

УДК 53.04

PACS:34.20.-b

DOI 10.24144/2415-8038.2018.43.137-146

Т.В.Ковалінська¹, О.А.Жернов², В.І.Сахно¹, Т.М. Маєвська¹,
Ю.В.Іванов¹, В.Г.Ніколаєв³, Л.О.Сахно³, В.В.Шлапацька⁴

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, пр. Науки, 47, 03028, Київ, Україна,
e-mail: sungel@i.ua

² НМАПО імені П. Л. Шупика, вул. Дорогожицька, 9, 04112, Київ, Україна

³ Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім.Р.Є.Кавецького,
вул. Васильківська, 45, 03022, Київ, Україна

⁴ Інститут фізичної хімії НАН України ім. Л.В. Писаржевського, пр.Науки, 31, 03028, Київ,
Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОДУКТІВ РАДІОЛІЗУ ВОДИ В МЕДИЧНИХ ЦІЛЯХ

Дослідження спрямовані на формування наукового підґрунтя застосування електрофізичних радіаційних технологій для новітніх методів в медицині. Вперше поставлена проблема залучення тонких ефектів взаємодії іонізуючої радіації з живою матерією через проміжні реакції утворення-розрядки активних гідролізних наноструктур. Такий спосіб цілеспрямованої передачі енергії випромінювання безпосередньо до лікувального процесу обіцяє, крім бактерицидних ефектів, стимулювання репараційних процесів і зростання активності живих клітин на рановій поверхні. Тому актуальними є дослідження можливостей застосування продуктів радіолізу води для лікування важких форм ранового процесу при термічних та радіаційних опіках, онкологічних проявах та ін. захворювань.

Ключові слова: іонізуюче випромінювання, електрони, енергія, радіаційна хімія, продукти радіолізу води, радіаційні технології, медичне використання, опіки.

Вступ

Ідеї, покладені в основу даної прикладної роботи – пошуки шляхів використання енергії іонізуючих випромінювань для регулювання динаміки клітинних реакцій при несприятливих фізичних впливах (термічних та радіаційних ураженнях, онкології). Дослідження вказаної проблеми було розгорнуто після виявлення незрозумілого для медиків ефекту підвищення ефективності традиційних медичних розчинів для лікування важких форм термічних опіків. Було встановлено, що при використанні ізотонічного розчину натрію хлориду безпосередньо після його стерилізації за стандартом ISO 11137-1-2011, окрім традиційно звичного ефекту розчинення і вимивання виділень на ранових поверхнях, спостерігалось підвищення темпів репарації пошкоджених

тканин. Ранові поверхні заживлялись швидше. Для розуміння можливостей використання цього феномену, виникла об'єктивна необхідність більш детально дослідити особливість ефектів високих порядків, які виникають при опроміненні води та водних розчинів в процесі їх стандартної радіаційної стерилізації. Кінцевою метою цих досліджень є залучення радіаційно стимульованих ефектів для підвищення ефективності терапевтичного процесу.

Раніше в секторі радіаційних технологій проводили подібні дослідження при розробці радіаційних технологій для харчової галузі виробництва [1,2]. Для медицини – вперше. Попередні дослідники технологій радіаційної стерилізації медичних засобів в основному приділяли увагу мікробіологічним ефектам (проблемам стерильності оброблених

медичних засобів) [3].

На перших етапах даної програми було проведено теоретичні і експериментальні дослідження особливостей радіаційної стерилізації медичних розчинів електронами 2-5 MeV шляхом поглибленого аналізу доступних матеріалів численних дослідників з радіаційної хімії, радіаційної фізики, медичної радіології та результатів і досвіду власних робіт цього напрямку. Аналізувались енергетичні і хімічні параметри, якими описуються процеси в рідких матеріалах з великим вмістом води при обробці їх випромінюванням пікометрового діапазону (іонізуючим) і мегавольтними електронами. Отримані знання будуть спрямовані на пошуки шляхів використання енергії іонізуючих випромінювань для підвищення ефективності традиційних медичних матеріалів з метою скорочення термінів лікування важких травм (опіків, побічних наслідків ядерної медицини в онкології, польової хірургії, тощо).

Особливості радіолізу води

Аналіз доступних даних щодо складу продуктів радіолізу води при опроміненні електронами середніх і низьких енергій свідчить, що особливістю радіаційної стерилізації є супутні процеси утворення/розрядки продуктів радіолізу води (іонів і збуджених атомів та молекул) з різними, в тому числі і надзвичайно короткими, термінами існування. На думку вчених-медиків привабливим є їх використання для стимулювання відновлювальних процесів в пошкоджених клітинах. Головним завданням перших етапів такої програми було нагромадження докладної інформації з радіаційної фізики і радіаційної хімії та її систематизації для фахівців медицини з метою визначення продуктів радіолізу, перспективних для медичного застосування. А визначення переліку корисних продуктів радіолізу, в свою чергу, є основою для побудови енергетичних моделей процесів їх утворення та розробки практичної технології напрацювання.

