

## ДІЯ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

УДК 577.3

**ВПЛИВ ЗБЕРІГАННЯ І  $\gamma$ -ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ДІЕЛЕКТРИЧНІ  
ВЛАСТИВОСТІ СУСПЕНЗІЙ ЕРИТРОЦИТІВ У ПРИСУТНОСТІ  
УЛЬТРАДИСПЕРСНИХ НАНОАЛМАЗІВ****О.В. Адельянов, О.О. Горобченко, О.Т. Ніколов, С.В. Гаташ, Є.М. Мамотюк\****Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, пл. Свободи 4, Харків, 61077**\*Інститут медичної радіології імені С.П. Григор'єва, вул. Пушкінська 82, Харків, 61024*

e-mail: adel\_vil@mail.ru

Надійшла до редакції 24 квітня 2012 року

Прийнята 29 травня 2012 року

В роботі вивчали вплив зберігання протягом 16 годин при +4°C і  $\gamma$ -випромінювання на діелектричні властивості суспензій еритроцитів у присутності ультрадисперсних нааноалмазів (УДА). Методами НВЧ-діелектрометрії і низькочастотної електропровідності досліджували діелектричні і електричні параметри суспензій еритроцитів, що містили УДА (ТОВ НПП SINTA, Харків) в концентрації 0,04 мас. % і 1,32 мас. %. У якості суспендуючих середовищ використовували плазму крові і фізіологічний розчин. Зразки опромінювали на  $\gamma$ -установці «Исследователь» радіоактивним ізотопом  $^{60}\text{Co}$  протягом 16 годин при потужності випромінювання 75,5 Р/хв. Поглинена доза становила 725 Гр. Досліджувані параметри  $\gamma$ -опромінених зразків порівнювали з параметрами свіжоприготовлених зразків та зразків, що зберігалися протягом 16 годин. При зберіганні суспензій еритроцитів протягом 16 годин змін у значеннях статичної діелектричної проникності  $\epsilon_s$  і частоти діелектричної релаксації молекул води  $f_d$  не спостерігається лише для зразка з фізіологічним розчином у якості суспендуючого середовища та УДА у концентрації 1,32 мас. %. При дії на суспензії  $\gamma$ -випромінювання змін у значеннях  $\epsilon_s$  і  $f_d$  у порівнянні зі зразками, що зберігались не відбувається для зразка з фізіологічним розчином і концентрацією УДА 0,04 мас. %. Фізіологічний розчин є кращим ніж плазма суспендуючим середовищем для еритроцитів, суспензії яких містять УДА. В залежності від концентрації УДА сприяють збереженню діелектричних і електричних властивостей суспензій еритроцитів як при зберіганні зразків протягом певного часу, так і при дії на них  $\gamma$ -випромінювання.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** еритроцити, УДА,  $\gamma$ -випромінювання, діелектрична проникність, електропровідність.

**ВЛИЯНИЕ ХРАНЕНИЯ И  $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СУСПЕНЗИЙ ЭРИТРОЦИТОВ В ПРИСУТСТВИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ НАНОАЛМАЗОВ****О.В. Адельянов, О.О. Горобченко, О.Т. Ніколов, С.В. Гаташ, Є.М. Мамотюк\****Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, пл. Свободы 4, Харьков, 61077**\*Институт медицинской радиологии им. С.П. Григорьева, ул. Пушкинская 82, Харьков, 61024*

В работе изучали особенности влияния хранения в течении 16 часов при +4°C и  $\gamma$ -излучения на диэлектрические характеристики суспензий эритроцитов в присутствии ультрадисперсных нааноалмазов (УДА). Методами СВЧ-диелектрометрии и низкочастотной электропроводности исследовали диэлектрические и электрические характеристики суспензий эритроцитов, содержащих УДА (ТОВ НПП SINTA, Харьков) в концентрации 0,04 масс. % и 1,32 масс. %. В качестве суспендирующих сред использовали плазму крови и физиологический раствор. Образцы облучали на  $\gamma$ -установке «Исследователь» радиоактивным изотопом  $^{60}\text{Co}$  в течении 16 часов при мощности излучения 75,5 Р/мин. Поглощённая доза составляла 725 Гр. Исследуемые параметры  $\gamma$ -облучённых образцов сравнивали с параметрами свежеприготовленных образцов и хранившихся в течение 16 часов. При хранении суспензий эритроцитов в течение 16 часов изменений в значениях статической диэлектрической проницаемости  $\epsilon_s$  и частоты диэлектрической релаксации молекул воды  $f_d$  не наблюдается только для образца с физиологическим раствором в качестве суспендирующей среды и УДА концентрации 1,32 масс. %. При воздействии на суспензии  $\gamma$ -излучения изменений в значениях  $\epsilon_s$  и  $f_d$  по сравнению с хранившимися образцами не происходит

