

Возможность идентификации 1H-индолиламиния трифторацетатов с противомикробным действием методом масс-спектрометрии

И.С. Степаненко¹✉, С.А. Ямашкин², Л.В. Михайлова¹, А.С. Тимофеева¹,
А.Н. Ахмедов¹, Т.Н. Платкова³

¹ Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

² Мордовский государственный педагогический университет имени М. Е. Евсевьева, Саранск, Россия

³ Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, Саранск, Россия

Аннотация. В настоящем исследовании предложен удобный подход к идентификации серии новых замещенных 1H-индол-5,6-иламиния трифторацетатов с противомикробным действием на основании данных масс-спектров, полученных с использованием прямого ввода в ионный источник при повышенной температуре, когда соли разлагаются с выбросом противоионов: кислоты и органических оснований – замещенных 1H-индолиламинов. По наличию в спектрах сигналов ионов с m/z 69, 45, 28 судят о том, что соли образованы трифторуксусной кислотой. Используя имеющиеся литературные данные по масс-спектрометрии замещенных индолов, ароматических аминов, карбоновых кислот составлены и обсуждены обоснованные схемы распада молекулярных ионов органических оснований – 1H-индолиламинов, в которых даны механизм образования, строение фрагментных ионов, возникающих в условиях электронной ионизации. Выявленные общие, а также индивидуальные для отдельных представителей с определенным характером и местом замещения в индольном бицикле закономерности поведения в условиях масс-спектральной съемки ионрадикалов 1H-индолиламинов дают возможность судить об их строении и в целом о строении 1H-индолиламиния трифторацетатов. Примененный в работе подход можно также использовать для доказательства соединений подобной группы на основании анализа их масс-спектров.

Ключевые слова: замещенные 1H-индол-5,6-иламины, трифторуксусная кислота, 1H-индол-5,6-иламиния трифторацетаты, противомикробное действие, масс-спектральный метод

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

Possibility of identifying 1H-indolylaminium trifluoroacetates with antimicrobial activity by mass spectrometry

I.S. Stepanenko¹✉, S.A. Yamashkin², L.V. Mikhailova¹, A.S. Timofeeva¹,
A.N. Akhmedov¹, T.N. Platkova³

¹ Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

² Mordovian State Pedagogical University named after M. E. Evseviev, Saransk, Russia

³ N. P. Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia

Abstract. The present study proposes a convenient approach to identify a series of novel substituted 1H-indol-5,6-ylaminium trifluoroacetates with antimicrobial activity based on mass spectral data obtained using direct injection into an ion source at an elevated temperature when the salts decompose with the release of counterions: acids and organic bases – substituted 1H-indolylamines. By the presence of ions with m/z 69, 45, 28, 17 in the spectra, it is judged that the salts are formed by trifluoroacetic acid. Using the available literature data on the mass spectrometry of substituted indoles, aromatic amines, and carboxylic acids, substantiated schemes for the decomposition of molecular ions of organic bases, 1H-indolylamines, are compiled and discussed, in which the mechanism of formation and the structure of fragment ions arising under electron ionization conditions are given. The revealed general, as well as individual for individual representatives with a certain character and place of substitution in the indole bicycle, patterns of behavior of 1H-indolylamine radical ions under conditions of high-temperature mass spectral imaging make it possible to judge their structure and, in general, the structure of 1H-indolylamine trifluoroacetates. The approach used in this work can also be used to prove compounds of a similar group based on the analysis of their mass spectra.

Keywords: substituted 1H-indol-5,6-ylamines, trifluoroacetic acid, 1H-indol-5,6-ylaminium trifluoroacetates, antimicrobial activity, mass spectral method

Осуществляя целенаправленный поиск новых биологически активных соединений, авторы работы [1, 2] на основе 1H-индол-5,6-иламинов **1–9** получили раствори-

мые в воде трифторметилсодержащие производные индола – 1H-индол-5,6-иламиния трифторацетаты **10–18** с ярко выраженной противомикробной активностью (рис. 1).