Відомо, що радіоліз води відбувається

за рахунок поглинання енергії випромінювань пікометрового діапазону електромагнітних хвиль (гама-квантів), або електронів середньої енергії. Кінцевий результат модифікації води при опроміненні цими видами іонізуючої радіації однакові та відрізняються лише ефективністю передачі енергії в матеріал. Іонізуючі випромінювання цього діапазону енергії ефективно діють на зовнішні оболонкові структури атомів опромінюваного матеріалу та визначають його хімічну активність. Такі механізми можуть використовуватися для цілеспрямованої модифікації структур атомів, а відповідно, і властивостей матеріалу, що опромінюється. При радіаційній стерилізації водних медичних розчинів, енергія іонізуючих випромінювань конвертується у потоки вторинних електронів, які забезпечують її подальшу трансформацію у хімічні реакції та у зміну фізичного стану матерії (температури). Вторинні електрони, рухаючись в товщі рідини, втрачають енергію на хаотичне збудження чи іонізацію молекул води на своєму шляху. Частина їх може покинути об'єм опромінюваного матеріалу та взаємодіяти з атомами зовнішнього середовища (атмосфери) і суттєво впливати на кінцевий результат радіаційної обробки.

Процеси поглинання енергії випромінювання у воді

Процеси поглинання водою енергії електронів добре вивчено [4,5]. Первинні високоенергетичні електрони взаємодіють з вільними електронами матеріалу і атомами за рахунок електростатичних сил. Більша частина їх енергії передається в опромінюваний матеріал при взаємодії з орбітальними електронами. Відомо, що збуджені і іонізовані молекули дають початок каскаду реакцій з утворенням вільних радикалів і молекулярних продуктів. При проходженні через шар води та водних розчинів електрони втрачають свою енергію на хаотичне збудження, іонізації атомів речовини на всьому шляху руху. Технологічно важливо, що іонізаційні втрати енергії

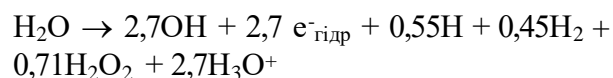
електронів на одиницю довжини траєкторії стають постійними починаючи з енергії 0,5 МеВ. За нормативними Міжнародними документами для радіаційних технологій введено обмеження на вид (лише електрони та фотони) та енергію іонізуючих випромінювань до мінімальної величини (фотони – 5 МеВ, електрони -10 МеВ), яка з запасом гарантує, що при опроміненні в матеріалі не утворяться небажані сполуки чи наведена радіоактивність [6-8]. Електронні технології характеризуються найбільшою ефективністю через високу початкову енергію електронів, яка суттєво перевищує потенціали іонізації атомів. І при цьому на усьому шляху відбуваються їх зіткнення з атомами речовини та передача їм частки енергії на вибивання вторинних електронів. Вторинні електрони можуть іонізувати ще кілька молекул і стимулювати збудження хімічних реакцій. За час взаємодії електрони зміщуються в опромінюваному матеріалі на 10^{-8} – 10^{-7} см і утворюють групу іонів вздовж траєкторії первинної частинки (треки). В результаті утворюються локальні нанорозмірні групи взаємодії, які прийнято називати шпурами (інколи – кластерами). Значна частина вибитих з атомів електронів має енергію в десятки еВ і також приймають участь у процесі іонізації опромінюваного матеріалу і збудженні його атомів і молекул. Причому це відбувається миттєво – кожен акт такої взаємодії відбувається за час 10^{-14} – 10^{-15} с. А сам процес передачі енергії електронами прямий і запускається вже при першій взаємодії з атомами матеріалу.

Також відомо [4], що середня енергія, яка витрачається на утворення в опромінюваній воді однієї пари іонів в реальних радіаційних технологіях з електронами практично не залежить від енергії падаючих первинних електронів і для більшості речовин складає величину близьку 30 еВ, що суттєво вища за потенціал іонізації більшості простих молекул (близько 10 еВ). Дві третини енергії первинні електрони витрачають на збудження. Це і обумовлює більшу технологічну ефективність напрацювання

продуктів радіолізу шляхом електронного опромінення.

Радіаційно-хімічна модель електроактивації води

Прийнята канонічна формула радіолізу води [9,10].

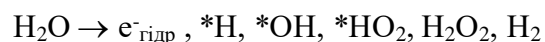


В цій формулі елементи:

- OH і H є нейтральні вільні гідроксильні радикали та атоми водню;
- $e_{\text{гидр}}^-$ – гідратований електрон ;
- H_2 , H_2O_2 , і H_3O^+ - звичайний молекулярний водень, перекиси водню та іони водню.