для образца с физиологическим раствором и концентрацией УДА 0,04 масс. %. Физиологический раствор является лучшей, чем плазма суспендирующей средой для эритроцитов, суспензии которых содержат УДА. В зависимости от концентрации УДА способствуют сохранению диэлектрических и электрических свойств суспензий эритроцитов как при хранении образцов в течение определённого времени, так и при действии на них  $\gamma$ -излучения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** эритроциты, УДА,  $\gamma$ -излучение, диэлектрическая проницаемость, электропроводность.

#### INFLUENCE OF STORAGE AND $\gamma$ -RADIATION ON DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF SUSPENSIONS OF ERYTHROCYTES IN THE PRESENCE OF ULTRADISPERSE NANODIAMONDS

A.B. Adeljanov, O.A. Gorobchenko, O.T. Nikolov, S.V. Gatash, Ye.M. Mamotyuk\*

V.N. Karazin Kharkov national university, sq. Svobody 4, Kharkov, 61077

S.P. Grigoriev institute for medical radiology, str. Pushkinska 82, 61024

In this work was studied the influence of the storage during 16 hours at +4 C and  $\gamma$ -radiation on dielectric properties of the suspensions of red blood cells in the presence of nanodiamonds (ND). It were investigated the dielectric and electrical properties of the suspensions of red blood cells, containing ND (TOV NPP SINTA, Kharkov) in a concentration of 0.04 mass. % and 1.32 mass. % by the methods of microwave dielectrometry and low-frequency conductivity. There were used the plasma of blood and physiological solution as suspending media. Samples were irradiated at the  $\gamma$ -aim «Issledovatel'» by the radioactive isotope of  $^{60}\text{Co}$  during 16 hours with the power of radiation 75,5 R/min. Absorbed dose was 725 Gr. Studied parameters  $\gamma$ -irradiated samples were compared with the parameters of freshly prepared samples and stored within 16 hours. Studied parameters of  $\gamma$ -irradiated samples compared to parameters of native samples and stored during 16 hours. At storage of suspensions of erythrocytes within 16 hours changes in values of static dielectric permeability  $\epsilon_s$  and frequency of a dielectric relaxation of water molecules  $f_d$  were not found only for a sample with physiological solution as the suspending media and ND in concentration of 1,32 mass. %. At impact on suspensions  $\gamma$ -radiation changes in values  $\epsilon_s$  and  $f_d$  in comparison with stored samples were not found for a sample with physiological solution and ND in concentration 0,04 mass. %. Physiological solution is the better than plasma suspension media for the erythrocytes which suspensions contain ND. Depending on concentration ND promote preservation of dielectric and electric properties of suspensions of erythrocytes as at storage of samples during certain time so at action on them  $\gamma$ -radiation.

