

УДК 539.19

М.І. Шафраньош¹, А.В. Жиган¹, Ю.Ю. Свида¹, М.І. Суховія¹,
В.С. Сільваші¹, І.І. Шафраньош¹,
Б.П. Мінаєв², Г.В. Баришніков², В.А. Мінаєва²

¹Ужгородський національний університет, вул. Волошина, 54, Ужгород, 88000

e-mail: ivanshafr@gmail.com

²Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

бульвар Шевченка, 81, Черкаси, 18031

e-mail: cic@cdu.edu.ua

ІОНІЗАЦІЯ МОЛЕКУЛ ГУАНІНУ В ЗІТКНЕННЯХ З ЕЛЕКТРОНАМИ

В умовах електронного та молекулярного пучків, що перетинаються, досліджені процеси утворення позитивних іонів азотистої основи нуклеїнових кислот - гуаніну. Виміряні мас-спектри, визначені повний та парціальні перерізи іонізації молекул гуаніну. Виміряна енергетична залежність повного перерізу іонізації в інтервалі енергій від порогу до 200 еВ. Встановлено, що абсолютна величина повного перерізу утворення позитивних іонів гуаніну становить $(3,2 \pm 0,15) \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ при енергії електронів 95 еВ.

Ключові слова: іонізація, гуанін, ДНК, електронний удар.

Вступ

Важливими компонентами архітектури генетичних макромолекул ДНК і РНК є молекули азотистих основ: піримідинових похідних (цитозину, тиміну і урацилу) та пуринових (аденіну і гуаніну). Дія різноманітних факторів на молекули нуклеїнових кислот і їх компонентів може призвести до неконтрольованих змін у генотипі живих організмів. Одним із таких зовнішніх впливів є високоенергетичне іонізуюче випромінювання, яке генерує внутріклітинні потужні потоки низькоенергетичних вторинних електронів із енергіями від 0,1 до десятків електрон-вольт [1]. Фізичний вплив вторинних електронів ініціює процеси дисоціативного захоплення [2], збудження та іонізацію молекул азотистих основ нуклеїнових кислот [3-6], які, у свою чергу, запускають ланцюг деструктивних змін у генетичних макромолекулах ДНК і РНК. Це змушує по-новому розглянути картину радіаційного впливу на живі організми. Тому цілком зрозумілим є високий інтерес до вивчення взаємодії біологічно важливих молекул з повільними електронами.

Для об'єктивної оцінки радіобіологічних наслідків фізичних процесів збудження та іонізації, викликаних в біоструктурах електронним ударом, потрібні точні дані про величини абсолютних перерізів утворення позитивних і негативних іонів нуклеотидних основ та інформація про найбільш імовірні канали фрагментації біомолекул. Метою даної роботи є дослідження процесів іонізації молекул гуаніну електронним ударом.

Експериментальна установка та методика досліджень

Експериментальні дослідження були виконані в умовах пучків електронів та молекул, що перетинаються. Техніка та методика експерименту детально описані в наших попередніх роботах [3, 5].

Пучок досліджуваних молекул отримується за допомогою термічного ефузійного джерела багатоканального типу та системи колімуючих щілин. Температура ефузійного джерела з препаратом гуаніну в процесі вимірювань не перевищувала 410 К, яка є нижчою за температуру фрагментації цих молекул. В експериментах

використовувались препарати біомолекул фірми Sigma-Aldrich (чистота 99%).

Джерелом електронів була п'яти-електродна електронна гармата із катодом, виготовленим із торованого вольфраму. Електрони пучка, що пройшли область зіткнень, уловлювалися циліндром Фарадея, який знаходився під негативним потенціалом. Виміри проводилися при силі струму пучка електронів $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ А і енергетичній неоднорідності електронів на піввисоті їх енергетичного розподілу $\Delta E_{1/2} \sim 0,3$ еВ. Електронна гармата розміщувалася у поздовжньому магнітному полі індукцією $B = 1,2 \cdot 10^{-2}$ Тл. Калібрування енергетичної шкали електронів здійснювалося за резонансним піком утворення іонів SF_6^- , енергетичне положення якого визначало нуль шкали.

