

УДК 539.1+53.04+542.8+57.04

<https://doi.org/10.15407/jnpae2024.01.072>**В. Т. Маслюк^{1*}, Н. І. Сватюк¹, Н. В. Бойко², С. А. Бурмей², О. І. Симканич²,
О. О. Грабар², О. М. Поп¹, О. Б. Тарнай¹, М. В. Гошовський¹, Й. Й. Гайніш¹**¹ Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород, Україна² Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», Ужгород, Україна

*Відповідальний автор: volodymyr.maslyuk@gmail.com

**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА БІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ САХАРИДІВ ТА СПИРТУ
ПІСЛЯ РАДІАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ^a**

Представлено результати комплексного дослідження впливу ядерного випромінювання на фізико-хімічні властивості дистильованої води, водних розчинів сахаридів, етилового спирту та їх біологічну активність. Опромінювання здійснювалося на електронному прискорювачі мікротроні М-30 (12,5 МеВ), а також на ізотопних радіаційних стендах на базі ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs та ²⁴⁰Pu, що генерують змішане ядерне випромінювання. Обговорюються часова еволюція хімічних показників, оптичні та частотні характеристики електричних параметрів опромінених водних середовищ. Установлено вибіркочну біологічну дію опромінених сполук на тест-мікроорганізми з різних філогенетичних груп.

Ключові слова: радіація, вода, глюкоза/сахароза, спирт, розчини, мікротрон М-30, ізотопні джерела, фізико-хімічні зміни, біологічна активність.

1. Вступ

Біоорганічні молекули об'єднують широкий клас хімічних сполук, важливих для функціонування біоти. У своїй більшості вони є вуглеводами, тобто їхній хімічний склад утворюється комбінаціями лише атомів С, О та Н, на відміну від таких же біологічних макромолекул, що мають значно різноманітнішу хімічну композицію. Моносахариди та спирти є типовими представниками цього класу сполук, важливих для метаболізму біоти та забезпечення широкого спектра фізіологічних функцій організму на клітинному рівні – від створення та вживання їх до зберігання та постачання енергії [1, 2]. Такі властивості є результатом структурної різноманітності вуглеводів, участі у складних біохімічних процесах, що включають етап перетворення та деструкцію молекул, утворення масивів продуктів їхньої дефрагментації, а також синтез нових біомолекул. Встановлення каналів таких перетворень під дією факторів різної природи є актуальною задачею, особливо виділяючи роль іонізуючої радіації як перманентний фон існування біоти в наземних умовах [3, 4]. Натепер ця тема є поширеною і стосується вивчення каналів радіаційної фрагментації як самих вуглеводів у конденсованому стані, так і їхніх водних розчинів [5]. В останньому випадку утворені структурні сегменти можуть існувати у вигляді ізольованих

об'єктів, а також реалізувати нові хімічні сполуки внаслідок процесів гідро- та оксигенізації з новими біологічними можливостями. Цій темі присвячено значний обсяг досліджень [6 - 9].

Проблемою, що обмежує масштаб таких досліджень, є відсутність завершеної теорії радіаційних перетворень біоорганічних сполук, здатної пояснити характер зміни їхніх властивостей навіть для молекул із числом атомів у 20 - 30 одиниць. Теоретичний підхід, такий як метод структурних комбінацій, запропонований у роботі [5] для пояснення радіаційної дефрагментації глюкози та амінокислот, базується на необхідності врахування можливості переключення гомо- та гетерозв'язків їхніх атомів, ієрархії енергій хімічних зв'язків та лабільності розташування структурних кластерів, як у грі «Лего». Важливим є той факт, що водні розчини, наприклад сахаридів, опромінені у різний спосіб, мають різну біологічну активність, яка зазнає часової еволюції відповідно до їхніх фізико-хімічних параметрів. Про біологічну активність опромінених розчинів біоорганічних сполук повідомляється також у роботах [10 - 12]. Беручи до уваги кластерний характер радіаційної дефрагментації та подальшого упорядкування структури біоорганічних сполук, важливим є вивчення впливу опромінення ядерними частинками різного сорту, енергії та щільності потоків на ці процеси.