**KEY WORDS:** erythrocytes, ND,  $\gamma$ -radiation, permittivity, electric conductivity.

Ультрадисперсні алмази детонаційного синтезу (УДА) є унікальним вуглецевим наноматеріалом. Виняткові властивості УДА полягають в малих розмірах наночасток (~5 нм), великій їх питомій поверхні (270-280 м<sup>2</sup>/г), наявності значної кількості заряджених груп на поверхні часток (карбоксільні, карбонільні, гідроксильні, ефірні) і вуглецевих фрагментів, а також мікродомішок металів [1, 2, 3]. Є дані про протиракову активність УДА [4]. У експериментах на тваринах відзначається радіопротекторна дія УДА [5]. Проте механізми цієї дії УДА досі не цілком зрозумілі. У роботі [6] показано, що УДА утворюють конгломерати при взаємодії з еритроцитами. Подібна мембранотропність УДА може сприяти їх адсорбції на інших клітинах, у тому числі і радіочутливих, і цим впливати на їх пошкоджувальність. Механізм захисної дії УДА, можливо, пов'язаний з тим, що УДА є «пастками» вільних радикалів при контактній взаємодії з мембранами клітин [7]. Крім того, знаходячись в безпосередній близькості від клітинних мембран УДА можуть впливати на них через водну фазу (наприклад, за рахунок електростатичної взаємодії і зміни електричного потенціалу мембран або іншим шляхом) [6, 8]. Використання методу НВЧ-діелектрометрії може сприяти отриманню більшої інформації про механізм цього впливу. Метою нашої роботи було з'ясування особливостей впливу  $\gamma$ -випромінювання у дозі 724 Гр на діелектричні і електричні властивості суспензій еритроцитів у присутності УДА. Оскільки  $\gamma$ -опромінення  $\text{Co}^{60}$  використовується для стерилізації крові перед трансфузією (для інактивації бактерій у дозах 200-1500 Гр, для інактивації вірусів у дозах до 25 кГр [9]),

дослідження впливу  $\gamma$ -опромінення на еритроцити крові у великих дозах і можливої радіозахисної дії УДА на клітини є актуальним.

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У роботі були використані водні суспензії УДА виробництва ТОВ НПП SINTA (Харків). Концентрація УДА у вихідній суспензії складала  $\sim 4$  мас. %.

Для отримання досліджуваних суспензій еритроцитів брали кров здорового донора, стабілізовану гепарином. Еритроцити відмивали фізіологічним розчином 3 рази. У якості суспендуючих середовищ використовували плазму крові того ж донора і фізіологічний розчин. Вихідну суспензію УДА розводили плазмою або фізіологічним розчином до отримання необхідної концентрації УДА. До отриманих суспензій УДА додавали відмиті еритроцити. Кінцева концентрація еритроцитів у всіх зразках складала 33 мас. %, концентрація наноалмазів складала 0,04 мас. % і 1,32 мас. %.

Досліджувані зразки опромінювали протягом 16 годин джерелом гамма-опромінення  $^{60}\text{Co}$  на установці «Исследователь» при потужності дози 75,5 Р/хв при  $20^\circ\text{C}$ . Доза опромінення складала 724 Гр. Для врахування змін в еритроцитах, що відбуваються з часом, досліджували свіжоприготовлені зразки (контроль) і зразки, що зберігалися протягом 16 годин при  $+4^\circ\text{C}$ .

Дійсну ( $\epsilon'$ ) і уявну ( $\epsilon''$ ) частини комплексної діелектричної проникності суспензій еритроцитів у присутності УДА вимірювали методом НВЧ-діелектрометрії при кімнатній температурі [10]. Для виміру діелектричних параметрів використовували діелектрометр з робочою частотою 9,2 ГГц. Питому електропровідність  $\sigma$  зразків вимірювали мостовим методом на робочій частоті 1 кГц при кімнатній температурі. Виміри параметрів кожного зразка здійснювали 2-5 разів, потім обчислювали середнє значення показника і стандартне відхилення.

Значення статичної діелектричної проникності  $\epsilon_s$  і частоти діелектричної релаксації  $f_d$  молекул води в зразках розраховували, використовуючи рівняння Дебая [11]. При цьому вважали, що релаксаційні процеси в суспензіях еритроцитів носять дебайвський характер [12]. Середні значення отриманих величин на рисунках відповідають висоті стовпців, стандартні відхилення показані відрізками по обидві сторони від відповідного середнього. Стандартні відхилення перевищували для  $\epsilon_s$  – 0,57 відн. од.; для  $f_d$  – 0,35 ГГц, та для  $\sigma$  –  $0,02 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ .

### РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

На рис. 1 та рис. 2 представлені значення статичної діелектричної проникності  $\epsilon_s$  і частоти діелектричної релаксації  $f_d$  молекул води суспензій еритроцитів в присутності УДА при опроміненні і без опромінення, відповідно.  $\epsilon_s$  є параметром, що характеризує співвідношення вільна/зв'язана вода в системі. По значенням же  $f_d$  можна робити висновки про стан вільної води в системі. Підвищення значення  $f_d$  свідчить про розвпорядкування вільної води, зменшення значення  $f_d$  – про впорядкування. Зміна стану вільної води може супроводжуватись зміною середньої кількості водневих зв'язків на молекулу води. Так відомо, що в рідинах, здатних утворювати водневі зв'язки, частота релаксації молекул визначається концентрацією гідрофільних місць зв'язування в системі [13-16]. Від концентрації ж гідрофільних місць зв'язування залежить кількість водневих зв'язків у системі. Автори роботи [17] встановили, що кількість розірваних водневих зв'язків при  $0^\circ\text{C}$  – 9%, а при  $100^\circ\text{C}$  – 20,2%, тобто збільшується з ростом температури. Також відома температурна залежність частоти релаксації  $f_d$  від температури [18, 19] – при збільшенні температури  $f_d$  збільшується. У

зв'язку з цим можна говорити, принаймні, про кореляцію між збільшенням частоти релаксації і збільшенням кількості розірваних водневих зв'язків.

Вплив  $\gamma$ -випромінювання на зразки протягом 16 годин можна розділити на два ефекти: вплив зберігання суспензій протягом часу (16 годин) і дія на них самого випромінювання. При зберіганні протягом 16 годин в суспензіях еритроцитів з концентрацією УДА 0,04 мас. % спостерігається зменшення значень статичної діелектричної проникності  $\epsilon_s$  в порівнянні з контролем. В суспензіях з концентрацією УДА 1,32 мас. % такого зменшення у значеннях  $\epsilon_s$  не відбувається. При дії  $\gamma$ -випромінювання на зразки з концентрацією УДА 1,32 мас. % має місце зменшення  $\epsilon_s$  в порівнянні із зразками, що зберігалися протягом 16 годин. Для зразків з УДА концентрації 0,04 мас. % спостерігається тенденція до зменшення у значеннях  $\epsilon_s$  під впливом  $\gamma$ -випромінювання.

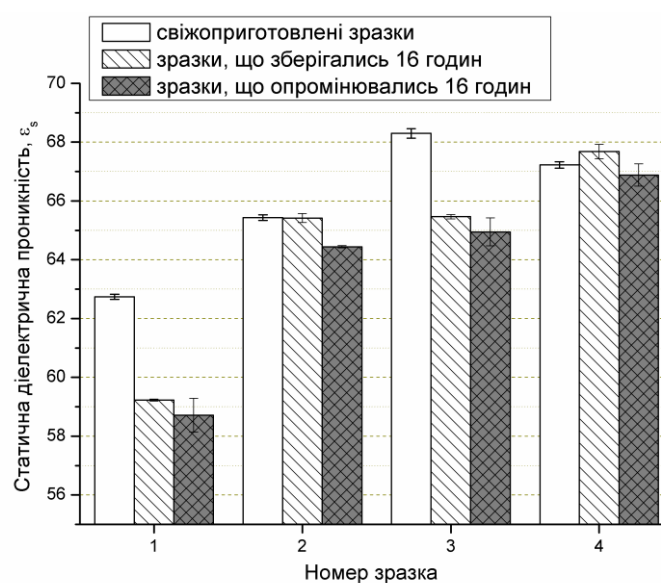


Рис. 1. Значення статичної діелектричної проникності  $\epsilon_s$  суспензій еритроцитів з УДА при 20°C: 1 – суспендує середовище плазма,  $C_{УДА}=0,04$  мас. %; 2 – суспендує середовище плазма,  $C_{УДА}=1,32$  мас. %; 3 – суспендує середовище фізіологічний розчин,  $C_{УДА}=0,04$  мас. %; 4 – суспендує середовище фізіологічний розчин,  $C_{УДА}=1,32$  мас. %.

