимолекулярному (депротонированному) иону $[M\text{-}H]^+$, а другие ионные линии соответствуют фрагментным ионам $[M\text{-}R]^+$. Базовым является фрагментный ион с *m/z* 84 в масс-спектре ПвИ амфетамина. Все эти ионы имеют насыщенные связи и неподеленные пары электронов, и их можно представить в виде ионов с положительно заряженным четырехвалентным атомом азота с sp^2-гибридными орбиталями. Ионный состав масс-спектра ПвИ метамфетамина идентичен масс-спектру амфетамина вследствие их схожих структурных формул. Ион с *m/z* 148 был идентифицирован как квазимолекулярный ион $[M\text{-}H]^+$ метамфетамина. Остальные ионы обусловлены глубокой фрагментацией нагретой твердой поверхности в масс-спектре метамфетамина. Ион-фрагмент с *m/z* 72 был главной линией в масс-спектре в соответствии с закономерностями ПвИ. Масс-спектр кокаина содержит несколько линий, таких как депротонированный молекулярный ион с *m/z* 302 и фрагментные ионы. Отсутствие в масс-спектре тропановых алкалоида кокаина линий квазимолекулярных ионов $[M\text{-}H\text{-}2nH]^+$ объясняется элиминированием радикалов при последующей ароматизации тропанового кольца. Ион-фрагмент с *m/z* 182 был базовой линией в масс-спектре кокаина. Этот ион также является базовым в масс-спектре кокаина, полученного способом ГХ/МС с ионизацией электронами [20]. Полученные температурные зависимости ионов как функции термоэмиттера также коррелировали для азотсодержащих органических соединений (рис. 2). Температурные зависимости ионов амфетамина были аналогичны метамфетамину [19]. Исходя из этих экспериментов определяли эффективную температуру термоэмиттера (700–1050 К) и температуру испарителя (110–130°C) для исследования смешанных стимуляторов в крови.

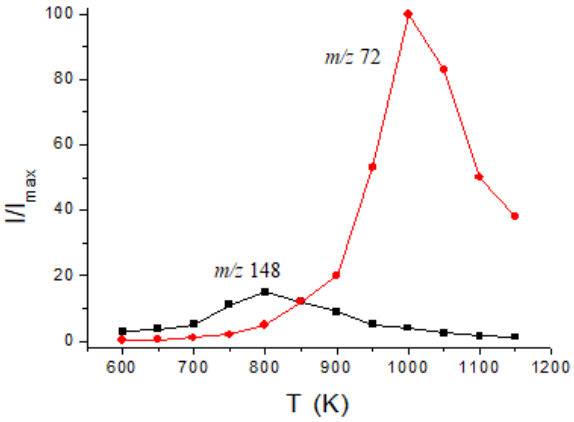


Рисунок 2. Температурные зависимости ионных токов метамфетамина.

Они демонстрируют, что зависимости ионных токов от *T* обусловлены зависимостью коэффициента ПвИ от температуры эмиттера, а также температурной зависимостью выхода химических реакций в адслое, определяющих концентрацию ионизированных частиц. Температурная зависимость ионных токов квазимолекулярных ионов $[M\text{-}H]^+$ образцов имела колоколообразную форму, и их выход в гетерогенные реакции ускоряется с увеличением температуры термоэмиттера. Максимумы основных ионов $[M\text{-}R]^+$ наблюдались в диапазоне температур 700–1050 К на термоэмиттере.