© В. Т. Маслюк, Н. І. Сватюк, Н. В. Бойко, С. А. Бурмей, О. І. Симканич,
О. О. Грабар, О. М. Поп, О. Б. Тарнай, М. В. Гошовський, Й. Й. Гайніш, 2024

^a Представлено на XXX Щорічній науковій конференції Інституту ядерних досліджень НАН України, Київ, 25 - 29 вересня 2023 р.

У даній роботі представлено результати дослідження ряду фізико-хімічних параметрів та біологічної активності декількох сахаридів та розчину етилового спирту, опромінених як на мікротроні М-30 (великі дози), так і за допомогою радіаційних стендів, що містять ізотопні джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) ^{241}Am , ^{137}Cs та ^{240}Pu , відповідно (малі дози). Це дає змогу реалізувати різні умови опромінення: прискореними електронами, пучками нейтронів чи альфа-частинок, та змішаного ядерного опромінення, і дослідити характер радіаційних змін властивостей досліджуваних матеріалів.

2. Умови експериментів та методика досліджень

Об'єктами досліджень були дистильована вода, зразки сахаридів: D-глюкоза та сахароза у вигляді 5 %-них водних розчинів, а також розчини етилового спирту в концентрації 5 %. Глюкоза є полігідроксиальдегідом, що містить карбонільну групу і п'ять гідроксильних груп. Сахароза має більш складну структуру і містить два моносахариди D-глюкозу і D-фруктозу, чистота яких була не нижче 99,8 %. Етиловий спирт є типовим представником гідроксилвмісних похідних вуглеводнів. Усі вони мають складну хімічну структуру, елементи якої мають різну чутливість до дії іонізуючого випромінювання.

Опромінювання зразків здійснювалося на електронному прискорювачі мікротроні М-30 та радіаційних стендах на базі ДІВ – ізотопів ^{241}Am (№ 13), ^{137}Cs (№ 2Г7) та ^{240}Pu (№ 15), у дужках наведено обліковий номер ДІВ за паспортом. Вказані ізотопи генерують пучки змішаного ядерного випромінювання. Можливості мікротрона М-30 [13] дають змогу формувати пучки прискорених електронів з енергією у межах 1 - 18 МеВ з моноенергетичністю 0,02 % та струмом пучка до 50 мкА. При цьому можна створювати інтенсивні поля електронного, гамма- і нейтронного випромінювання для проведення радіаційних досліджень. Для даного експерименту вибиралися пучки прискорених електронів із енергією 12,5 МеВ, опромінювання здійснювалися за кімнатної температури. Флуенс опромінювання, або поглинута доза (у см^{-2}) визначалася часом опромінення та інтенсивністю потоку ядерних частинок на площі опромінювання. Однорідність поля опромінення площею 100 см^2 була не гіршою 30 %.

Умови опромінення на радіаційних ізотопних стендах визначалися спеціальним експериментом по спаду інтенсивності гамма-випромінювання залежно від віддалі, (рис. 1), де вимірювання

проводилися атестованим радіометром МКС-РМ1401К. За умови, що зразки розміщалися на віддалі 1 см від ДІВ, а опромінення проводилося протягом 20 хв, поглинута доза досліджуваними зразками може бути оцінена: для джерела ^{137}Cs у 0,46, ^{241}Am – 0,34 та ^{240}Pu – 0,2 мЗв відповідно. При цьому слід узяти до уваги, що ^{137}Cs є джерелом змішаного гамма-електронного випромінювання, ізотоп ^{241}Am при розпаді випромінює альфа-частинки, а його дочірнє ядро ^{237}Np є джерелом каскаду гамма-квантів та конверсійних електронів. ^{240}Pu також є джерелом випромінювання альфа-частинок, а при спонтанному поділі – нейтронів [14]. Ці фактори слід також враховувати поряд із значеннями еквівалентної дози на місці розміщення зразка при оцінці його радіаційної деструкції. Зауважимо також суттєву відміну величин доз опромінення зразків на мікротроні М-30 та на ізотопних джерелах.