Як видно з рис. 2 при зберіганні протягом 16 годин відбувається зменшення  $f_d$  у зразках з плазмою, у зразках з фізіологічним розчином має місце тенденція до зменшення  $f_d$ . Тобто використання плазми у якості суспендує середовища призводить до загальмовуванню молекул вільної води у суспензіях. При дії  $\gamma$ -випромінювання спостерігається зростання значень  $f_d$  у порівнянні зі зразками, що зберігалися 16 годин, окрім зразка з фізіологічним розчином у якості суспендує середовища і концентрацією УДА 0,04 мас. %. Якщо порівнювати опромінені зразки з відповідними свіжоприготовленими, то змін у частоті релаксації не спостерігається для зразків з фізіологічним розчином, при цьому при концентрації УДА 1,32 мас. % спостерігається тенденція до збільшення  $f_d$ .

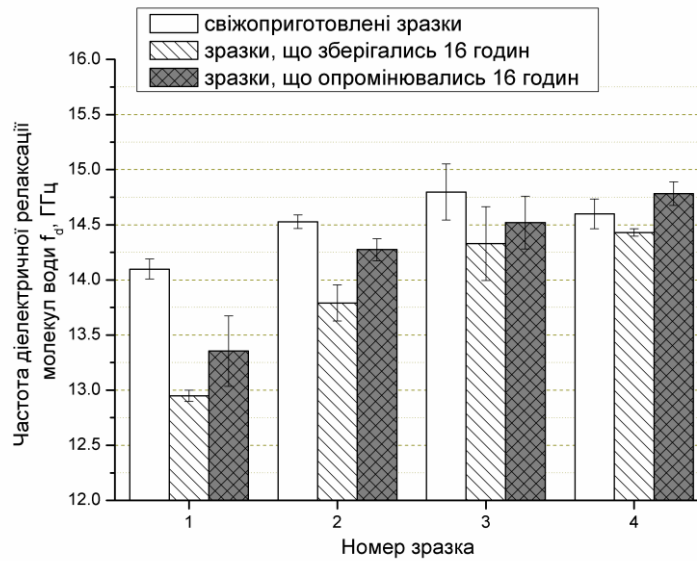


Рис. 2. Значення частоти діелектричної релаксації молекул води  $f_d$  суспензій еритроцитів з УДА при 20°C: 1 – суспендує середовище плазма,  $C_{УДА}=0,04$  мас. %; 2 – суспендує середовище плазма,  $C_{УДА}=1,32$  мас. %; 3 – суспендує середовище фізіологічний розчин,  $C_{УДА}=0,04$  мас. %; 4 – суспендує середовище фізіологічний розчин,  $C_{УДА}=1,32$  мас. %.

Значення питомої електропровідності  $\sigma$  суспензій еритроцитів в присутності УДА після опромінення і при зберіганні протягом 16 годин представлені на рис. 3. Можна відзначити тенденцію до підвищення питомої електропровідності опромінених зразків, крім зразка з фізіологічним розчином і концентрацією УДА 1,32 мас. %. Тенденція до підвищення електропровідності може бути наслідком порушення цілісності клітинних мембран, збільшення проникності мембран еритроцитів для іонів електроліту і може свідчити про негативний вплив  $\gamma$ -випромінювання на еритроцити.