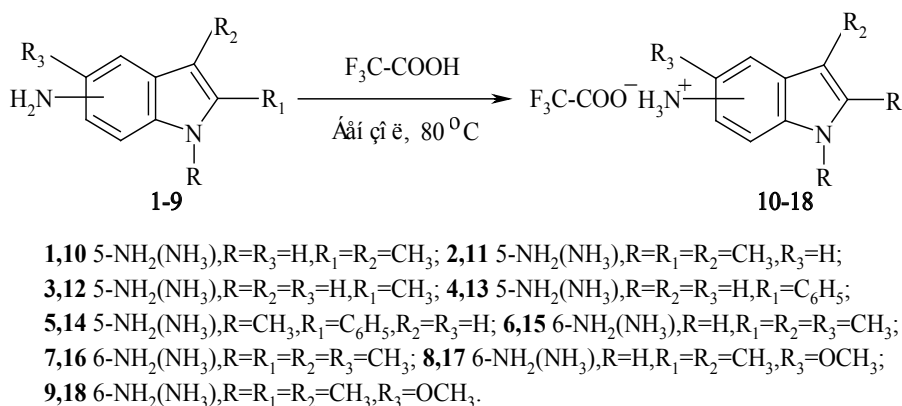


Рис. 1. Схема получения индолиламиния трифторацетатов **10–18** из индолиламинов **1–9**

Все полученные соединения, обладая противомикробным действием, превышающий активность препарата сравнения – диоксилина, способны подавлять рост исследуемых тест-штаммов микроорганизмов в различных минимальных подавляющих концентрациях. В качестве доказательства строения полученных солей **10–18**, помимо проанализированных спектров ЯМР (¹H, ¹⁹F), УФ-спектров, результатов элементного анализа, были приведены не интерпретированные цифровые версии спектральных характеристик поведения их в условиях электронной ионизации. Однако даже первичная расшифровка масс-спектров позволяет сделать следующие предварительные выводы о соединении: установить истинную молекулярную массу анализируемого соединения, предположить число атомов азота в молекуле («азотное правило»), установить приблизительное число атомов углерода в составе изучаемой молекулы. На основании полученных результатов делается предварительная оценка качественного и количественного брутто-состава исследуемого соединения. В условиях электронной ионизации молекулы приобретают избыточную энергию, которая вызывает деструкцию образующегося молекулярного иона [M]⁺с образованием осколочных (фрагментных) и перегруппировочных ионов, характеризующих структуру изучаемого соединения [3].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Интерпретация цифровых версий масс-спектров соединений **10–18** с предложением схем распада, в которых обоснованно предлагается механизм образования и строение фрагментных ионов, возникающих в условиях высокотемпературной электронной ионизации. При этом проводится выявление общих, а также индивидуальных для отдельных представителей в зависимости от места и характера замещения в индольной структуре закономерностей поведения в условиях электронной ионизации 1Н-индолиламиния трифторацетатов, подтверждающих их строение. Составление масс-спектральных схем распада 1Н-индолиламиния

трифторацетатов осуществляется аргументированно на основании имеющихся литературных данных по масс-спектральному распаду замещенных индолов, ароматических аминов, карбоновых кислот.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Масс-спектры 1Н-индолиламиния трифторацетатов **10–18** зарегистрированы на масс-спектрометре «Finnigan MAT INCOS-50» методом прямого ввода соединений в ионный источник при энергии ионизации 70 эВ и повышенной температуре, при которой соли разлагаются с выбросом противоионов: солеобразующей кислоты и органического основания, как это описано при исследовании бипиридиниевых солей в работе [4]. В этих условиях в масс-спектрах фиксируются сигналы молекулярных ионов кислоты, соответствующего основания и их фрагментные ионы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Масс-спектры высокотемпературной электронной ионизации для всех исследованных трифторацетатов **10–18** характеризуются пиками максимальной интенсивности ионов Ф(**1–9**), m/z которых соответствуют молекулярным ионам 1Н-индолиламинов **1–9**, что свидетельствует об их участии в образовании солей (рис. 2).