Коефіцієнти в правих членах рівняння характеризують радіаційно-хімічний вихід G-показник кількості іонізованих/збуджених молекул на прикладену енергію в 100 еВ.

Коефіцієнти в правих членах рівняння дещо відрізняються у різних авторів через технічні розбіжності та постановки експериментів. Тому часто перелік продуктів опромінення описують у спрощеному вигляді:



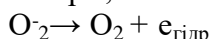
Тут * - вказує, що радикал утворився в результаті збудження атому, коло якого зліва стоїть зірочка. А якщо справа від символу стоїть знак полярності (-/+), це свідчить, що радикал утворився в результаті розрядки іонізованого атому. Але обидва процеси характеризуються однією і тією ж величиною – радіаційно-хімічним виходом G.

При опроміненні води на відкритому повітрі (без сторонніх включень), або опромінення медичних розчинів з деяким об'ємом повітря в герметичних упаковках будуть додатково виникати ще і численні продукти іонізації (радіолізу) повітря. Їх кілька груп . Основні з них:

- легкі іони H, H_2
- іони кисню O_2 та їх похідні O_3
- окисли азоту NO_2 , NO

Відповідно, при опроміненні реальних зразків медичних розчинів електронами подальші реакції відбуваються за участю не тільки продуктів радіолізу, але також і продуктів іонізації повітря.

Негативно заряджені іони кисню розряджаються з вивільненням електронів, в результаті чого формуються маси вільних (вторинних) електронів невеликої енергії, які можуть віддавати свою енергію на збудження хімічних реакцій. Цей процес можна додатково інтенсифікувати за допомогою введення реакційно здатних елементів – каталізаторів, сенсibilізаторів.



Процес поглинання гідратованого

електрону атомом кисню призводить до утворення нестійкої конструкції O_3 з коротким періодом напіврозпаду і виділенням енергії, отриманої в реакції її синтезу.

Усі продукти радіолізу є активними центрами і віддають нагромаджену енергію на збудження каскадів реакцій їх розрядки. Вони відносяться до окислювальних реакцій, привабливі для керування біохімічними процесами, наприклад, на ранових поверхнях. Саме ці етапи трансформації енергії випромінювання найбільше цікавлять фахівців медицини. Перелік з найбільш досліджених реакцій зведено в таблицю 1.

Таблиця 1. Окислювальні реакції продуктів радіолізу води.

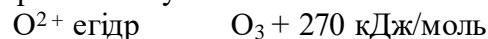
Реакції	Гідроксильні радикали *OH (*O)	Перекиси водню H_2O_2	Вищі гідроксильні радикали H^*O_2	Азот N_2^*, N_2^+
	$H_2O^+ + H_2O \rightarrow H_3O^+ + ^*OH$ $H_2O \rightarrow ^*H + ^*OH$	$2 \cdot ^*OH \rightarrow H_2O_2$ $2 \cdot H^*O_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$	$^*OH + H_2O_2 \rightarrow H_2O + H^*O_2$ $^*H + O_2 \rightarrow H^*O_2$	$N_2^* + H_2O \rightarrow N_2 + H_2O^*$ $N_2^+ + H_2O \rightarrow N_2 + H_2O^+$
Радіаційно-хімічний вихід G (мол/100eB)	3,0 при pH=0,4 2,8 при pH=7 3,0 при pH=13(*O)	0,8 при pH=0,4 0,75 при pH=7	0,02 при pH=0,4	0,8
Коефіцієнт дифузії D ($10^{-5} \text{cm}^2/\text{c}$)	2,3	1,3	1,7	1,1
Потенціал реакції E^o (В)	$2,1(OH^- \leftrightarrow ^*OH + e^-)$ $2,8(H_2O \leftrightarrow ^*OH + H^+ + e^-)$	$0,7(H_2O_2 \leftrightarrow O_2 + 2H^+ + e^-)$ $1,5(H_2O_2 \leftrightarrow HO_2 + H^+ + e^-)$	$0,4(HO_2 \leftrightarrow O_2 + H^+ + e^-)$	
Примітки	Більш висока реакційна здатність, ніж широко вживані оксиданти Cl_2 , O_2 , $HOCl$, $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$, та O_3			

Трансформація енергії при розрядці радіолізоатів

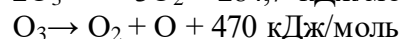
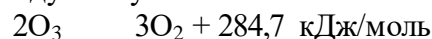
З аналізу процесів розрядки збуджених атомів і молекул у воді, встановлено, що крім енергії на стимулювання послідовних хімічних реакцій, одночасно виділяється і надлишкова енергія у вигляді тепла (велика кількість за мірками біохімічних процесів в живих клітинах). З теорії радіаційної хімії харчових продуктів можна оцінити кількість виділеної енергії в реакціях з радикалами. До таких