Для повного збору іонів, що утворилися в області перетину електронного та молекулярного пучків, на шляху молекулярного пучка розміщувався прохідний колектор, всередині якого знаходився осьовий електрод (зонд). Повнота збору іонів забезпечувалася потенціалом зонда, рівним 25 В. Магнітне поле унеможливило попаданню на зонд пружно та непружно розсіяних на молекулах електронів і вторинних електронів з електродів електронної гармати.

Для мас-спектрометричного аналізу утворених іонів був використаний мас-спектрометр МІ 1201. Експериментальні вимірювання здійснювалися в два етапи: на першому етапі записувалися мас-спектри молекул при енергії електронів 95 еВ і проводилася ідентифікація ліній мас-спектрів; на другому етапі визначалися абсолютна величина повного перерізу іонізації і його енергетична залежність. Абсолютні величини парціальних перерізів іонізації визначалися шляхом їх нормування на абсолютну величину повного перерізу іонізації.

Наведені в роботі дані про перерізи утворення іонів отримані шляхом усереднення результатів п'яти вимірювань. Відносні похибки вимірювань: 12 % – для енергетичних залежностей перерізів іонізації, 21 % – для абсолютних величин.

Результати досліджень та їх обговорення

Мас-спектр гуаніну при енергії бомбардуючих електронів 95 еВ приведений на рис. 1, де по осі абсцис показано відношення m/z в системі атомних одиниць, а по осі ординат – струм утворених іонів у довільних одиницях. У загальних рисах отриманий нами мас-спектр гуаніну подібний до мас-спектрів, приведених у роботах [7-10], але є деякі відмінності. Це стосується розподілу інтенсивностей ліній у мас-спектрі, а також кількості самих ліній. Найкраще наші результати корелюють з даними [7]. Вказані відмінності, на нашу думку, зумовлені, в першу чергу, різними процесами взаємодій. Так, у роботах [7-9] такі іони утворювалися у процесі електронного удару, а в роботі [10] – при фотоіонізації. Слід сюди додати і такий чинник, як температура, до якої нагрівалися досліджувані препарати у процесі дослідження.

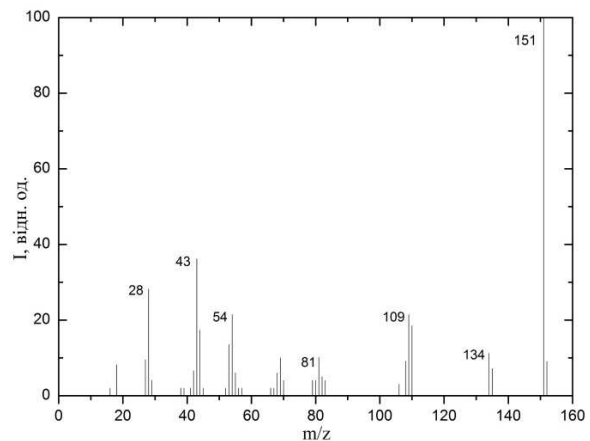


Рис. 1. Мас-спектр гуаніну для енергії електронів 95 еВ.

Ідентифікація ліній у мас-спектрі проводилася шляхом встановлення їх відповідності масам можливих фрагментів і приведена у таблиці 1.

Загальною ознакою приведенного мас-спектру є: 1) присутність найбільш інтенсивної лінії, яка відповідає однозарядному молекулярному іону (лінія $m/z = 151$); 2) наявність великої кількості ліній різної інтенсивності, які відносяться до новоутворених іонних фрагментів; 3) відсутність ліній двозарядних молекулярних іонів, а також відсутність іонів димерних та тримерних молекулярних сполук.