Активність, мЗв/год

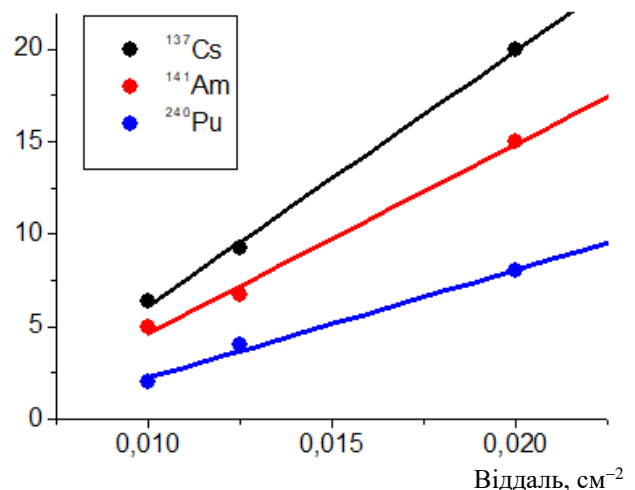


Рис. 1. Спад активності ДІВ від віддалі r (см^{-2}). Значення інтенсивності дози опромінення на віддалі 1 см від джерела становить: 1,37 мЗв/год для ^{137}Cs ; 1,02 мЗв/год для ^{241}Am та 0,58 мЗв/год для ^{240}Pu . (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

Визначення кислотності дистильованої води та досліджуваних зразків проведено потенціометричним методом із використанням комбінованого рН-метра AZ-8603. Значення рН для досліджуваних рідин вимірювалося до та після опромінення на мікротроні М-30, чи на ізотопних радіаційних стендах. Для вимірювання рН розчинів використовується скляний електрод. Перед початком вимірювань проводили калібрування рН-метра AZ-8603 за трьома буферними розчинами, що мали калібровані значення рН 4,01, 7,01 і 10,01, приготовлені із стандарт-титрів. Під час роботи налаштування рН-метра періодично перевіряють за буферним розчином з рН 7,01.

Спектри пропускання досліджувалися на спектрофотометрі СФ-46 в інтервалі довжин хвиль 200 – 1100 нм. Як джерело була використана дейтерієва лампа, призначена для роботи в області спектра від 190 до 350 нм, і лампа розжарювання – для області спектра від 340 до 1100 нм. Реєстрація спектрів проводилася сурм'яно-цезієвим фотоелементом у діапазоні до 650 нм та киснево-цезієвим – починаючи з 650 нм. Досліджувані рідини поміщалися у кварцові кювети об'ємом 30 мл. Для коректного вивчення оптичних властивостей опромінених рідин проводили дослідження спектрів пропускання порожньої кювети та кювети з розчинами.

Вимірювання електрофізичних параметрів води та водних розчинів потребує особливих режимів частотної спектрометрії, внаслідок утворення на поверхні металевих електродів подвійного шару із іонів різного знаку. У нашому випадку такі експерименти проводилися кондуктометром LCR V&K Precision моделі 891, що має частоту тестування від 20 Гц до 300 кГц. Вимірювання проводилися із використанням електролітичної комірки, що містила два металевих електроди з площею в 1 см², розташованих на віддалі 1 см один від одного. Після кожного вимірювання вони промивалися дистильованою водою.

Біологічні ефекти усіх тестованих розчинів оцінювали за наявністю/відсутністю в них антибактеріальної чи стимулюючої дії щодо вибраних нами тест-мікроорганізмів. Об'єктами дослідження були грампозитивні спорові *Bacillus subtilis* (штами 8130 та 090) та неспорові бактерії *Bifidobacterium bifidum* і *Lactobacillus plantarum* А. Спільною ознакою взятих для дослідження мікроорганізмів є те, що вони є основою пробіотиків і належать до нормальної мікробіоти.

З добової культури відповідних мікроорганізмів готували зависі бактеріальної суспензії за стандартом каламутності 0,5 одиниць щільності за МакФарландом ($1,5 \cdot 10^8$ КУО), який встановлювали за допомогою денситометра Den-1. Чистоту культури визначали бактеріоскопічно за методом Грама з використанням імерсійної мікроскопії і світлового мікроскопа: Primo Star iLED, Carl Zeiss. Кількість мікроорганізмів, які встановлюються за показником колонієутворюючих одиниць в 1 мл (КУО/мл) знаходили за допомогою планшетного методу для виготовлення десятикратних серійних розведень з наступним висівом їх на відповідні зазначені вище селективні поживні середовища.