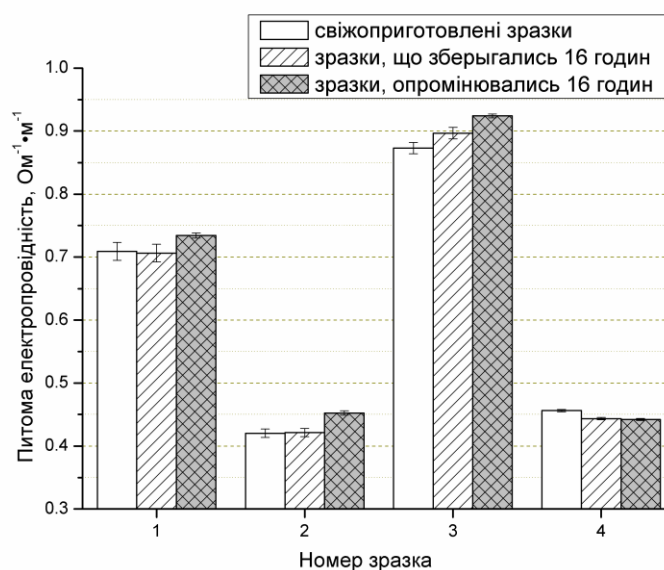


Рис. 3. Значення питомої електропровідності  $\sigma$  суспензій еритроцитів з УДА при 20°C: 1 – суспендує середовище плазма,  $C_{УДА}=0,04$  мас. %; 2 – суспендує середовище плазма,  $C_{УДА}=1,32$  мас. %; 3 – суспендує середовище фізіологічний розчин,  $C_{УДА}=0,04$  мас. %; 4 – суспендує середовище фізіологічний розчин,  $C_{УДА}=1,32$  мас. %.

Відомо, що  $\gamma$ -випромінювання має деструктивний вплив на еритроцити, викликаючи зворотні або незворотні зміни в їх формі (ехіноцити, сферо-ехіноцити, дегенеративні форми), зміни в структурі білків, порушення деформованості самих еритроцитів, структурні зміни мембран еритроцитів [20]. Також мають місце розриви мембран еритроцитів, спостерігається зменшення концентрації іонів  $K^+$  в еритроцитах, збільшення іонів  $Na^+$  [20]. Із збільшенням дози і часу після опромінення відбувається збільшення цих відхилень [20, 21]. Всі ці порушення можуть призводити до зміни стану води у зразках.

Дані, наведені на рис. 1, свідчать про те, що в залежності від концентрації, УДА можуть більше або менше впливати на кількість зв'язаної води у суспензіях еритроцитів при зберіганні та при дії на них  $\gamma$ -випромінювання. При концентрації УДА 0,04 мас. % співвідношення вільна/зв'язана вода у опромінених суспензіях зберігається на постійному рівні, тоді як у суспензіях з УДА в концентрації 1,32 мас. % цього ефекту не спостерігається. Навпаки, при більшій концентрації УДА співвідношення вільна/зв'язана вода не змінюється при зберіганні зразків протягом 16 годин.

Характер впливу різних концентрацій УДА на співвідношення вільна/зв'язана вода не залежить від того, плазма чи фізіологічний розчин є суспендуючим середовищем. В той же час, від суспендуючого середовища залежать зміни релаксаційних властивостей вільної води у зразках як при зберіганні, так і при опроміненні. У зразках з плазмою ці зміни більші, ніж у зразках з фізіологічним розчином. Як вже відзначалося, УДА мають на своїй поверхні велику кількість заряджених груп, внаслідок чого вони можуть активно взаємодіяти як з біологічними макромолекулами, так і з клітинами. Тому можна говорити про те, що УДА взаємодіють як з еритроцитами, так і з білками плазми у зразках. При приготуванні зразків спочатку суспензію УДА змішували з плазмою або фізіологічним розчином в необхідних пропорціях, еритроцити ж додавали в отримані суміші. Тому в зразках з плазмою УДА спочатку сорбували на своїй поверхні білки плазми, внаслідок чого кількість наночастинок, що взаємодіяли з еритроцитами, зменшувалась. У зразках з фізіологічним розчином у якості суспендуючого середовища більше наночастинок могли безпосередньо взаємодіяти з поверхнею еритроцитів. Можливо цим і можна пояснити характер впливу суспендуючого середовища на структурний стан вільної води у зразках.

Для більш детального пояснення змін діелектричних і електричних параметрів суспензій еритроцитів у присутності УДА, що відбуваються при зберіганні і при дії опромінення, потрібні подальші дослідження.

## ВИСНОВКИ

1. При зберіганні протягом 16 годин збільшується кількість зв'язаної води в суспензіях еритроцитів з концентрацією УДА 0,04 мас. %, тоді як при концентрації УДА 1,32 мас. % такого збільшення не спостерігається.

2. При дії  $\gamma$ -випромінювання на суспензії клітин еритроцитів з концентрацією УДА 1,32 мас. % відбувається збільшення кількості зв'язаної води в системі в порівнянні з відповідними значеннями для зразків, що зберігалися. Для зразків з УДА у концентрації 0,04 мас. % такого збільшення не спостерігається.