Таблиця 1
**Абсолютні величини перерізів
 утворення позитивних іонів молекул
 гуаніну та їх фрагментів при енергії
 електронів 95 еВ**

m/z, а.о.м.	Іони	$\sigma, 10^{-15} \text{ см}^2$
27	CHN^+	0.07
28	$\text{CO}^+, \text{CH}_2\text{N}$	0.24
42	CNO^+	0.05
43	$\text{CH}_3\text{N}_2^+, \text{CHNO}^+$	0.31
44	$\text{CH}_4\text{N}_2^+, \text{CH}_2\text{NO}^+$	0.14
53	$\text{C}_2\text{H}_3\text{N}_2^+$	0.11
54	$\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_2^+$	0.18
55	$\text{C}_2\text{H}_3\text{NO}^+$	0.04
68	$\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_3^+$	0.04
69	$\text{C}_2\text{H}_3\text{N}_3^+$	0.08
81	$\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_3^+$	0.8
82	$\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_2\text{O}^+$	0.04
108	$\text{C}_4\text{H}_2\text{N}_3\text{O}^+$	0.7
109	$\text{C}_4\text{H}_3\text{N}_3\text{O}^+$	0.18
110	$\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_3\text{O}^+$	0.15
134	$\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_5^+$	0.09
135	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5^+$	0.05
151	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5\text{O}^+$	0.88
152	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5\text{O}^+$	0.07

Для визначення ефективних перерізів утворення іонних фрагментів необхідно виміряти абсолютну величину повного ефективного перерізу іонізації молекул гуаніну. Результати цих вимірів ілюструються на рис. 2, де наведена абсолютна величина перерізу іонізації та її енергетична залежність (функція іонізації) для молекул гуаніну в інтервалі енергій бомбардуючих електронів від порогу до 200 еВ. Як видно з рис. 2, функція іонізації зазначених молекул після припорогового зростання є досить пологою зі слабо вираженими особливостями і з широким максимумом в діапазоні від 85 до 95 еВ. Зокрема: максимальне значення повного перерізу іонізації досягається при енергії 88 еВ і рівне $(3,2 \pm 0,15) \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$. Енергетичний поріг утворення позитивних молекулярних іонів становить $(8,3 \pm 0,2)$ еВ, що в межах похибок експерименту непогано узгоджується (див. табл. 2) з даними інших робіт [9, 11, 12].

Зазначимо, що абсолютні значення

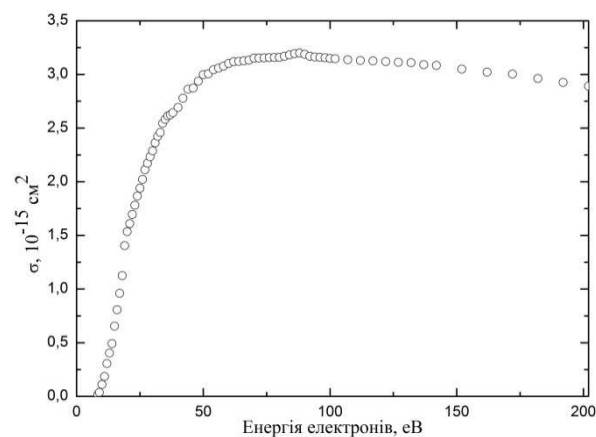


Рис. 2. Залежність абсолютної величини перерізу утворення позитивних іонів гуаніну від енергії електронів.

Таблиця 2
Потенціал іонізації гуаніну

Потенціал іонізації, В	Метод	Література
$8,3 \pm 0,2$	Електронний удар	Наші дані
$8,1 \pm 0,2$	Електронний удар	[9]
$8,0 \pm 0,2$	Електронний удар	[11]
$8,24 \pm 0,03$	Фотоіонізація	[12]

перерізів іонізації для гуаніну та аденіну [13] є близькими за величиною.

Переріз утворення позитивних іонів, визначений в роботі, має зміст повного перерізу, тобто включає в себе перерізи утворення іонів як вихідних молекул (перерізи молекулярних іонів), так і їх фрагментів (так звані парціальні перерізи). На кривих іонізації помітна структура у вигляді зломів, яка обумовлена, на нашу думку, внесками від процесів утворення молекулярних іонів у збуджених станах та дисоціативної іонізації.