3. Результати та їх обговорення

Опромінення призводить до появи у рідинах вільних радикалів, таких як атомарний водень

(H*), гідроксил (HO₂*) та перекиси водню (H₂O₂*), інші OH*, HO₂*, які можуть окисляти практично всі органічні речовини, що входять до складу клітин живих організмів. Це проявляється у зміні їхніх хімічних, оптичних та електрофізичних показників та у впливі на біоту.

На рис. 2 представлено результати дослідження хімічних та оптичних показників зразків дистильованої води та водних розчинів досліджуваних сполук, опромінених у пучках електронів з енергією 12,5 МеВ, загальним флюенсом (дозою) $2 \cdot 10^{14}$ ел./см². Рис. 2, а стосується зміни кислотності середовища до і після опромінення. Як видно, в усіх випадках опромінення призводить до зростання кислотності опромінених зразків, найбільших змін зазнають сахариди, зокрема, розчин глюкози, потім – сахарози, і ці характеристики не мають трендів до відновлення. Для опроміненої води, як видно, існує стійка тенденція до відновлення хімічних характеристик із часом. За даними, наприклад [5], нейтральність водного середовища може відновитися із постійною часу близько 10 год. Як видно, про схожу поведінку опромінених водних розчинів етанолу може свідчити часова еволюція параметра рН, проте вона менш виражена, ніж для дистильованої води. Для опромінених сахаридів зміни рН під дією радіації практично є незворотними. Такі відмінності пояснюються характером радіаційної фрагментації досліджуваних зразків: структурні фрагменти опромінених органічних сполук у водних розчинах можуть утворювати нові стійкі з'єднання в тому числі із залученням вільних радикалів із масиву структурних сегментів, утворених радіацією.

Рис. 2, б демонструє вплив опромінення на оптичні характеристики сахаридів. Як видно, спектри пропускання 5 %-них розчинів глюкози та сахарози до опромінення були подібними, опромінення ж на мікротроні М-30 призводить до зменшення оптичного пропускання їх. Ефект радіаційного затемнення є більш виражений для розчину глюкози, ніж сахарози. Про таку ж підвищену чутливість хімічних параметрів глюкози до дії іонізуючої радіації свідчать дані рис. 2, а.

Радіаційна обробка призводить також до зміни електрофізичних характеристик дистильованої води та досліджуваних водних розчинів, оскільки впливає на склад та співвідношення їхніх аніон-катионних компонент, які можуть мати різні молекулярні маси та рухливості в електричних полях. Це змінює також контактні умови при вимірюванні електрофізичних водних середовищ, тому, як правило, такі дослідження проводять лише із використанням частотних методик. Виділяють [15] декілька частотних