Участие же в построении соединений **10–18** трифторуксусной кислоты подтверждается наличием в масс-спектрах характерных для ее распада сигналов фрагментных частиц с m/z 69(F₃C⁺), 45(HOOC⁺), 28(CO⁺) –молекулярный ион трифторуксусной кислоты в условиях высокотемпературной электронной ионизации не стабилен и его сигнал в масс-спектрах не обнаруживается. Сигналы частиц с m/z 45 и 28 в масс-спектрах тригалогеноуксусных кислот (например, трихлоруксусной кислоты) являются характеристическими [5].

Полученные данные по характеристическим сигналам ионов в масс-спектрах 1Н-индол-5-,6-иламиния трифторацетатов **10–18** приведены в табл.

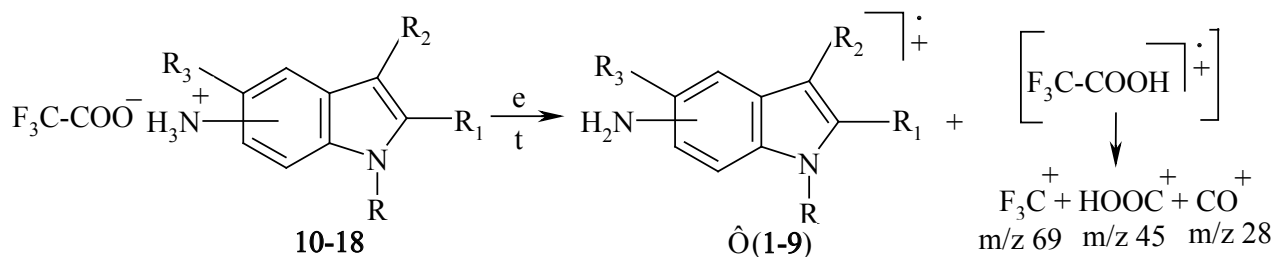


Рис. 2. Схема первичного распада индолиламина трифторацетатов 10–18
в условиях высокотемпературной электронной ионизации

Значения характеристических ионов в масс-спектрах соединений 10–18

1Н-индол-5-,6-иламины трифторацетаты						
Масс-спектр: m/z (относительная интенсивность, %)						
№ соединения	**M ⁺ (Φ)	*[M-1] ⁺ (Φ ₁ , Φ ₅)	*[M-15] ⁺ (Φ ₂ , Φ ₅ , Φ ₈)	m/z 69***	m/z 45***	m/z 28***
10	160 (100)	159 (77)	145 (35)	(23)	(30)	(33)
11	174 (100)	173 (82)	159 (48)	(30)	(35)	(35)
12	146 (100)	145 (87)	–	(16)	(20)	(19)
13	208 (100)	207 (15)	–	(16)	(19)	(27)
14	222 (90)	221 (38)	207 (9)	(22)	(24)	(9)
15	174 (100)	173 (88)	159 (30)	(54)	(74)	(55)
16	188 (100)	187 (71)	173 (39)	(44)	(79)	(61)
17	190 (100)	–	175 (96)	(21)	(24)	(11)
18	204 (100)	203 (7)	189 (74)	(12)	(12)	(8)
1Н-индол-5-,6-иламины трифторацетаты						
Масс-спектр: m/z (относительная интенсивность, %)						
№ соединения	*[M-28] ⁺ (Φ ₃)	*[M-1-27] ⁺ (Φ ₆)	*[M-15-27] ⁺ (Φ ₆)	*[M-15-28] ⁺ (Φ ₉)	*[M-42] ⁺ (Φ ₄)	*[M-104] ⁺ (Φ ₇)
10	132 (8)	–	–	–	–	–
11	146 (8)	–	–	–	–	–
12	118 (10)	–	–	–	104 (5)	–
13	180 (116)		–	–	–	104 (25)
14	194 (5)	–	180 (9)	–	–	–
15	–	–	–	–	–	–
16	–	–	–	–	–	–
17	–	–	–	147 (70)	–	–
18	–	–	–	161 (47)	–	–

* Фрагментные ионы диссоциативной электронной ионизации 1Н-индол-5-,6-иламинов 1–9.