Отримані дані про повний переріз іонізації молекул гуаніну та їх мас-спектр дали можливість визначити парціальні перерізи утворення іонів найбільш ймовірних фрагментів цих молекул при енергії бомбардуючих електронів 95 еВ (див. табл. 1, де m/z – маса молекулярного фрагменту в атомних одиницях маси; σ – величини перерізів утворення іонних фрагментів молекул). Абсолютні величини пар-

ціальних перерізів іонізації визначалися шляхом їх нормування на абсолютну величину повного перерізу іонізації наступним чином. Очевидно, що сумарний струм утворених іонів рівний

$$i_{\Sigma} = i_1 + i_2 + \dots + i_n \quad (1)$$

де i_{Σ} – сумарний іонний струм, i_n – струм іонів певного фрагменту.

З іншого боку:

$$i_{\Sigma} = i_e n \sigma_{\Sigma} l \quad (2)$$

$$i_n = i_e n \sigma_n l \quad (3)$$

де i_e – струм бомбардуючих електронів, n – концентрація молекул в області перетину електронного та молекулярного пучків, l – шлях електронів у молекулярному пучку, σ_{Σ} і σ_n – відповідно повний і парціальний перерізи іонізації.

Таким чином, із вищенаведеного слідує:

$$\sigma_n = \sigma_{\Sigma} i_n / i_{\Sigma} \quad (4)$$

Враховуючи, що іонний струм пропорційний площі мас-спектрометричного піку у мас-спектрі, для шуканого парціального перерізу отримаємо:

$$\sigma_n = \sigma_{\Sigma} S_n / \sum S_i \quad (5)$$

де S_n – площа n -го піка у мас-спектрі, $\sum S_i$ – сумарна площа усіх піків у мас-спектрі.

Аналіз таблиці 1 та мас-спектру показує, що утворення молекулярних іонів гуаніну, як і для цитозину, тиміну, урацилу [3, 5, 6] є переважаючим процесом (перерізи за порядком величини 10^{-15} см^2), що свідчить про достатню стійкість досліджуваних основ нуклеїнових кислот до електронного удару. Це дуже значимий факт для таких складних молекул, як гуанін, коли найбільший парціальний переріз іонізації характеризує утворення молекулярного іону. Багато складних молекул не мають стійких молекулярних іонів [14]. Звертають на себе увагу іонні фрагменти, для яких характерні найбільші перерізи утворення. Зокрема, це фрагменти: CHNO^+ , CO^+ , CH_4N_2^+ , CH_2NO^+ , $\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_2^+$, $\text{C}_4\text{H}_5\text{N}_4^+$, $\text{C}_4\text{H}_3\text{N}_3\text{O}^+$, $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_3\text{O}^+$. Інші іонні фрагменти молекул характери-

зуються значно меншими перерізами утворення $\sim (10^{-17} - 10^{-18}) \text{ см}^2$.

Взаємодія молекул гуаніну з електронами достатньої енергії є імовірнісним процесом, що приводить до утворення позитивно заряджених молекулярних іонів. При цьому слід зазначити, що утворені молекулярні іони можуть знаходитися в різних збуджених електронно-коливних станах. Дисипація енергії цих станів головним чином проходить двома шляхами: радіаційним, із зміною електронної конфігурації; або безрадіаційним – за рахунок перетину потенціальних поверхонь. Отже, збуджені молекулярні іони можуть перейти в основний стан з надлишком коливальної енергії. В той же час при перетині потенціальних поверхонь перехід іону в основний стан не є єдино можливим. Якщо енергія збудженого стану іона є достатньою для його розпаду, то з'являється можливість його фрагментації із цього стану.

Наявність у молекулі гуаніну групи CO з атомом кисню суттєво відрізняє його мас-спектр, а відповідно і схеми фрагментації, від аденіну [15]. Зокрема, для гуаніну не спостерігається основний фрагментаційний ланцюг, який би пояснював наявність більшої частини інтенсивних ліній у його мас-спектрі, як у випадку аденіна.

Для фрагментації молекулярного іону гуаніну необхідним є одночасний розрив принаймні двох зв'язків. Одночасний розрив трьох зв'язків представляється менш ймовірним. Логічним буде положення, що найбільш ймовірні розриви повинні бути в тих місцях, для яких суми двох зв'язків є найбільшими. Довжини зв'язків розраховувалися за допомогою напівемпіричного методу AM1 [16], що входить в програмний пакет HyperChem8.0, в режимі оптимізації всіх структурних параметрів з нормою градієнта $< 0,01$. Для молекулярного іону гуаніну можна виділити такі пари зв'язків (див. рис. 3).