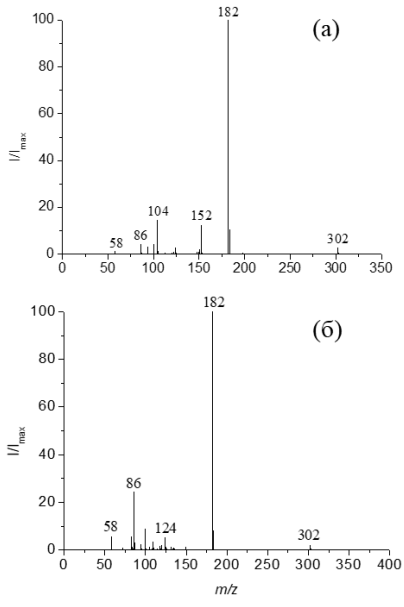


Рисунок 3. ПвИ масс-спектры: а) чистый кокаин, б) кокаин, смешанный с кровью.

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

Исследования ПвИ при раздельной адсорбции молекул стимуляторов, выявленные закономерности и высокая эффективность ионизации путем ПвИ позволяют перейти к рассмотрению их смесей. Ионизация смеси молекул азотсодержащих органических соединений путем ПвИ предполагает аддитивность масс-спектров ее компонентов, т.е. масс-спектр смеси состоит из суммы масс-спектров ее составляющих. Так как при ПвИ приходится работать при малых степенях покрытия поверхности **(**θ~0.001**)**, виды гетерогенных реакций и их скорости зависят, в основном, от каталитической активности термоэмиттера и от его температуры [10]. Поэтому гетерогенные реакции ассоциаций между молекулами компонентов в таких условиях маловероятны, и в масс-спектрах ПвИ смесей не должны появляться линии ионов, соответствующих продуктам реакций ассоциаций на поверхности эмиттера между компонентами смесей. На рис. 3 приведены ПвИ масс-спектры чистого кокаина [19] и кокаина, смешанного с кровью. Видно из рисунка, что масс-спектр кокаина при раздельной адсорбции состоит из линий ионов $[M\text{-}H]^+$, $[M\text{-}R]^+$ и $[M\text{-}R\text{-}2nH]^+$. Как описано выше, фрагментные ионы являются основными пиками в масс-спектрах амфетамина, метамфетамина и кокаина, предполагается, что эти линии могут служить индикаторами в сложных смесях. На рис. 3(б) приведен масс-спектр кокаина, смешанного с кровью. Видно из масс-спектров, что новые ассоциативные линии иона кокаина с ингредиентами крови не наблюдаются.

Таблица 1. Основные ионы, теплоты сублимации исследованных соединений и пределы обнаружении стимуляторов смешанных в крови

Вещество	Молекулярная масса (а.е.м.)	Основной ион (*m*/*z*)	Теплота сублимация (эВ)	Пределы обнаружения стимуляторов смешанных с кровью (пкг)
Амфетамин	135	84	0.13	50
Метамфетамин	149	72	0.15	50
Кокаин	303	182	0.32	100

В масс-спектрах амфетамина и метамфетамина, смешанных с кровью, также не наблюдалось новых линий. Так как при ПвИ приходится работать при малых степенях покрытия поверхности (θ~0.001**)**, виды гетерогенных реакций и их скорости зависят, в основном, от каталитической активности термоэмиттера и от его температуры. Поэтому гетерогенные реакции ассоциаций между молекулами стимуляторов и компонентов крови в таких условиях маловероятны, и в масс-спектрах ПвИ таких сложных смесей не появляются линии ионов, соответствующих продуктам реакций ассоциации на поверхности эмиттера между компонентами крови и стимуляторов. Это служит доказательством того, что при совместной адсорбции на поверхности термоэмиттера молекулы стимуляторов и ингредиенты крови не взаимодействуют между собой. Чтобы выявить аналитические возможности метода ПвИ/МС были также определены пределы обнаружения стимуляторов в смесях с кровью.

Точность и коэффициент корреляции линейного диапазона (R^2), в котором с необходимой точностью используется этот метод, были получены с помощью четырех независимых измерений. На рис. 4 показана калибровочная кривая амфетамина, смешанного с кровью. Пределы обнаружения были определены для соотношения сигнал/шум не менее 3 и составляли несколько десятков пкг.