** Молекулярные ионы 1Н-индол-5-,6-иламинов 1–9.

*** Фрагментные ионы диссоциативной электронной ионизации CF₃COOH.

Основными сигналами с высокой интенсивностью после пиков молекулярных ионов Φ (1–9) в масс-спектрах соединений 10, 11, 12, 16, 17 являются сигналы фрагментных ионов Φ₁ с m/z [M-1]⁺ и Φ₂ с m/z [M-15]⁺, что свидетельствует о параллельном элиминировании от молекулярных ионов атома водорода и метильного радикала (рис. 3).

Такие превращения в условиях электронной ионизации характерны для метилзамещенных в пиррольном кольце индолов [6]. При этом происходит расширение пятичленного цикла в молекуле индола до шестичленного кольца с образованием ионов хинолиния. Следовательно, соединения 10, 11, 16, 17, в масс-спектрах которых имеются интенсивные сигналы

ионов Φ с m/z 160(1), 174(2), 174(6), 188(7), Φ_1 с m/z 159(1), 173(2), 173(6), 187(7), Φ_2 с m/z 145(1), 159(2), 159(6), 173(7), однозначно являют-

ся трифторацетатами производных 2,3-диметил-, 1,2,3-триметил-1Н-индол-5- и 2,3,5-триметил-, 1,2,3,5-тетраметил-1Н-индолов.

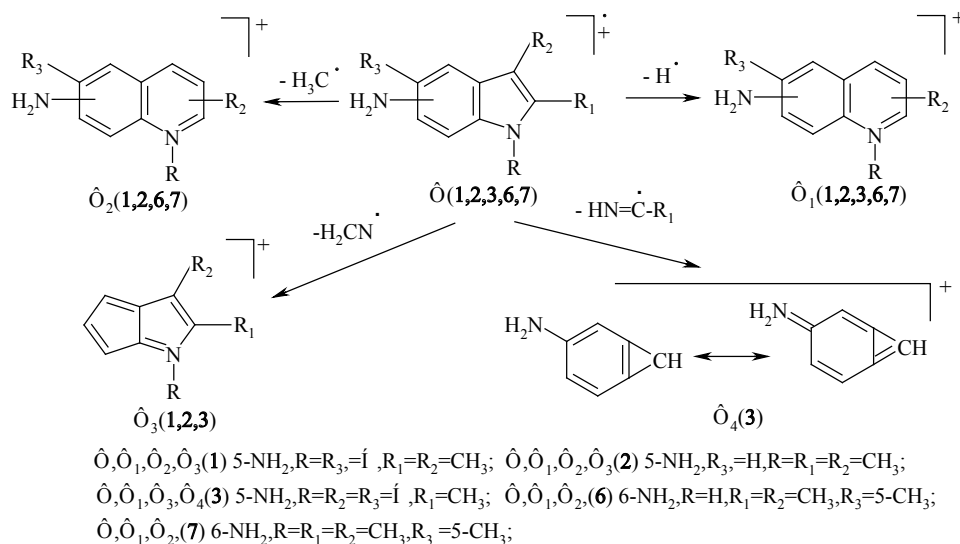


Рис. 3. Схема распада ионов $\Phi(1-3, 6, 7)$ в условиях электронной ионизации

Масс-спектр соединения **12** характеризуется наличием сигналов ионов Φ с m/z 146(3), Φ_1 с m/z 145(3), Φ_5 с m/z 104(3) и отсутствием сигнала иона Φ_2 в отличие от спектров соединений **10**, **11**, **16**, **17**. Это свидетельствует о том, что соль **12** образована производным монометилзамещенного в пиррольном кольце индола (2- или 3-метил-1Н-индола). Сигнал фрагментного иона $\Phi_5(3)$ в спектре соли **12** дает возможность определения места расположения метильной группы в пиррольном кольце. Образование этого иона возможно только при деструкции пиррольного фрагмента молекулярного иона $\Phi(3)$ производного 2-метилиндола путем элиминирования иминоэтанильного радикала $[HN = C-CH_3]$.