1) C3 – C8, N4 – C3; 2) C3 – C8, N6 – C5; 3) C3 – C8, C3 – C8, C5 – N4; 4) N4 – C3, N6 – C5; 5) C5 – N4, N6 – C5; 6) N9 – C10, N11 – C7. Ймовірності розривів цих пар зв'язків слід вважати незалежними, а новоутворені фрагменти можуть бути джерелом

подальшого розпаду. Таким чином, існують незалежні паралельно-послідовні схеми фрагментації.

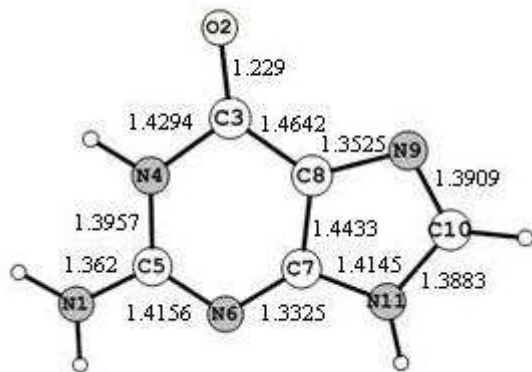


Рис. 3. Розподіл довжин зв'язків для іона молекули гуаніну.

Проілюструємо сказане детальніше. Розриви зв'язків C3 – C8, N4 – C3. Молекулярний іон $C_5H_5N_5O^+$ втрачає нейтральний фрагмент $C_4H_5N_5$ і продукує заряджений фрагмент CO^+ ($m/z=28$). Лінія з $m/z=28$ є третьою за інтенсивністю у спектрі гуаніну. Деякий внесок у інтенсивність цієї лінії вносить і заряджений фрагмент CH_2N^+ , утворений при розриві зв'язків N9 – C10, N11 – C7 та C5 – N4, N6 – C5, хоча цей внесок не повинен бути значним, про що свідчать довжини їх зв'язків. У свою чергу, фрагменти CH_2N^+ , втрачаючи атом водню, формують CHN^+ ($m/z=27$). Подібна картина спостерігається і в молекулі аденіну. Слід сказати, що лінія з $m/z=28$ непомітна в спектрах, приведених в роботах [9, 10]. Натомість, вона помітно себе проявила у спектрі, отриманому авторами [7]. Зауважимо, що ідентифікація лінії $m/z=28$ з фрагментом CO^+ має своє непряме експериментальне підтвердження. Так, у роботі [6] був вивчений фотоemisійний спектр урацилу, ініційований електронним ударом. Урацил, подібно до гуаніну, має бокові атоми кисню. Було виявлено, що декілька інтенсивних ліній у спектрі чудово ідентифікуються з молекулярними смугами іона CO^+ .

Розриви зв'язків C3 – C8, C5 – N4. Молекулярний іон $C_5H_5N_5O^+$ втрачає нейтральний фрагмент $C_4H_4N_4$ і продукує заряджений фрагмент $CHNO^+$ ($m/z=43$). Лінія з $m/z=43$ є другою за інтенсивністю у

спектрі гуаніну. Розрив зв'язків N4 – C3, N6 – C5 також може формувати заряджений фрагмент $CH_3N_2^+$ з $m/z=43$. Зауважимо, що ймовірності розриву пар зв'язків C3 – C8, C5 – N4 та N4 – C3, N6 – C5, згідно наших розрахунків, є рівновеликими. У свою чергу, фрагмент $CH_3N_2^+$ з $m/z=43$, втрачаючи водень, продукує CH_2N_2 ($m/z=42$). У випадку молекули аденіну лінія $m/z=43$ значно менша за інтенсивністю. На нашу думку, це пояснюється тим, що зв'язок C9 – N8 при переході від молекули до молекулярного іону помітно посилюється.