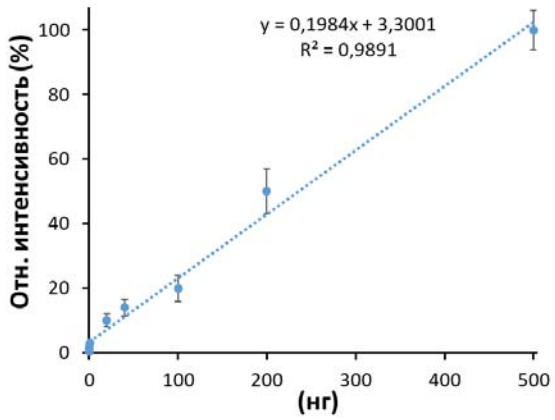


Рисунок 4. Калибровочная кривая амфетамина в крови.

Линейный диапазон охватывал более двух порядков с хорошим корреляционным коэффици-

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

ентом. Пределы обнаружении и основные ионы приведены в табл. 1.

Регистрируемые в масс-спектрах ПвИ стимуляторов линии ионов $[M-H]^+$, $[M-R]^+$ и $[M-R-2nH]^+$ являются продуктами гетерогенных реакций ароматизации и диссоциации молекул на горячей поверхности эмиттера. Однако не исключена возможность деструкции молекул опиатов в кнудсеновской ячейке с образованием частиц со структурой $[M-R]_\beta^+$ с их дальнейшей ароматизацией на поверхности эмиттера. С целью выяснения природы происхождения $[M-H]^+$, $[M-R]^+$ и $[M-R-2nH]^+$ ионов для всех исследованных стимуляторов сравнивали зависимости логарифма относительного изменения токов этих ионов от обратной температуры испарителя $T_{исп}$.

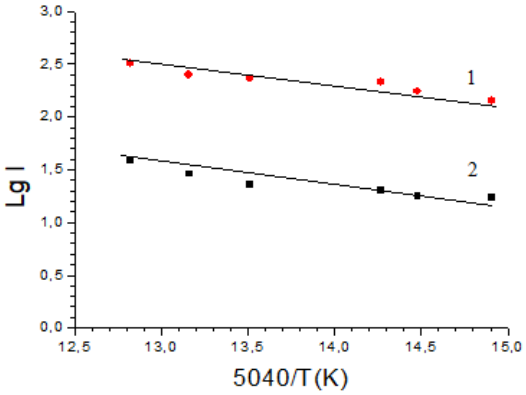


Рисунок 5. Кривые Аррениуса для определения теплоты сублимации амфетамина: 1 – *m/z* 84, 2 – *m/z* 134.

Полученные наклоны графиков, одинаковые для разных ионов при разных $T_{исп}$, свидетельствуют, что все ионы, наблюдаемые в масс-спектрах стимуляторов, получаются из поступивших на поверхность исходных молекул. Для примера на рис. 5 приведены кривые Аррениуса для некоторых токов ионов амфетамина с *m/z* 134 и 72. Из полученных наклонов кривых вычислены теплоты сублимации стимуляторов, которые приведены в табл. 1. Величины теплоты сублимации стимуляторов растут от амфетамина (0.13 эВ) к кокаину (0.32 эВ) и коррелируют с их структурными особенностями.

IV. Заключение

Таким образом, впервые с применением поверхностно-ионизационной масс-спектрометрии исследованы наркотические стимуляторы – амфетамин, метамфетамин и кокаин, а также их смешанные с кровью образцы. Получены масс-спектры, температурные зависимости ионных токов и определены теплоты сублимации стимуляторов. Установлено, что эти стимуляторы ионизуются посредством ПвИ с высокой эффективностью, их масс-спектры малолинейчаты и позволяют с высокой чувствительностью обнаруживать следовые количества, анализировать эти соединения в различных сложных растворах, включая биологические. Сравнение масс-спектров чистых образцов амфетамина, метамфетамина и кокаина и их смешанных с кровью образцов показывают, что масс-спектр биологических жидкостей смешанных стимуляторов состоит из суммы двух спектров, т.е. их ПвИ масс-спектр аддитивен.