3. При використанні плазми у якості суспендуючого середовища відбувається загальмовування молекул вільної води у зразках еритроцитів при зберіганні протягом 16 годин. Для зразків с фізіологічним розчином у якості суспендуючого середовища такого загальмування не спостерігається.  $\gamma$ -випромінювання ж сприяє розвпорядкуванню молекул води, окрім зразка с фізіологічним розчином і концентрацією УДА 0,04 мас. %.

4. Мінімальні зміни діелектричних і електричних властивостей суспензій еритроцитів у присутності УДА при зберіганні протягом 16 годин відбувається для зразка з фізіологічним розчином у якості суспендуючого середовища і більшою концентрацією наночастинок (1,32 мас. %).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чиганова Г.А. Исследование поверхностных свойств ультрадисперсных алмазов / Г.А. Чиганова // Коллоид. Журн. – 1994. – Т. 56, № 2. – С. 266-268. /Chiganova G.A. Issledovanie poverhnostnyh svojstv ul'tradispersnyhalmazov / G.A. Chiganova // Kolloid. Zhurn. – 1994. – Т. 56, № 2. – С. 266-268./
2. Чиганова Г.А. Структура и свойства ультрадисперсных алмазов детонационного синтеза / Г.А. Чиганова, С.А. Чиганов // Неорганические материалы – 1999. – Т. 35, № 5. – С. 581-586. /Chiganova G.A. Struktura i svojstva ul'tradispersnyhalmazov detonacionnogo sinteza / G.A. Chiganova, S.A. Chiganov // Neorganicheskie materialy – 1999. – Т. 35, № 5. – С. 581-586./
3. Бондарь В.С. Применение наноалмазов для разделения и очистки белков / В.С. Бондарь, И.О. Позднякова, А.П. Пузырь // Физика твёрдого тела – 2004. – Т. 46, №4. – С. 737. /Bondar' V.S. Primenenie nanoalmazov dlja razdelenija i ochistki belkov / V.S. Bondar', I.O. Pozdnjakova, A.P. Puzyr' // Fizika tvjordogo tela – 2004. – Т. 46, №4. – С. 737./
4. Are diamond nanoparticles cytotoxic? / A.M. Schrand, H. Huang, C. Carlson, [et al.] // J. Phys. Chem. B. – 2007. – Vol. 111, № 1. – P. 2–7.
5. Дослідження радіопротекторних властивостей наноалмазів в експерименті / Є.М. Мамотюк, В.А. Гусакова, Н.С. Узленкова, [та ін.] // Український радіологічний журнал. – 2009. – № 17. – С. 65-71. /Doslidzhennja radioprotekturnyh vlastyvostej nanoalmaziv v eksperymenti / Je.M. Mamotjuk, V.A. Gusakova, N.Je. Uzlenkova, [ta in.] // Ukrai'ns'kyj radiologichnyj zhurnal. – 2009. – № 17. – С. 65-71./
6. До питання про механізм радіопротекторної дії наноалмазів / Є.М. Мамотюк, С.В. Руденко, В.А. Гусакова, [и др.] // Український радіологічний журнал. – 2009. – № 17., №4. – С. 486-490. /Do pytannja pro mehanizm radioprotekturnoi' dii' nanoalmaziv / Je.M. Mamotjuk, S.V. Rudenko, V.A. Gusakova, [y dr.] // Ukrai'ns'kyj radiologichnyj zhurnal. – 2009. – № 17., №4. – С. 486-490./
7. Peculiarities of the antioxidant and radioprotective effects of hydrated C<sub>60</sub> fullerene nanostructures *in vitro* and *in vivo* / G.V. Andrievsky, V.I. Bruskov, A.A. Tykhomyrov, S.V. Gudkov // Free Radic. Biol. Med. – 2009. – Vol. 47, Iss. 6. – P. 786–793.