Розриви зв'язків C7 – N6, C5 – N4. Молекулярний іон $C_5H_5N_5O^+$ втрачає нейтральний фрагмент CH_2N_2 і продукує заряджений фрагмент $C_4H_3N_3O^+$ з $m/z=109$, який, в свою чергу, втрачаючи водень, формує фрагмент $C_4H_3N_3O^+$ з $m/z=108$. При послідовній втраті CHN фрагмент $C_4H_3N_3O^+$ продукує іони з $m/z=82, 55$. Є припущення, що при утворенні фрагментів $C_4H_3N_3O^+$, $CH_3N_2^+$ з $m/z=43$ виникає помітна ймовірність захоплення ними атома водню, внаслідок чого синтезуються фрагменти $C_4H_4N_3O^+$ з $m/z=110$ та $CH_4N_2^+$ з $m/z=44$.

Для появи іонів з $m/z=54, 53$ слід допустити розриви трьох зв'язків: C3 – C8; C7 – C8; N11 – C7. Молекулярний іон $C_5H_5N_5O^+$ втрачає нейтральний фрагмент $C_3H_3N_3O$ і продукує заряджений фрагмент $C_2H_2N_2^+$, який, втрачаючи водень, формує іон $C_2HN_2^+$. Іони при $m/z=135$ і $m/z=134$ можуть утворитися із молекулярного іону гуаніну при втраті ним, відповідно, нейтральних фрагментів NH_2 і NH_3 .

Приведена фрагментаційна схема уявляється найбільш вірогідною, однак не виключає перебіг фрагментації також і за іншими шляхами.

Висновки

Досліджено процес іонізації та дисоціативної іонізації ізольованих молекул азотистої основи нуклеїнової кислоти гуаніну при їх зіткненнях з низькоенергетичними електронами. Вперше отримано дані про абсолютні величини повного та парціальних перерізів утворення позитивних іонів молекул гуаніну. Експеримен-

тально отримано мас-спектр гуаніну при енергії бомбардуєчи електронів 95 еВ, проаналізовано основні схеми утворення іонних фрагментів.

Отримані дані можуть бути використані для оцінки радіаційних змін у молекулах ДНК і РНК при внутрішньому β – опроміненні біооб'єктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Cobut V., Frongillo Y., Patau J.P., Goulet T., Fraser M.-J., Jay-Gerin J.-P. Monte Carlo simulation of fast electron and proton track sinliquid water. I. Physical and physico-chemical aspects. *Radiat. Phys. Chem.* 1998. 51 (3), 229–243.
2. Huels Michael A., Nahndorf Ina, Illenberger Eugen, Sanche Léon. Resonant dissociation of DNA bases by subionization electrons // *Journal of Chemical Physics.* – 1998. – V. 108, Iss. 4. – P. 1309-1312.
3. Shafranyosh I.I., Sukhoviya M.I., Shafranyosh M.I. Absolute cross sections of positive and negative ion production in electron collision with cytosine molecules// *J. Phys. B.* – 2006. - v.39. - P. 4155- 4162.
4. Aflatooni K., Scheer A.M., Burrow P.D. Total dissociative electron attachment cross sections for molecular constituents of DNA // *J. Chem. Phys.* – 2006.– V. 125.– P. 054301–1 – 054501-5.
5. Шафраньош І.І., Суховія М.І., Шафраньош М.І., Шимон Л.Л. Процеси образования положительных и отрицательных ионов молекул тимина, иницируемые медленными электронами // *ЖТФ.* – 2008. – Т.78, вып.12. – С. 7-11.
6. Shafranyosh I.I., Sukhoviya M.I. Inelastic collisions of the uracil molecules with electrons // *J. Chem. Phys.* 2012. – V. 137(18). – P. 184303-184309.
7. Rice J. M., Dudek G. O. Mass spectra of nucleic acid derivatives. II. Guanine, adenine, and related compounds // *J. Am. Chem. Soc.*, 1967. - 89 (11), P. 2719 – 2725.
8. NIST Standard Reference Database. Webpage (<http://webbook.nist.gov/chemistry>). National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Spectral Database for Organic Compounds(SDBS). Webpage (http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi).
9. Zvilopulo A.N., Shpenik O.B., Agafonova A.S. Electron impact ionization of gas-phase guanine near the threshold // *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* – 2009. – 42. – 025101 (6pp).
10. Plekan O., Feyer V., Richter R., Coreno M., de Simone M., Prince K.C. Photofragmentation of guanine, cytosine, leucine and methionine // *Chem. Phys.* – 2007. – 334. – P. 53-63.
11. Verkin B.I., Sukodub L.F., Ianson I.K. Ionization potentials of nucleic acid nitrogenous bases. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1976, 228(6): 1452-5.
12. Hush N.S., Cheung A.S. Ionization potentials and donor properties of nucleic acid bases and related compounds // *Chem. Phys. Lett.* – 1975. – Vol. 34, Iss. 1, P 11-13.
13. Шваб Р.Л., Шафраньош М.І., Стецович В.В., Суховія М.І., Шафраньош І.І. Про утворення позитивних і негативних іонів молекул аденіну, викликане повільними електронами // *Науковий Вісник Ужгородського університету, Серія Фізика.* – 2009. – Вип. 25. – С. 195–201.
14. Полякова А.А. Молекулярный масс-спектральный анализ органических соединений – Москва: Химия, 1993. – 248 с.
15. Шваб Р.Л., Минда І.Ю., Стецович В.В., Стукалов О.М., Суховія М.І., Шафраньош І.І. Експериментальне та квантово-хімічне моделювання процесів утворення позитивних і негативних іонів аденіну електронним ударом // *Вісн. Черкас. ун-ту. Сер. Хім. Науки.* – 2010. – Вип. 175. – С. 54–57.
16. Dewar M.J.S., Zoebish E.G., Headly E.E., Stewart J.J. AM1: A general purpose quantum mechanical molecular model // *J. Am. Chem. Soc.* – 1985. – V. 107, N 13. – P. 3902-3909.