Благодарности. Авторы благодарны Главному бюро судебно-медицинской экспертизы Республики Узбекистан за предоставление макроколичеств стимуляторных веществ.

Метаданные

Surface ionization of narcotic stimulants in biological samples

B.Sh. Kasimov, Sh.Dj. Akhunov, Sh.M. Akhmedov, D.T. Usmanov

Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Uzbekistan Academy of Sciences, Durmon Yoli street 33, 100125, Tashkent, Uzbekistan

The paper presents the experimental results of mass spectrometric studies of the regularity of surface ionization of stimulants. Mass spectra of these substances, temperature dependences of ion currents were obtained, and heats of sublimation were determined. Heterogeneous channels of reaction occurring on the hot surface of the thermoemitter of stimulants and the adsorption scheme were revealed. In addition, mixed stimulants in a biological sample were investigated to reveal the analytical possibility of the method. The detection limits and the linear dynamic range of the investigated compounds were determined.

Keywords: surface ionization mass-spectrometry, stimulants, heterogenous reaction, heat of sublimation, biological samples, limit of detection.

Литература (References)

[1] https://www1.nyc.gov/assets/doh/downloads/pdf/basas/stimulants-harm-reduction-booklet-ru.pdf
[2] W.G. Ewing. Analytical Instrumentation Handbook: Marcel Dekker, 2-nd ed. (New York, 1453, 1997).
[3] J-O. Svensson, M. Andersson, E. Gustavsson, O. Beck. Electrospray LC-MS method with solid-phase extraction for accurate determination of morphine-, codeine-, and ethyl-