енергоємних компонентів відносяться перекиси, гідратовані електрони та озон. Згідно положень цієї дисципліни за кілька хвилин молекула озону може розпадатися по ланцюгах реакцій:

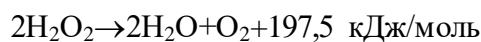
- утворення озону:



- розпаду озону:



А додаткову енергію слід очікувати з реакцій розрядки перекисів:



В таких реакціях виділяється велика енергія, яка порушує енергетичну рівновагу в крупних органічних молекулах і призводить до їх модифікації. Ці реакції супроводжуються вивільненням атомарного кисню – одного з найбільш сильних окислювачів, та передачею до матеріалу значної кількості нагромадженої енергії. В живих біомолекулах (віруси, бактерії) при цьому відбувається фатальне порушення біохімічних процесів.

Особливість радіаційних процесів напрацювання гідролізатів води

Радіаційна стерилізація води відрізняється від інших методів її стерилізації високою інтенсивністю утворення гідратованих електронів.

Гідратовані електрони, це унікальні заряджені частинки, що при певних умовах виникають з води, були відкриті і досліджені в 60-х роках минулого століття. Численні дослідники з радіаційної хімії полімерів стверджують, що ці продукти радіолізу здатні існувати в воді тривалий час після опромінення. Такі ж висновки можна зробити і з результатів власних досліджень радіаційних технологій харчових продуктів. Тут при опроміненні харчових продуктів з великим вмістом води ніяких небажаних сполук з точки зору хімічних досліджень не відзначалось, очевидно через надто низьку концентрацію супутніх радіаційно-стимульованих сполук, недоступну для стандартних засобів промислового контролю в харчовій галузі. Але в усіх експериментах, попри відсутність хімічних протипоказань, відзначалась поява тонкого специфічного «електронного» присмаку в органолептичних оцінках готового продукту, і який усувався старанним відпрацюванням технологічного регламенту радіаційної пастеризації чи стерилізації [11,12].

Зараз можна стверджувати, що вказану особливість визначає саме наявність довго живучих продуктів радіолізу. І лише для гідратованих електронів поки що не

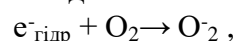
остаточно визначено термін існування у воді після опромінення. Тому припустивши, що цей продукт може існувати довго, зроблено попередній висновок, що саме він може бути використаний для збудження радіаційно-хімічних процесів в опроміненій воді у віддалені проміжки часу після радіаційної стерилізації. Наприклад, вже при нанесенні радіаційно-стерилізованої води на ранову поверхню.

Цьому припущенню в даних дослідженнях було приділено особливу увагу. Виявилось, що поки не існує надійна фізична (енергетична) модель існування у воді електронів з практично нульовою швидкістю. Це представляє самостійний інтерес для прикладної ядерної фізики. Але з таких досліджень можна очікувати практичних результатів для вирішення поставленої мети, якщо знайти шлях керування вмістом гідратованих електронів впродовж терміну зберігання стерилізованих рідин.

В реальних рідинах цей компонент радіолізу легко вступає в хімічні реакції. Можна припустити, що саме це визначає термін існування гідратованих електронів. І можна сподіватися на розробку для медичних розчинів ефективних заходів керування вмістом гідролізатів при їх зберіганні до моменту терапевтичного застосування.

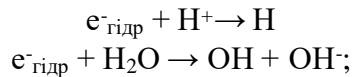
Цьому знайдено підтвердження при аналізі похідних реакцій під дією гідратованих електронів. Встановлено, що гідратовані електрони більш селективні в низці хімічних реакцій дуже швидко приєднуються до компонентів розчинів, які мають низько розташовані вільні орбіти (більшість ароматичних сполук). Реакції з гідратованими електронами характеризуються високими константами швидкостей. За звичай, отриманий в таких реакціях продукт (нове потенційне джерело електронів) є вільним радикалом.

Гідратовані електрони можуть надзвичайно швидко реагувати з іонами кисню і іонами водню.



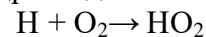
Для чистої води, де концентрація іонів водню вища, ніж концентрація іонів

кисню, для е-гідр переважає реакція з $H^+, (H_3O^+)$:



Гідратовані електрони підтримують реакції з утворенням перекисів водню, стимулюють реакції з іншими іонами, наприклад, заліза. В свою чергу, продукти реакцій з гідратованими електронами, наприклад, атоми водню, далі вступають в реакцію з молекулярним киснем і

утворюють гідроксиди:



Аналіз технологічних особливостей напрацювання активних гідролізатів

Напрацювання гідролізатів шляхом опромінення є самою простою технологією. Для цього упаковані розчини вносять в область дії іонізуючого випромінювання в реакційній камері радіаційної установки, як це показано на рис. 1.