8. Діелектричне дослідження стану води в суспензіях ультрадисперсних наноалмазів (До механізму радіопротекторної дії водних суспензій наноалмазів) / О.А. Горобченко, О.Т. Ніколов, Є.М. Мамотюк, [та ін.] // Український радіологічний журнал. – 2010. - №18. – С. 439-445. /Dielektrychne doslidzhennja stanu vody v suspenzijah ul'tradispersnyh nanoalmaziv (Do mehanizmu radioprotekturnoi' dii' vodnyh suspenzij nanoalmaziv) /O.A. Gorobchenko, O.T. Nykolov, Je.M. Mamotjuk, [ta in.] // Ukrai'ns'kyj radiologichnyj zhurnal. – 2010. - №18. – С. 439-445./
9. Пат. 663522 США. Method of sterilizing products: Пат. 663522 / Kent; Randall S. (США), Clearant, Inc. – № 985606, Опублік. 21.10.03. /Pat. 663522 SShA. Method of sterilizing products: Pat. 663522 / Kent; Randall S. (SShA), Clearant, Inc. – № 985606, Opublik. 21.10.03./
10. Ніколов О.Т. Измерение комплексной диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков с большими потерями / О.Т. Ніколов, Т.А. Жилякова // Журнал физической химии. – 1991. – Т.65, №5. – С. 1417-1420. /Nikolov O.T. Izmerenie kompleksnoj dijelektricheskoj pronicaemosti zhidkih dijelektrikov s bol'shimi poterjami / O.T. Nikolov, T.A. Zhiljakova // Zhurnal fizicheskoi khimii. – 1991. – Т.65, №5. – С. 1417-1420./
11. Потапов А.А. Ориентационная поляризация: поиск оптимальных моделей / А.А. Потапов. – Новосибирск: Наука, 2000. – 336 с. /Potapov A.A. Orientacionnaja poljarizacija: poisk optimal'nyh modelej / A.A. Potapov. – Novosibirsk: Nauka, 2000. – 336 s./
12. Jenin Pierre C. Some observations on the dielectric properties of hemoglobin's suspending medium inside human erythrocytes / C. Jenin Pierre, H.P. Schwan // Biophys. J. – 1980. – V. 3. – P. 285-294.
13. Sato T. Dielectric relaxation processes in ethanol/water mixtures / T. Sato // J. Phys. Chem. A – 2004. – V.108. – P. 5007-5015.
14. Sato T. Dielectric relaxation spectroscopy of 2-propanol–water mixtures / T. Sato, R. Buchner // J. Chem. Phys. – 2003. – V.118. – P. 4606-4613.
15. Buchner R. Dielectric relaxation in solutions / R. Buchner, J. Barthel // J. Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C. – 2001. – V.97. – P. 349-382.
16. Kaatze U. Hydrogen network fluctuations and dielectric spectrometry of liquids / U. Kaatze, R. Behrends, R. Pottel // J. Non-Cryst. Solids. – 2002. – V.305. – P. 19-28.
17. Haggis G.H. The dielectric properties of water in solutions / G.H. Haggis, J.B. Hasted, T.J. Buchanan // J.Chem. Phys. – 1952. – V.20. – P. 1452-1465.
18. Дебай П. Полярные молекулы / П. Дебай; [пер. с нем. Н.К. Шодро]. – Л.-М.:ГНТИ, 1931. – 479 с. /Debaj P. Poljarnye molekuly / P. Debaj; [per. s nem. N.K. Shodro]. – L.-M.:GNTI, 1931. – 479 s./

19. Kaatze U. Complex permittivity of water as a function of frequency and temperature / U. Kaatze // J. Chem. Eng. Data. – 1989. – V.34. – P. 371-374.
20. Study of damage to red blood cells exposed to different doses of gamma-ray irradiation / Deyi Xu, Mingxi Peng, Zhe Zhang, [et. al.] // Blood Transfus. – 2012. – V. 10. – P. 321-330.
21. Герасимова Г.К. К анализу ранних нарушений транспорта в облучённых эритроцитах / Г.К. Герасимова, З.Н. Нахильницкая // – ДАН СССР. – 1969. – Т. 184. – С. 709-713. /Gerasimova G.K. K analizu rannih narushenij transporta v obluchjonnyh jericitah / G.K. Gerasimova, Z.N. Nahil'nickaja // – DAN SSSR. – 1969. – Т. 184. – С. 709-713./