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

morphine-glucuronides and 6-acetylmorphine in urine. J. Anal. Toxicol **31**, No.2, 81-86 (2007).
[4] B.G. Chen, S.M. Wang, R.H. Liu. GC-MS analysis of multiply derivatized opioids in urine. J. Mass Spectrom. **42**, No.8, 1012-23 (2007).
[5] A. Wójtowicz, R. Wietecha-Posłuszny. DESI-MS analysis of human fluids and tissues for forensic applications. Applied Physics A **125**, 312, (2019). https://doi.org/10.1007/s00339-019-2564-2.
[6] D.T. Usmanov, S. Subhrakanti, L.Ch. Chen, S. Ninomiya, M.K. Mandal, K. Hiraoka. Probe electrospray ionization mass-spectrometry with discontinuous atmospheric pressure interface. Eur. J. Mass Spectrom. **21**, 327-334 (2015).
[7] A. Habib, A. Nargis, L. Bia, P. Zhao, L. Wen. Analysis of amphetaminic drug compounds in urine by headspace-dielectric barrier discharge ionization-mass spectrometry. Arabian Journal of Chemistry **13**, 1, 2162-2170 (2020).
[8] D.T. Usmanov, K. Hiraoka. Discontinuous atmospheric pressure interface for mass spectrometry using a solenoid pulse valve. Rapid Commun. Mass Spectrom. **30**, 1870-1874 (2016).
[9] E. Sisco, T.P. Forbes, M.E. Staymates, G. Gillen. Rapid analysis of trace drugs and metabolites using a thermal desorption DART-MS Configuration. Anal Methods **8**, 35, 6494-6499 (2016). https://doi.org/10.1039/C6AY01851C
[10] U.Kh. Rasulev, E.Ya. Zandberg. Surface ionization of organic compounds and it's application. Prog. Surf. Sci. **28**, No.3-4, 181-412 (1988).
[11] D.T. Usmanov, U. Khasanov, A. Pantsirev, J.F. Van Bocxlaer. Analysis of omnoponum by surface-ionization mass spectrometry and liquid chromatography tandem mass spectrometry methods. J. Pharm. Biomed. Anal. **53,** No.4, 1058-1062 (2010).
[12] U.Kh. Rasulev, U. Khasanov, T.K. Islamov, M.M. Shakhitov, D.T. Usmanov. Surface-ionization mass-spectrometry, selective determination of trace amounts of opioids in urine. Prob. Foren. Sci. **43**, 230-234 (2000).
[13] D.T. Usmanov, Sh.Dj. Akhunov, U. Khasanov, V.M. Rotshteyn, B.Sh. Kasimov. Direct detection of morphine in human urine by surface-ionization mass-spectrometry. Eur. J. Mass Spectrom. **26**, No.2, 153-157 (2020).
[14] Sh.Dj. Akhunov, B.Sh. Kasimov, Kh.B. Ashurov, D.T. Usmanov. Razvitie metoda mass-spektrometrii s poverxnostnoy ionizatsiey dlya visokochuvstvitelnogo i visokoselektivnogo analiza morfina v biojidkosti. Mass-spektrometriya **17**, 3, 185-191 (2020).
[15] E.YA. Zandberg, U.Kh. Rasulev, B.N. Shustrov. Termoemissiya polojitelnykh ionov organicheskikh soedineniy s okislom volframa. DAN SSSR **172**, 885-886 (1967).
[16] E.YA. Zandberg, U.Kh. Rasulev, B.N. Shustrov. Zakonomernosti obrazovaniya ionov aminami pri poverkhnostnoy reaktsii v adsorbirovannykh sloyakh. Izv. AN SSSR, ser.fiz. **40**, 1561-1570 (1976).
[17] A.J. Humphrey, D.O. Hagan, Nat. Prod. Rep. **18**, 494-502 (2001).
[18] S.J. Harper, N.S. Jones. Cocaine: what role does it have in current ENT practice? A review of the current literature. The Journal of Laryngology and Otology **120**, 10, 808-811 (2006). doi:10.1017/S0022215106001459
[19] Sh. Akhunov, Kh. Ashurov, Sh. Akhmedov, B. Kasimov, V. Rotshteyn, A. Radjabov, D. Usmanov. Development of surface ionization mass spectrometry for detection of stimulants in human urine. European Journal of Mass Spectrometry **27**, 1, 29-38 (2021). DOI: 10.1177/14690667211002777
[20] Y.B. Akba, M.V Cavus. Development and validation of GC-MS method for cocaine in human urine. J. Chromatogr. Sep. Technol. **1**, 1. 114 (2017).

Наркотик стимуляторларнинг биологик намуналардаги сирт ионлашуви

Б.Ш. Касимов, Ш.Дж. Ахунов, Ш.М. Ахмедов, Д.Т. Усманов

ЎзР ФА Ион-плазма ва лазер технологиялари институти, Дўрмон йўли кўчаси 33, Тошкент, Ўзбекистон

Ушбу ишда стимуляторларнинг сирт ионлашуви қонуниятларини тадқиқ қилиш бўйича тажрибавий натижалар келтирилган. Бу моддаларнинг масс-спектрлари, ион токларини температурага боғлиқлари олинган ва уларнинг иссиқлик сублимациялари аниқланган. Стимулянтларнинг термоэмиттер сиртида бўладиган гетероген реакция каналлари ва адсорбцияланиш схемалари топилган. Будан ташқари, усулнинг аналитик имкониятларини аниқлаш мақсадида стимулянтларни биологик намундаги аралашмалари тадқиқ қилинган. Ўрганилган бирикмаларни аниқланиш чегаралари ва чихиқли динамик оралиқлари аниқланган.

Калит сўзлар: сирт ионлашув масс-спектрометрияси, стимуляторлар, иссиқлик сублимацияси, биологик намуна, аниқланиш чегараси.

©Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.