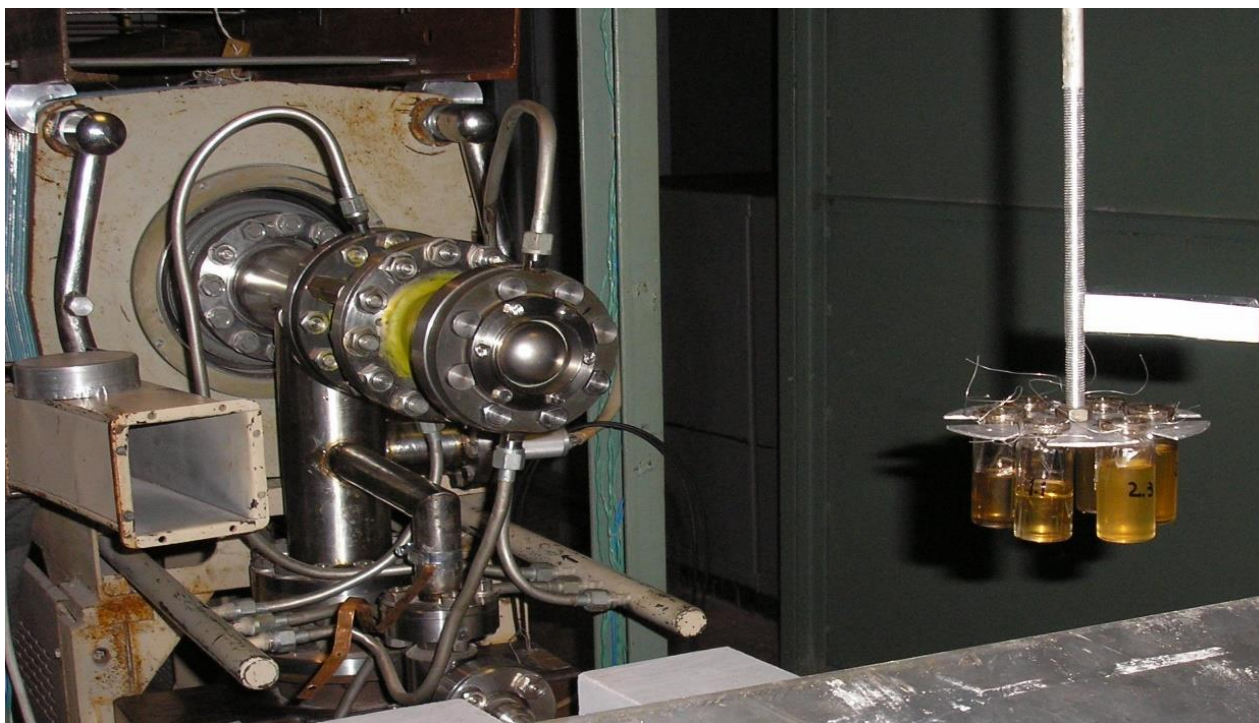


Рис. 1. Опромінення зразків медичних розчинів мегавольтними електронами.

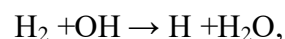
Технологію опромінення необхідно узгодити не лише з часом електронної активації та термінами застосування гідролізатів, але враховувати вплив процесів збудження-розрядки активних наногруп. Перевагу слід віддавати прямому опроміненню електронами, енергія яких задовольнятиме вимогам рівномірної обробки рідини в стандартних для медицини упаковках. Розчини слід опромінювати таким чином, щоб об'єм неопроміненої рідини був мінімальним, бо в процесі напрацювання гідролізатів необроблена вода сама буде інтенсивно споживати активні гідролізати, утворені в опромінених масах і цим зменшить їх корисний вихід для подальшого медичного

застосування. Найбільш вигідним є опромінення зразків одночасно (не послідовно) з двох і більше сторін. Аналіз результатів спеціальних досліджень та досвіду використання радіаційних технологій, свідчить, що зараз це не є проблемою з огляду на тривалий досвід об'ємного опромінення в промислових процесах, наприклад при обробці органічної ізоляції.

Двома окремими проблемами, які слід дослідити, є питання оптимальної технології напрацювання – в упаковках з присутністю повітря чи без нього.

Також необхідно вирішити метрологічні проблеми контролю за технологічним процесом і його

стандартизацію для медичного застосування.