Стаття надійшла до редакції 27.01.2014

M.I. Shafranyosh¹, A.V. Zhigan¹, Yu.Yu. Svyda¹, M.I. Sukhoviya¹,
V.S. Silvashi¹, I.I. Shafranyosh¹,
B.P. Minaev², G.V. Baryshnikov², V.A. Minaeva²

¹Uzhhorod National University, Voloshina Str., 54, Uzhhorod, 88000

²Cherkasy National University named after Bogdan Khmelnytsky
Blv. Shevchenka, 81, Cherkasy, 18031

IONIZATION OF GUANINE MOLECULES IN COLLISIONS WITH ELECTRONS

The investigations of the positive ionization processes of nucleic acid base guanine were made using crossed electronic and molecular beams. Mass-spectrums were measured and absolute and partial sections of guanine molecules ionization were determined. The energy dependence was determined for the cross-section of formation positive guanine ions at the electron energy interval from the formation threshold up to 200 eV. The total positive guanine ions production cross reaches the $(3,2 \pm 0,15) \cdot 10^{-15}$ cm² at the 95 eV electron energy.

Keywords: ionization, guanine, DNA, electron impact.

М.И. Шафраньош¹, А.В. Жиган¹, Ю.Ю. Свида¹, М.И. Суховия¹,
В.С. Сильваши¹, И.И. Шафраньош¹,
Б.П. Минаев², Г.В. Барышников², В.А. Минаева²

¹Ужгородский национальный университет, ул. Волошина, 54, Ужгород, 88000

²Черкасский национальный университет им. Б. Хмельницкого, бульвар Шевченка, 81,
Черкасы, 18031

ИОНИЗАЦИЯ МОЛЕКУЛ ГУАНИНУ В СТОЛКНОВЕНИЯХ С ЭЛЕКТРОНАМИ

В условиях пересекающихся электронного и молекулярного пучков, исследованы процессы образования положительных ионов азотистой основы нуклеиновых кислот - гуанина. Измерены масс-спектры, определены полные и парциальные сечения ионизации молекул гуанина. Измерена энергетическая зависимость полного сечения ионизации в интервале энергий от порога до 200 эВ. Установлено, что абсолютная величина полного сечения образования положительных ионов гуанина составляет $(3,2 \pm 0,15) \cdot 10^{-15}$ см² при энергии электронов 95 эВ.

Ключевые слова: ионизация, гуанин, ДНК, электронный удар.