В масс-спектрах солей **10**, **11**, **12** также проявляются сигналы фрагментных ионов Φ_3 (предположительно структуры цикlopента[b]пиррилия) с m/z 132(1), 146(2), 118(3), которые соответствуют элиминированию от молекулярных ионов $\Phi(1, 2, 3)$ частицы CH_2N с массовым числом 28, что свидетельствует об 1Н-индолиламинной структуре оснований. Подобная деструкция характерна для аминокбензольного кольца ароматических аминов [7; 8]. Следовательно, ионы $\Phi(1, 2, 3)$ являются молекулярными ионами 2,3-диметил-, 1,2,3-триметил-, 2-метил-1Н-индол-5-иламинов, а соединения **10**, **11**, **12** их трифторацетатами.

Масс-спектры соединений **15**, **16** менее информативны из-за отсутствия сигналов фрагментных ионов $\Phi_3(6,7)$, которые по аналогии с соединениями **10**, **11**, **12** должны бы иметь место. По-видимому, фрагментация молекулярных ионов $\Phi(6, 7)$ при участии

бензольного цикла в случае орто-расположенных метильной- и аминогрупп путем элиминирования метанимидильного радикала с возможным образованием соответствующих ионов метилциклопента[b]пиррилия не реализуется.

В масс-спектрах соединений **13**, **14** характерными являются сигналы молекулярных ионов $\Phi(4, 5)$ соединений **4**, **5** с m/z 208(4), 222(5), фрагментных ионов Φ_5 с m/z 207(4, 5), Φ_6 с m/z 180(4, 5) и Φ_7 с m/z 104(4). Наличие в спектре соли **13** сигнала фрагментного иона Φ_7 с m/z 104 (аналогия с солью **12**) свидетельствует о том, что в образовании ее молекулы принимает участие 2-фенил-1Н-индолиламин. Перегруппировочный ион Φ_7 предположительно структуры бицикло[4.1.0]гепта-1,3,5-триенил-3-иламина, стабилизированный за счет наличия резонансной формы иона бицикло[4.1.0]гепта-1,4,6-триен-3-иминия, возникает за счет деструкции 2-фенилпиррольного кольца в молекулярном ионе $\Phi(4)$ путем элиминирования иминофенилметанильного радикала $[HN = C-C_6H_5]$ (рис. 4).

Как уже отмечалось в случае соединения **3**, такая фрагментация характерна для β -незамещенных индолов. Сигнал фрагментного иона Φ_5 с m/z 207(4, 5) в масс-спектре как соединения **4**, так и **5** следует объяснить элиминированием атома водорода от молекулярного иона $\Phi(4)$ и метильного радикала от $\Phi(5)$. Наличие в масс-спектрах солей **13**, **14** сигнала фрагментного иона $\Phi_6(4, 5)$ с m/z 180 дает возможность судить о характерной для производных 2-фенил-1Н-индола перегруппировке иона Φ_5 с потерей молекулы цианистого водорода [6], что подтверждают

соединения **4**, **5** как производные 2-фенил- и 1-метил-2-фенил-1Н-индолов. Сигналы фрагментных ионов Φ_3 (**4**, **5**) с m/z 180(**4**), 194(**5**) в спектрах солей **13**, **14** отвечают элиминированию от молекулярных ионов Φ (**4**, **5**) частицы CH_2N с массовым числом 28 и дают возможность свидетельствовать о том, что Φ (**4**, **5**) являются молекулярными ионами 2-фенил- и 1-метил-2-фенил-1Н-индол-5-иламинов, а соединения **13**, **14** их трифторацетатами.

В масс-спектрах соединений **17**, **18** наряду с сигналами молекулярных ионов Φ (**8**) с m/z 190, Φ (**9**) с m/z 204 с максимальной интенсивностью проявляются также высокоинтенсивные сигналы фрагментных ионов Φ_2 (**8**) с m/z 175, Φ_2 (**9**) с m/z 189, соответствующие по массовому числу элиминированию метильного радикала от молекулярных ионов. Это свидетельствует о том, что соединения **8**, **9** являются 2,3-диметилированными индольными структурами (рис. 5).