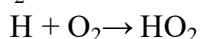


Висновки

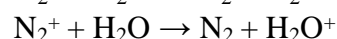
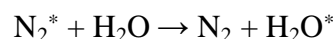
При радіаційній стерилізації у воді нагромаджується енергія іонізуючих випромінювань у вигляді нанорозмірних утворень з іонізованих і збуджених молекул, атомів, елементарних зарядів. Згідно законів збереження енергії, такі конструкції не можуть зберігатися довго і віддають нагромаджену енергію на збудження ланцюгів хімічних реакцій, аж до повної їх розрядки. Причому, без будь-яких додаткових реактивів. Утворені в цих хімічних реакціях сполуки є предметом досліджень для застосування в медичній практиці. Важливо, що надійна керованість потоками радіації дає перспективу цілеспрямованого напрацювання в розчинах необхідної кількості нанорозмірних гідролізних утворень.

Особливістю електронного опромінення є підвищена інтенсивність нагромадження енергії у вигляді елементарних зарядів, що виникають з води – «гідратовані електрони». Характерно, що упродовж усього терміну виникнення-розрядки активованих молекул води, гідратовані електрони існують постійно і при опроміненні розчинів з високою діелектричною характеристикою можна очікувати їх тривале зберігання і можливість використання у віддалені проміжки часу. Їх роль в біохімічних і фізіологічних процесах поки що досконало не вивчена.

Технологічно можливо нагромаджувати енергію у вигляді гідратованих електронів, а потім, уже в складі електроактивованої рідини, передавати цю енергію безпосередньо до біохімічних процесів на ранових поверхнях. Це перспективно, бо таким чином принципово можна транспортувати енергію, необхідну для збудження репараційних процесів в живих клітинах. В масах розчиненої органіки на ранових поверхнях ймовірно можуть відбуватися процеси біотрансформації цих радикалів за участю O_2 та H_2 :



Вимагає окремого дослідження методика медичного використання водних розчинів, опромінених електронами в присутності повітря. З теоретичної точки зору, в органіці на рановій поверхні можлива низка реакцій за участю іонізованого атмосферного азоту (якщо виявиться можливість його тривалого зберігання в опроміненому розчині) за рахунок передачі енергії його електронного збудження молекулам води.



На наш погляд, перспектива медичного застосування продуктів радіолізу води визначається в першу чергу енергією гідратованих електронів, нагромаджених в процесі радіаційної стерилізації розчинів. Ці заряджені частинки (фактично – одиничні заряди) хоча і мають практично нульову швидкість, але за рахунок електростатичних сил здатні активно вступати в реакції з іншими складовими в біологічні маси ранової поверхні. Більшість таких реакцій формує активні і короткоживучі сполуки, але при цьому кожен акт модифікації електронами атомів і біологічних молекул супроводжується виділенням в точці реакції додаткової енергії. За такого механізму дії стає зрозумілим досить тривале зберігання активності «зарядженого» радіацією розчину, що спостерігалось експериментально.

Інші продукти, згідно теорії, надто короткоживучі, щоб суттєво впливати на біохімію і фізіологічні процеси на рановій поверхні. Більш конкретні дані щодо використання вище досліджених процесів будуть отримані в наступних етапах програми досліджень. Їх метою є уточнення цієї моделі в спеціальних медико-біологічних дослідженнях *in-vivo* за *on-line* радіаційними технологіями.

Головною технологічною проблемою застосування продуктів радіолізу води є період існування після опромінення та його узгодження з реальним часом

терапевтичного процесу. З цією метою необхідно удосконалити методику отримання і зберігання активних наногруп та технології їх медичного застосування у віддалений період.

Використання енергії іонізуючих випромінювань дозволяє створювати гнучкі технології формування в складі води і водних медичних розчинів груп гідролізатів з різними біохімічними, фізіологічними та фізичними властивостями (фізіологічною активністю, термінами існування, тощо).

Залучення в медицину вказаних процесів приваблює тим, що не будуть вимагати ніякого додаткового вкладення коштів. Необхідно лише визначити

біохімічні і фізіологічні проблеми на ранових поверхнях, які можна вирішити за допомогою продуктів радіолізу. А подальше їх використання – це лише доповнення до існуючих інструкцій щодо використання радіаційно-стерилізованих медичних розчинів (з урахуванням термінів існування потрібних груп гідролізатів).