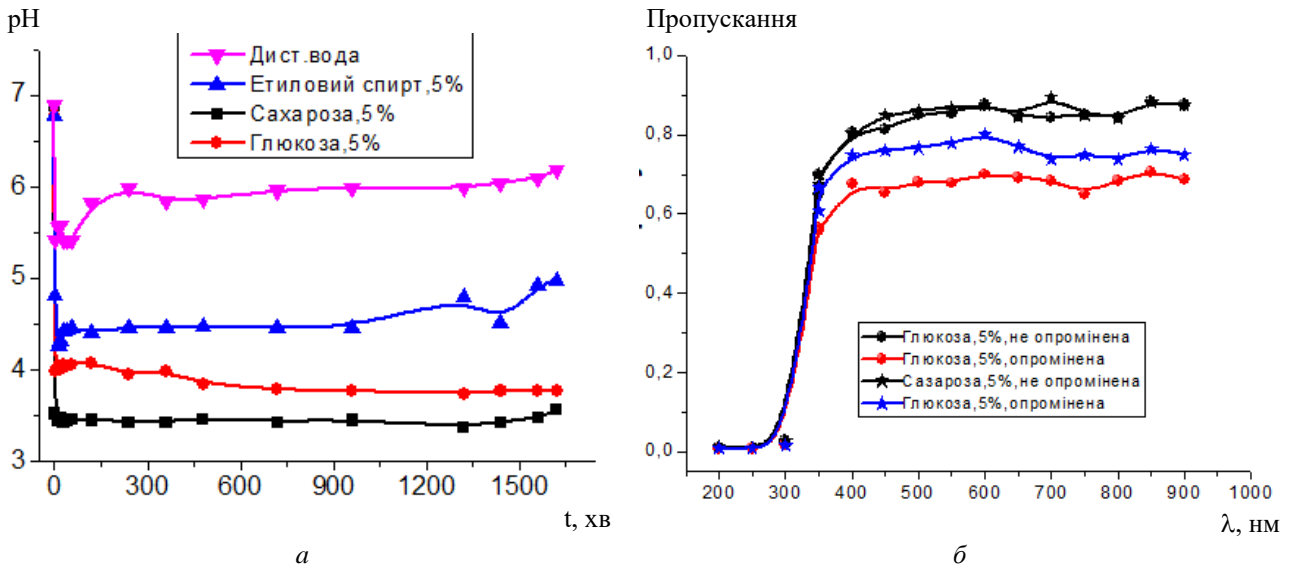


Рис. 2. *a* – часова залежність кислотності опромінених зразків, параметр рН, при $t = 0$ наведено їхні початкові значення; *б* – спектри пропускання 5 %-них водних розчинів сахаридів без та після опромінення. Опромінення для випадків *a* та *б* на мікротроні М-30 з енергією 12,5 МеВ, доза $2 \cdot 10^{14}$ ел./см². (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