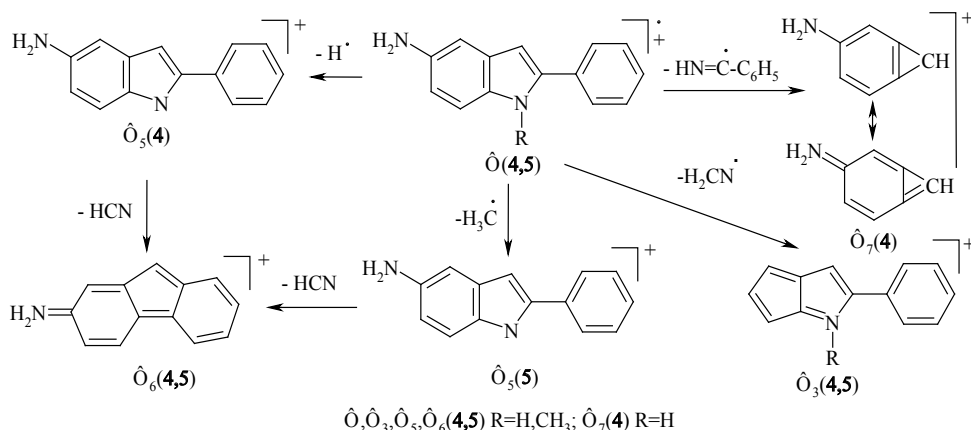


Рис. 4. Схема распада ионов Φ (**4**, **5**) в условиях электронной ионизации

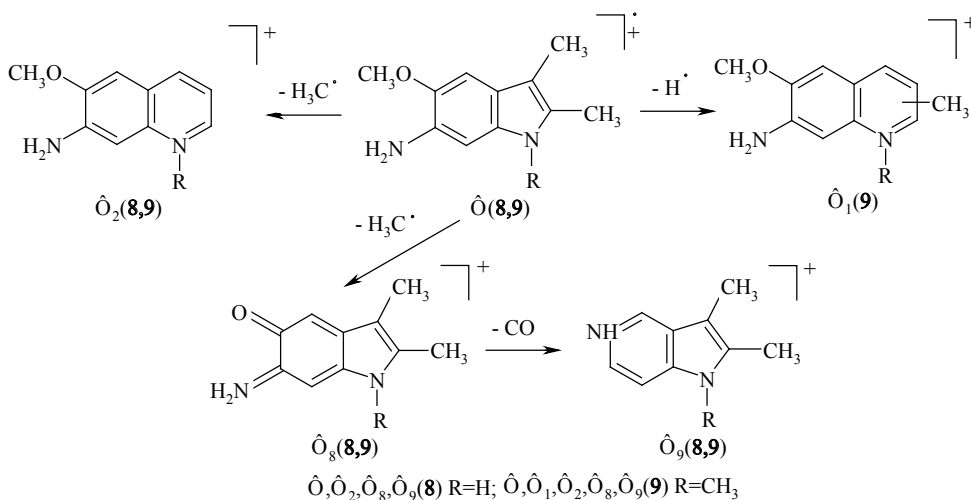


Рис. 5. Схема распада ионов Φ (**8**, **9**) в условиях электронной ионизации

Однако значительно более высокие значения относительных интенсивностей фрагментных ионов Φ_2 (**8**, **9**) к молекулярному иону (в среднем ~85 %) по сравнению с относительными интенсивностями таких же ионов для выше рассмотренных полиметилированных индолов (в среднем ~38 %) дает возможность констатировать, что для молекулярных ионов Φ (**8**, **9**) фрагментация с потерей метильного радикала протекает и по другому направлению. Об этом свидетельствует и наличие в их масс-спектрах сигналов фрагментных ионов Φ_3 (**8**) с m/z 147, Φ_3 (**9**) с m/z 161, предположи-

тельно представляющие структуры 2,3-диметил- и 1,2,3-триметил-1Н-пирроло[3,2-с]пиридин-6-иния, которые могут образоваться только перегруппировочным элиминированием молекулы оксида углерода от фрагментных ионов Φ_8 (**8**, **9**). При этом по интенсивности сигналов ионов Φ_9 (в среднем ~58%) можно судить о степени реализации этого направления распада. Такая фрагментация в условиях электронной ионизации характерна для соединений с орто-расположенными амино- и метоксильной группами в бензольном цикле [7]. Исходя из этого следует констатировать, что ионы