Обґрунтовано, що залучення тонких ефектів взаємодії іонізуючої радіації з живою матерією через проміжні реакції утворення-розрядки активних гідролізних наноструктур забезпечує цілеспрямовану передачу енергії випромінювання безпосередньо до лікувального процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. І.М. Вишневський, В.І. Сахно, С.П. Томчай, А.Г. Зелінський, О.В. Сахно. Впровадження технологій радіаційної пастеризації та консервації продуктів харчування // Наука та інновації. – 2005.- Том.1. - №3.- С. 51-61
2. Вишневський І.М., Гайдар Г.П., Коваленко О.В., Ковалінська Т.В., та ін. /Радіаційні та ядерні технології в ІЯД НАН України. Монографія. Київ, 2014, с. 175/
3. ГОСТ ISO 11137-1-2011 Стерилизация медицинской продукции. Радиационная стерилизация
4. Аккерман А.Ф. Моделирование траекторий заряженных частиц в веществе / А.Ф. Аккерман – М.,1991.– 200 с. - ISBN 5-283-02924-7.- (Энергоатомиздат).
5. Buxton G.V., Greenstock C.L., Helman W.P., Ross A.B. Critical review of rate constants for reactions of hydrated electrons, hydrogen atoms and hydroxyl radicals (OH/ O⁻) in aqueous solutions, J. Phys. Chem. Ref. Data 17.- 1988.- P.513-886.
6. Radiation processing: environmental applications.-Vienna: IAEA.-2007.- P.71
7. Irradiation and Achievement of Policy Goals. Energy Conservation. Proposed programme of Work for 1996-88. International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), IAEA, Vienna, Austria, ss. 16-18, 1995
8. NabloS.V. CheeverR.N. Low Electron for Posteurisation and Aseptic Practice // Rad/Phys. And Chem.- 1979.- Vol. 14.- № 3-6.- P. 360.
9. Радиационная обработка пищевых продуктов// Итоги науки и техники; сер. Химия и технология пищевых продуктов. - М., 1989. - Т.2.-с.155.
10. Иванов В.С. Радиационная химия полимеров: Учеб. пособие для вузов. —Л.: Химия, 1988. —320 с.
11. Б.Л.Нехамкин Технология низкотемпературной пастеризации пресервов [Текст]: научное издание / Б. Л. Нехамкин, В. В. Голенкова, В. И. Сахно // Тр. Атлант. НИИ рыб. х-ва и океаногр. - 1996. - Т. 2. - С. 55-68, 107, 112
12. Нечаев А.Ф. Пиковолновая обработка пищевых продуктов. Химическая промышленность / А.Ф.Нечаев; сер. «Радиационная химия и технология; радиационная стойкость», - М., 1991.- с. 55

Стаття надійшла до редакції 12.05.2018.

Т.В.Ковалинская¹, А.А.Жернов², В.И.Сахно¹, Т.М. Маевская¹,
Ю.В.Иванов¹, В.Г.Николаев³, Л.А.Сахно³, В.В.Шлапацкая⁴

¹ Институт ядерных исследований НАН Украины, пр. Науки, 47, Киев, 03028, Украина
e-mail: sungel@i.ua

² НМАПО имени П.Л. Шупика, ул. Дорогожичская, 9, Киев, 04112, Украина

³ Институт экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии им. Р.Е.Кавецкого,
ул. Васильковская, 45, Киев, 03022, Украина

⁴ Институт физической химии НАН Украины им. Л.В. Писаржевского, пр. Науки, 31, 03028,
Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДУКТОВ РАДИОЛИЗА ВОДЫ В МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЯХ

Исследования направлены на формирование научной базы применения электрофизических радиационных технологий для новейших методов в медицине. Впервые поставлена проблема привлечения тонких эффектов взаимодействия ионизирующей радиации с живой материей через промежуточные реакции образования-разрядки активных гидролизных наноструктур. Такой способ целенаправленной передачи энергии излучения непосредственно к лечебному процессу обещает, кроме бактерицидных эффектов, стимулирования репарационных процессов и рост активности живых клеток на раневой поверхности. Поэтому актуальными являются исследования возможностей применения продуктов радиолитиза воды для лечения тяжелых форм раневого процесса при термических и радиационных ожогах, онкологических проявлениях и др. заболеваний.

Ключевые слова: ионизирующее облучение, электроны, энергия, радиационная химия, продукты радиолитиза воды, радиационные технологии, медицинское использование, ожоги.

T.V.Kovalinska¹, O.A.Zhernov², V.I.Sakhno¹, T.M.Maevska¹,
Yu.V.Ivanov¹, V.G.Nikolaev³, L.O.Sakhno³, V.V.Shlapatska⁴

¹Institute for Nuclear Research of NAS of Ukraine, Kyiv, 03028, Ukraine, e-mail: sungel@i.ua

²Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education, Kyiv,Ukraine

³RE Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology, NAS of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

⁴L.V.Pisarzhevsky Institute of Physical Chemistry of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

RESEARCHING THE OPPORTUNITIES OF USING WATER RADIOLYSIS PRODUCTS WITH MEDICAL PURPOSES

Introduction. In this article we research the alternative way of ionizing irradiation energy transmission to the treatment process – distantly through nanosized compositions from water-radiolysis products. They are formed in medical water solutions under the influence of ionizing irradiation and accumulate their energy as hydrolysates. The usage of such accumulated energy is cheaper and available through the involvement of radiation stimulated effects for enhancing the effectiveness of therapeutic process.