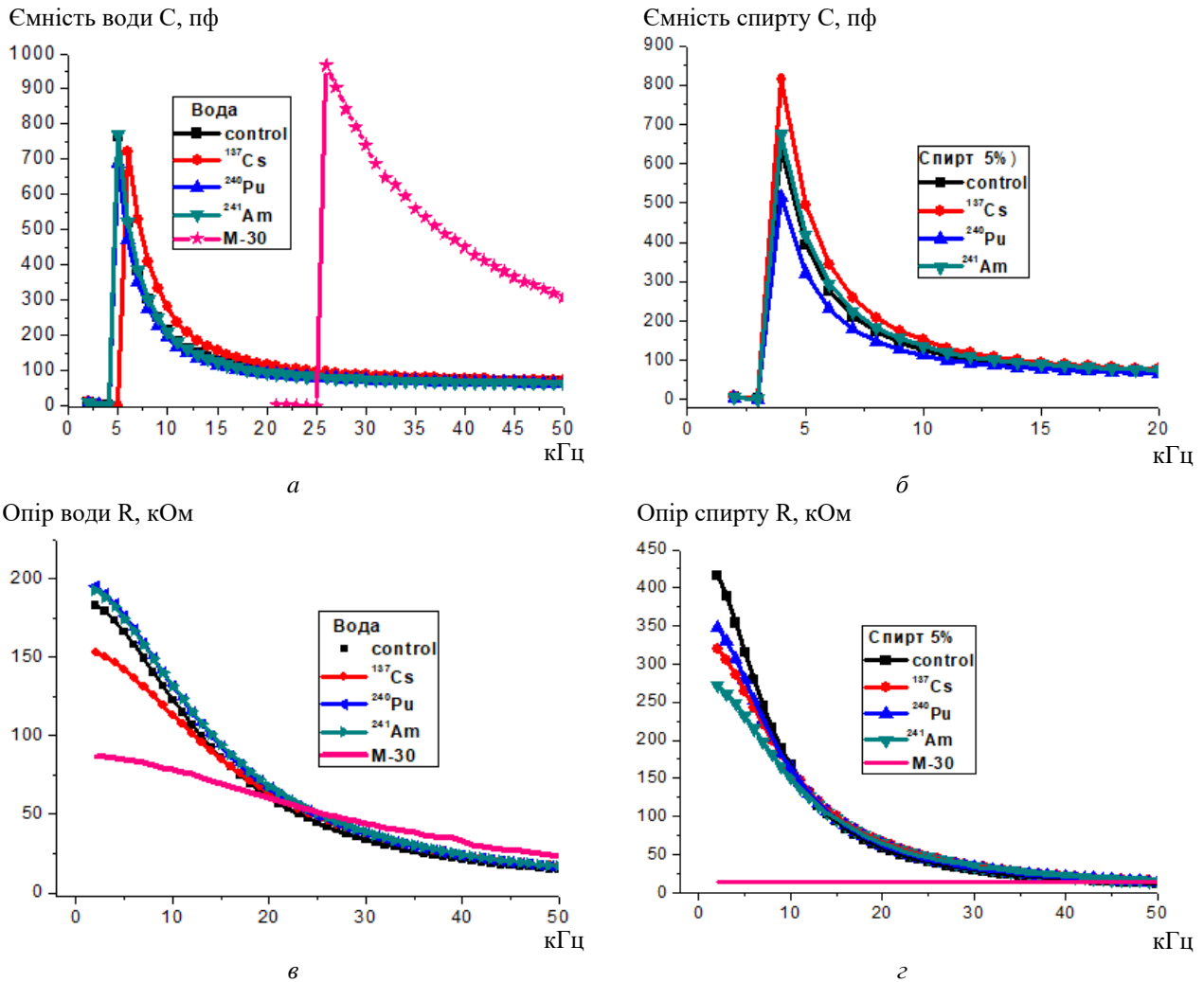


Рис. 3. Частотні залежності ємності С (пф) та опору R (кОм) для неопромінених, виділені чорним кольором, та опромінених зразків: *a*, *в* – дистильована вода, *б*, *г* – етиловий спирт 5 % для різних умов опромінення зразків: дані про тип ізотопних джерел, мікротрона М-30 наведено на вставці. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

діапазонів електрофізичних досліджень: менше 10^3 Гц, коли опір води та водних розчинів є значним, а діелектрична постійна визначається поляризацією компонент середовища, інерцією руху важких молекулярних комплексів, характеристиками подвійного електричного шару на контактах. Для діапазону більше 10^3 Гц провідність має більшу величину, вона відображає релаксаційну поляризацію полярних макромолекул і визначається їхніми ефективними радіусами та в'язкістю середовища. Діелектрична ж функція при таких вимірюваннях служить кількісною мірою відносного внеску провідних і діелектричних характеристик екрануючої здатності середовища у змінних електричних полях. Такого роду вимірювання базуються на методах моделювання із застосуванням послідовних та паралельних електричних схем заміщення. Вони використовуються у кондуктометрах і містять як залежні від частоти параметри, наприклад, ємності, так і активні опори, що від частоти не залежать. Результати таких вимірювань на прикладі водного та спиртового (5 %-ний водний розчин етилового спирту) середовищ, опромінених як на ізотопних стендах, так і на мікротроні М-30 загальним флуенсом $D = 5 \cdot 10^{16}$ см⁻², наведено на рис. 3. Як видно, є кількісні та якісні відмінності діелектричних (ємності С, пф) та провідних (опори R, кОм) характеристик, а також їхніх значень для опромінених зразків дистильованої води та 5 %-ного розчину спирту. На рис. 3 також наведено значення цих величин для неопромінених

зразків. Так, для опроміненого водного дистильату спостерігаються зміщення піка спадної характеристики ємності С у бік вищих частот (до 20 %), що відсутнє в опроміненому 5 %-ному спирті, а амплітуда їхніх пікових значень для води та спирту становить 15 та 50 % відповідно. Опромінення на ізотопних джерелах зменшує опір розчину спирту до 40 %, причому найбільший ефект досягається на джерелі ²⁴¹Am, тоді як для дистильованої води такі зміни становлять лише 15 % і найбільшою є на ¹³⁷Cs джерелі. Результати цих показників, отримані після опромінення зразків на мікротроні М-30 ($5 \cdot 10^{16}$ см⁻²), лише підтверджують вказані тенденції зміни електрофізичних параметрів.

Експерименти по біологічній активності опромінених зразків на прикладі 5 %-ного розчину спирту проводилися методом *in vitro* вивченням часової еволюції росту в них мікроорганізмів. Наші дослідження показали (таблиця), що 5 %-ний водний розчин етилового спирту, опромінений на мікротроні М-30 флуенсом $2 \cdot 10^{14}$ ел./см², на обох етапах стимулює ріст неспоривих пробіотичних бактерій *L. plantarum A* (відразу після $2 \cdot 10^8$ КУО/мл та після доби післярадіаційного «охолодження» $1 \cdot 10^{12}$ КУО/мл) та *B. bifidum* (концентрація на етапі 1 – $1 \cdot 10^{12}$ КУО/мл та на етапі 2 – $1 \cdot 10^{10}$ КУО/мл). Можна припустити, що порівняно низька концентрація етилового спирту (5 %) у воді знизилася кислотність середовища, тим самим сприяючи росту молочнокислих бактерій.