Ф(8, 9) являются молекулярными ионами 2,3-диметил-5-метокси- и 1,2,3-триметил-5-метокси-1*H*-индол-6-аминов 8, 9, а соединения 17, 18 их трифторацетатами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при идентификации 1*H*-индол-5-,6-иламиния трифторацетатов с противомикробным действием возможно использование масс-спектрального метода, для проведения которого достаточно незначительного количества (2–3 мг) анализируемого вещества. Из картины масс-спектров солей 10–18 следует, что их высокотемпературная электронная ионизация протекает с образованием молекулярных ионов соответствующих органических оснований – 1*H*-индол-5-,6-иламинов и фрагментных частиц распада трифторуксусной кислоты с *m/z* 69, 45, 28, что свидетельствует о солях – трифторацетатах. Также по характеристикам сигналов (*m/z*, Ион.) фрагментных ионов в масс-спектрах и имеющимся литературным данным по масс-спектрометрии замещенных индолов, ароматических аминов, карбоновых кислот составлены и обсуждены обоснованные схемы распада молекулярных ионов органических оснований – 1*H*-индолиламинов, в которых даны механизм образования, строение фрагментных ионов, возникающих в условиях электронной ионизации. Выявленные общие, а также индивидуальные для отдельных представителей с определенным характером и местом замещения в индольном бицикле закономерности поведения в условиях масс-спектральной съемки ионрадикалов 1*H*-индолиламинов дают возможность судить об их строении, а, следовательно, в целом о строении замещенных 1*H*-индол-5-,6-иламиния трифторацетатов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Степаненко И.С., Ямашкин С.А., Батаршева А.А., Слостников Е.Д. Способ получения трифторацетатов замещенных 6-аминоиндолов, обладающих противомикробным действием. Патент РФ № 2019125299. Патентообладатель ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». 2020. Бюл. № 15.
2. Ямашкин С.А., Степаненко И.С. Синтез и противомикробная активность *N*-(индол-5-ил)трифторацетамидов и трифторацетатов индол-5-иламиния, имеющих заместители в пиррольном цикле. Известия Академии наук. Серия химическая. 2022;5:1043–1049.
3. Лебедев А.Т., Заикин В.Г. Масс-спектрометрия органических соединений в начале XXI века. Журнал аналитической химии. 2008;63(12):1236–1264.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информация об авторах

Ирина Семеновна Степаненко – доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой микробиологии, вирусологии, иммунологии с курсом клинической микробиологии, главный внештатный специалист по медицинской микробиологии

4. Борисов Р.С., Закиров М.И., Овчаров М.В., Заикин В.Г. Исследование 1,1'-дизамещенных солей 4,4'-бипиридиния различными вариантами масс-спектрометрии. Масс-спектрометрия. 2013;10(1):19–24.

5. Васильев Е.С., Волков Н.Д., Карпов Г.В. и др. Особенности масс-спектрометрического анализа токсичных хлоруксусных кислот и пиридина. Химическая безопасность. 2019;3(S):78–88.

6. Хмельницкий Р.А. Масс-спектрометрия индольных соединений. Химия гетероциклических соединений. 1974;3:291–309.

7. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ТЕХНОСФЕРА. 2015. 704 с.

8. Ильиных Е.С., Ким Д.Г. Масс-спектрометрия в органической химии: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2016. 63 с.