Purpose. Studying formation-discharging processes of active radiolysis products during radiation treatment of medical solutions. Establishing the effectiveness of their usage in the treatment of burns of different origin.

Methods. Complex schemes which combine theoretical, physical, technical, clinical and radiobiological methods in vivo.

Results. We carried out the analysis of processes of forming and discharging active products of water radiolysis and medical water solutions radiolysis under the

influence of ionizing radiation. Experiments confirmed positive clinical influence of irradiated medical solutions on physiological processes of injured human organs. We found out that irradiation with megawolt electrons increases the effectiveness of traditional medical solutions in combustiology, general therapy. The effectiveness of medical usage of water radiolysis products is determined primarily with the energy of hydrated electrons, accumulated in the process of radiation treatment of medical solutions. Water radiolysis products in direct contact with the surface of burns enhance recovery processes in damaged cells and do not cause systemic negative influence.

Conclusion. Experiments confirmed that the involvement of radiation through intermediate reactions of forming and discharging active hydrolyzed nanostructures provides useful irradiation energy transfer directly to the process of treatment. Such methodology is suggested for the modification of traditional water medical solutions to increase their therapeutic effectiveness and to enhance functionality. In the future, it will allow to create new improved materials for medicine which significantly reduce treatment time for severe injuries (burns, side effects of nuclear medicine in oncology).

Keywords: ionizing irradiation, electrons, energy, radiation chemistry, water radiolysis products, radiation technologies, medical usage, burns.

REFERENCES

1. Akkerman A.F. (1991) "Simulation of the trajectories of charged particles in matter", ["Modelirovaniye trayektoriy zaryazhennykh chastits v veshchestve"], Moscow, P. 200, ISBN 5-283-02924-7.
2. Buxton G.V., Greenstock C.L., Helman W.P., Ross A.B. Critical review of rate constants for reactions of hydrated electrons, hydrogen atoms and hydroxyl radicals (OH/ O⁻) in aqueous solutions, J. Phys. Chem. Ref. Data 17.- 1988.- P.513-886.
3. Food irradiation ["Radiatsionnaya obrabotka pishchevykh produktov"], Results of science and techniques. Series Food Chemistry and Technology [Itogi nauki i tekhniki; ser. Khimiya i tekhnologiya pishchevykh produktov], 1989, Moscow, T.2, pp.155.
4. Irradiation and Achievement of Policy Goals. Energy Conservation. Proposed programme of Work for 1996-88. International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), IAEA, Vienna, Austria, pp. 16-18, 1995
5. ISO 11137-1-2011 Sterilization of medical products. Radiation sterilization
6. Ivanov V.S. (1988) Radiation chemistry of polymers, Leningrad, 320 c.
7. Nablo S.V. Cheever R.N. Low Electron for Posteurisation and Aseptic Practice // Rad.Phys. And Chem.- 1979.- Vol. 14.- № 3-6.- P. 360.
8. Nechayev A.F. (1991), "Picowaves food processing" ["Pikovolnovaya obrabotka pishchevykh produktov"], Chemistry industry, [Khimicheskaya promyshlennost'], Moscow, p.55.
9. Radiation processing: environmental applications.-Vienna: IAEA.-2007.- P.71
10. Sakhno V.I., Nekhamkin L.B., Golenkova V.V. (1989), Techology of low temperature of food pasterization" ["Tehnologia nizkotem-peraturnoy pasterizatsii preservov"], New ways of traditional technologies of fish processing" ["Novye napravleniya v oblasti traditsionnykh tekhnologiy pererabotki ryby"], Collection of scientific papers [Sbornik nauchnykh trudov], Atlant NIRO, Kaliningrad, P.116.
11. Vyshnevskiy I.M., Sakhno V.I., Tomchay S.P. and other (2005) "Implementation of radiation pasteurization technologies and preservation of food products" ["Vprovadzhennya tekhnolohiy radiatsiyanoi pasteryzatsiyi ta konservatsiyi produktiv kharchuvannya"] Science and innovation [Nauka ta Innovatsii], T.1, No3, pp. 51-61.
12. Vyshnevskiy I.M., Gaydar G.P., Kovalenko O.V. and other (2014), "Radiation and nuclear technologies in the INR of NAS of Ukraine" ["Radiatsiyini ta yaderni tekhnolohiyi v IYAD NAN Ukrayiny"], Monograph, Kyiv, P. 176.