Кількісний вплив 5 %-ного водного розчину етилового спирту, без та при опроміненні на М-30, на популяцію вибраних бактерій

Назва розчину	Концентрація, КУО/мл							
	<i>L. plantarum A</i>		<i>B. bifidum</i>		<i>B. subtilis</i> 8130		<i>B. subtilis</i> 090	
	Етап 1	Етап 2	Етап 1	Етап 2	Етап 1	Етап 2	Етап 1	Етап 2
Неопромінений 5 %-ний водний розчин етилового спирту	$8 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{12}$	$8 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{10}$
Опромінений 5 %-ний водний розчин етилового спирту.	$2 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^6$

Цікаво, що для споривих пробіотичних бактерій *B. subtilis* 8130 (концентрація на етапі 1 – $1 \cdot 10^8$ КУО/мл та на етапі 2 – $1,5 \cdot 10^5$ КУО/мл) і *B. subtilis* 090 (концентрація на етапі 1 – $1 \cdot 10^4$ КУО/мл та на етапі 2 – $1 \cdot 10^6$ КУО/мл) цей ефект не повторився, і 5 %-ний водний розчин етилового спирту не стимулював, а навпаки – інгібував ріст бацил.

Установлені біологічні ефекти становлять значний дослідницький інтерес, оскільки дають можливість селективно регулювати умови мета-

болізму різного типу мікроорганізмів вибором відповідних опромінених середовищ і потребують подальшого вивчення їх.

4. Висновки

Отримані результати засвідчують чутливість фізико-хімічних показників води та розчинів органічних сполук до дії факторів ядерного опромінювання, навіть для показників, співставних із річними еквівалентами дози наземної радіації. При цьому для біоорганічних сполук

відіграє роль як поглинута доза, так і ряд інших факторів як інтенсивність випромінювання, тип ядерних частинок тощо. Дослідження часової еволюції хімічних параметрів води дає аргументи на користь її кластерно-полімерної структури, що може пояснити тривалий етап відновлення її показників. Незворотність таких же показників у опромінених водних розчинах органічних сполук як глюкоза, сахароза та етиловий спирт, хімічна формула яких є складнішою, ніж води, свідчить про їхню хіміко-структурну модифікацію, реалізовану через релаксацію структурних сегментів, хімічних комплексів утворених під дією радіації у нову стійку сполуку, – ефект «Лего». Результати низькочастотної спектроскопії електричних параметрів опромінених зразків дають можливість доповнити представлення про їхню хімічну трансформацію даними про заряд та мобільність утворених структурних комплексів у розчинах.

Загалом, отримані результати важливі для розробки радіаційних технологій направленої модифікації фізико-хімічних показників органічних сполук як в конденсованому стані, так і у вигляді водних розчинів.