REFERENCES

1. Stepanenko I.S., Yamashkin S.A., Batarshcheva A.A., Slastnikov E.D. Method of preparation of trifluoroacetates of substituted 6-aminoindoles having antimicrobial effect. Patent. RF № 2019125299. Patentee FGBOU VO "National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev". 2020, Bulletin No. 15. (In Russ.).
2. Yamashkin S.A., Stepanenko I.S. Synthesis and antimicrobial activity of *N*-(indol-5-yl)trifluoroacetamides and indol-5-ylaminium trifluoroacetates substituted in the pyrrole ring. Izvestiya Akademii nauk. Seriya khimicheskaya = Russian Chemical Bulletin (Engl. Transl.). 2022;71(5):1043–1048. (In Russ.).
3. Lebedev A.T., Zaikin V.G. Mass-spectrometry of organic compounds in the beginning of XXI century (in Russian). Zhurnal analiticheskoi khimii = Journal of Analytical Chemistry. 2008;63(12):1236–1264. (In Russ.).
4. Borisov R.S., Zakirov M.I., Ovcharov M.V., Zaikin V.G. Study of 1,1'-disubstituted salts of 4,4'-bipyridinium by different variants of mass spectrometry. Mass-spektrometriya = Mass Spectrometry. 2013;10(1):19–24. (In Russ.).
5. Vasiliev E.S., Volkov N.D., Karpov G.V., Morozov I.I., Syromyatnikov A.G. Features of mass spectrometric analysis of toxic chloroacetic acids and pyridine. Khimicheskaya bezopasnost' = Chemical Safety. 2019;3(S):78–88. (In Russ.).
6. Khmel'nitsky R.A. Mass spectrometry of indole compounds. Khimiya Geterotsiklicheskih Soedinenii = Chemistry of Heterocyclic Compounds. 1974;3:291–309. (In Russ.).
7. Lebedev A.T. Mass spectrometry in organic chemistry. Edition of the second, revised and supplemented. Moscow, TECHNOSPHERE Publ., 2015. 704 p. (In Russ.).
8. Ilyinykh E.S., Kim D.G. Mass spectrometry in organic chemistry : textbook. Chelyabinsk, SUSU Publishing Center. 2016. 63 p. (In Russ.).

Комитета здравоохранения Волгоградской области, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; ✉ ymahkina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5793-438X>

Семен Александрович Ямашкин – профессор, доктор химических наук, профессор кафедры химии, технологии и методики обучения, Мордовский государственный педагогический университет имени М. Е. Евсевьева, Саранск, Россия; yamashk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8601-2640>

Людмила Викторовна Михайлова – кандидат медицинских наук, доцент кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии с курсом клинической микробиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; L.V.Vasilenko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1432-048X>

Анна Самовна Тимофеева – кандидат медицинских наук, доцент кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии с курсом клинической микробиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; annapitersen@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7483-7245>

Альберт Нуриевич Ахмедов – кандидат медицинских наук, доцент кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии с курсом клинической микробиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; ahmedovalbert@mail.ru <https://orcid.org/0009-0002-9768-8333>

Татьяна Николаевна Платкова – соискатель кафедры иммунологии, микробиологии и вирусологии медицинского института, Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, Саранск, Россия; platkovatatyana@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7925-127X>

Статья поступила в редакцию 07.02.2024; одобрена после рецензирования 24.05.2024; принята к публикации 06.09.2024.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Information about the authors

Irina S. Stepanenko – MD, Associate Professor, Head of the Department of Microbiology, Virology, Immunology with a course in Clinical Microbiology, Chief Freelance Specialist in Medical Microbiology of the Volgograd Region Health Committee, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; ✉ ymahkina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5793-438X>

Semyon A. Yamashkin – Professor, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemistry, Technology and Teaching Methods, M. E. Evseviev Mordovian State Pedagogical University, Saransk, Russia; yamashk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8601-2640>

Lyudmila V. Mikhailova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology, Virology, Immunology with a course in Clinical Microbiology, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; L.V.Vasilenko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1432-048X>

Anna S. Timofeeva – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology, Virology, Immunology with a course in Clinical Microbiology, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; annapitersen@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7483-7245>

Albert N. Akhmedov – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology, Virology, Immunology with a course in Clinical Microbiology, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; ahmedovalbert@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9768-8333>

Tatyana N. Platkova – Candidate of the Department of Immunology, Microbiology and Virology of the Medical Institute, N.P. Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia; platkovatatyana@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7925-127X>

The article was submitted 07.02.2024; approved after reviewing 24.05.2024; accepted for publication 06.09.2024.