Встановлені біологічні ефекти (див. таблицю) свідчать про наявність вибіркової дії опромінених сполук на тест-мікроорганізми з різних філогенетичних груп. Біологічні ефекти опроміненого спиртового розчину (антибактеріальна дія) відрізняються за спрямованістю і ступенем проявлення не лише залежно від виду тестованого мікроорганізму, а також від часу витримки та способу приготування розчину. Детальне розуміння механізмів таких впливів важливе для практичного застосування виявлених феноменів у медицині та фармакології та потребує проведення додаткових досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. C. Stylianopoulos. *Carbohydrates: Chemistry and Classification. Encyclopedia of Human Nutrition*. 3rd ed. (2013) p. 265.
2. P. Subrata. *Fundamentals of Molecular Structural Biology*. 1st ed. (Academic Press, 2020) p. 83.
3. N.I. Svatiuk, V.T. Maslyuk, O.I. Symkanich. Radiological monitoring, concepts: “radiation weather” and “radiation identification of the environment”. *Sci. Bull. Uzhh. Univ. Ser. “Physics”* 44 (2018) 99.
4. D. Porcelli, M. Baskaran. An Overview of Isotope Geochemistry in Environmental Studies. In: *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Advances in Isotope Geochemistry* (Berlin, Heidelberg, Springer, 2012) p. 11.
5. O.I. Symkanych et al. Time evolution of chemical, physical parameters and biological activity of glucose and sucrose aqueous solutions irradiated on a M-30 microtron with an energy of 12.5 MeV. *Sci. Bull. Uzhh. Univ. Ser. “Chemistry”* 1(43) (2020) 92.
6. D.S. Al Rubaee, M.H. AL Bahrani, A.H. Mohammed. Effect of gamma irradiation on the activities of glucose and cholesterol oxidases. *Elixir Nanotechnology* (2016) 2016014827.
7. J. Magda et al. Effects of gamma rays and neutron irradiation on the glucose response of boronic acid-containing “smart” hydrogels. *Polymer Degradation and Stability* 99 (2014) 219.
8. P. Podadera, S.F. Sabato. Effect of electron radiation on sugar content in inverted liquid sugar. *Nukleonika* 54(2) (2009) 85.
9. G.O. Phillips, G.J. Moody, G.L. Mattok. Radiation chemistry of carbohydrates. Part I. Action of ionizing radiation on aqueous solutions of D-glucose. *J. Chem. Soc.* (1958) 3522.
10. M.W. Byun et al. Effects of gamma irradiation on color characteristics and biological activities of extracts of *Lonicera japonica* (Japanese honeysuckle) with methanol and acetone. *LWT – Food Science and Technology* 37(1) (2004) 29.
11. U. Gryczka et al. Study on biological activity of chitosan after radiation processing. *Nukleonika* 53(Supplement 2) (2008) S73.
12. C. Xiong et al. Effect of γ -irradiation on the structure and antioxidant activity of polysaccharide isolated from the fruiting bodies of *Morchella sextelata*. *Biosci. Rep.* 40(9) (2020) BSR20194522.
13. M.I. Romanyuk et al. Microtron M-30 for radiation experiments: Formation and control of irradiation fields. *Problems of Atomic Science and Technology* 3(139) (2022) 137.
14. А.П. Бабичев и др. Физические величины. Справочник. Под. ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова (Москва: Энергоатомиздат, 1991) 1232 с. / A.P. Babichev et al. *Physical Quantities. Handbook*. I.S. Grigoriev, E.Z. Meilikhov (Eds.) (Moskva: Energoatomizdat, 1991) 1232 p. (Rus)
15. I.V. Krivtsun et al. A technique for experimental data processing at modeling the dispersion of the biological tissue impedance using the Fricke equivalent circuit. *Electrical Engineering & Electromechanics* 5 (2017) 27.

**V. T. Maslyuk^{1,*}, N. I. Svatiuk¹, N. V. Boyko², S. A. Burmey², O. I. Simkanych², O. O. Grabar²,
O. M. Pop¹, O. B. Tarnai¹, M. V. Goshovskyi¹, J. Y. Hainish¹**

¹ *Institute of Electronic Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Uzhhorod, Ukraine*

² *State Higher Educational Institution "Uzhhorod National University", Uzhhorod, Ukraine*

*Corresponding author: volodymyr.maslyuk@gmail.com

PHYSICO-CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SACCHARIDES AND ALCOHOL AFTER NUCLEAR RADIATION TREATMENT

The results of a complex study of the influence of nuclear radiation on the physical and chemical properties of distilled water, aqueous solutions of saccharides, ethyl alcohol, and their biological activity are presented. Irradiation was carried out on the M-30 microtron electron accelerator (12.5 MeV) and on isotope radiation stands based on ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, and ²⁴⁰Pu, which generate mixed nuclear radiation. The temporal evolution of chemical indicators and optical and frequency characteristics of electrical parameters of irradiated water environments are discussed. The selective biological effect of irradiated compounds on test microorganisms from different phylogenetic groups was established.

Keywords: irradiation, water, glucose/sucrose, alcohol, solutions, microtron M-30, isotopic sources, physic-chemical changes, biological activity.

Надійшла/Received 29.12.2023