

**О. І. Доценко, Д. В. Пронько**  
**МЕХАНОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ АЛЬБУМІНУ**  
*Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46*  
*e-mail: dots\_don@ukr.net*

*Доценко О. І., Пронько Д. В. Механохімічні процеси у водних розчинах альбуміну.* – Досліджено вплив низькочастотної вібрації в інтервалі частот 8-32 Гц (інтенсивність вібрації 78-98 Дб) на водневі розчини альбуміну. Показано, що змінення інтенсивності спектрів поглинання розчинів в УФ-області, зниження вмісту відновлених SH-груп та вільних аміногруп, збільшення вмісту карбонільних груп у складі білка свідчить про окислювальну модифікацію альбуміну під дією низькочастотної вібрації. Обговорюється можливий механізм дії низькочастотної вібрації на водневі розчини біополімерів.

*Ключові слова:* альбумін, окислювальна модифікація білків, низькочастотна вібрація.

### **Вступ**

Вода є складною динамічною системою, що має кооперативні властивості. Така система здатна до внутрішньої самоорганізації й зарядової адаптації до зовнішніх умов [1, 2].

Велика кількість експериментальних даних вказує на наявність особливостей структурної динамічної організації молекул води із набагато більшою тривалістю існування структур порівняльно з класичними оцінками. У роботі [3] методом ЯМР-релаксації досліджена кінетика розчинення й виведення кисню в різних водяних розчинах. Показано, що коли концентрація O<sub>2</sub> вище деякого критичного значення навіть за кімнатної температури система закономірно випробовує своєрідний "фазовий перехід", у результаті чого вода розширюється на "зв'язану" і "вільну" фази.

Факт, що у водних системах, які містять кисень та інші біологічно значущі домішки в концентраціях, близьких до фізіологічних, температури структурних перебудов знаходяться у вузькому діапазоні 35-42°C, заслуговує на особливу увагу. Найбільш імовірна інтерпретація цього явища полягає в тому, що зі збільшенням концентрації розчиненого кисню у воді виникає фаза менш рухливої води (поліморфний лід), енергетичні характеристики якої дещо перевищують тепловий шум. У статті [4] уперше теоретично чітко показана можливість спільного існування твердої й рідкої фаз води за кімнатних температур. Автори показали, що в межах підходів нерівноважної молекулярної динаміки (NEMD) у рідкій воді може паралельно співіснувати різноманіття фаз льоду. На відміну від звичайної води стійка кристалічна фаза під тиском 1 бар це не гексагональний лід I, а більш щільна нова фаза льоду із точкою плавлення близько 295 К.

У розчинах білків, стан і властивості води можуть суттєво змінюватися в поверхневих шарах і в обмежених об'ємах, розміри яких близькі до ефективного діаметра молекули, коли переважають короткодійні сили відштовхування. До того ж тетраедричні структури водневих зв'язків викривлюються, молекули намагаються розташуватися паралельно поверхні (обмежувальній площині), з'являється орієнтаційна впорядкованість з утворенням багатошарових структур [5]. Вважають, що поблизу гідрофобної поверхні структура граничних шарів води наближається до структури льоду, тоді як поблизу гідрофільної поверхні вона аналогічна структурі вільної ("об'ємної") води [6]. Така система може бути чутливою до дії зовнішніх факторів, в тому числі і до дії механічних коливань.

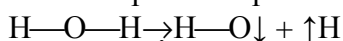
Відомо [1], що зв'язана фаза води має на межі розподілу провідні шари. Вони через свою близькість один до одного забезпечують умови для магнітної взаємодії між вільними електронами. Це приводить до термодинамічно обумовленого спарювання електронів і утворення їх просторово неоднорідного розподілу. В результаті у провідних шарах рідини виникають електромагнітні вихри, що несуть на собі квант магнітного потоку  $\Phi$ . Сформовані в рідині електромагнітні вихри здатні неконтактно переносити пакети електронів з одного середовища в інше, при цьому в середовищі надходження електронів здійснюється їхнє концентрування, у результаті якого змінюються його електричні властивості й відбувається утворення активних форм кисню [1].

Класичні уявлення про генерацію активних форм кисню у воді й водяних розчинах не повністю описують механізм їх виникнення, бо не враховуються зміни енергетичного стану системи, що впливає на процеси формування вільно-радикальних реакцій у воді. Джерелом додаткової енергії для формування активних форм кисню є зв'язані стани води, які в нерівноважній системі можуть накопичувати у своїй структурі додаткову енергію (структурну, коливальну й електростатичну) із зовнішнього середовища з утворенням зв'язаних іон-радикальних станів.

Отже, акваасоціати є своєрідними резервуарами запасеної енергії [1, 2]. Основна частка розчиненого у воді кисню, що має позитивну спорідненість до електрона, перебуває у зв'язаних асоціатах негативної полярності. Будь-яка зміна енергетичного стану водного середовища, особливо електромагнітної складової низької інтенсивності, призводить до виникнення фазових переходів у структурі асоціатів і динамічних змін у їхньому стані. Динамічні зміни в стані асоціату, у свою чергу, викликають спонтанну появу у водній системі вільних радикалів, які зумовлені переносом електронів.

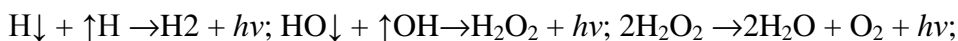
Таким чином, при поглинанні енергії низької щільності (звук, механічні види енергії і т.п.) у водних системах спостерігається розкладання молекул води [3, 4], що, як вважалося раніше, відбувається лише при поглинанні водою УФ-квантів. Але оскільки частина рідкої води має квазіполімерну структуру [7], вода здатна трансформувати енергію подібним чином (полімери, як відомо, трансформують частину поглиненої енергії низької щільності до рівнів, достатніх для розриву валентних зв'язків).

Під час розкладання води утворюються вільні радикали (тут стрілки  $\downarrow$  і  $\uparrow$  позначають валентні електрони із протилежними спинами):



Така пара радикалів з високою ймовірністю рекомбінує назад до  $\text{H}_2\text{O}$ .

Якщо ж розрив молекул води протікає в магнітному полі або на фоні змінних магнітних полів, то за рахунок ефекту електронного парамагнітного резонансу можлива реверсія спина одного з партнерів. Тоді їх рекомбінації вже не відбувається, і в системі починають протікати нові реакції, утворюються нові продукти, звільняються порції енергії електронного збудження:



Окисні реакції за участю  $\text{O}_2$  і вільних радикалів мають характер ланцюгових з виродженими розгалуженнями [8]. Після ініціації адекватним імпульсом навіть дуже низької інтенсивності вони можуть розвиватися лавиноподібно. Такі процеси можуть супроводжуватися істотними, довгостроковими змінами водних систем.

Таким чином, у водних розчинах біополімерів, насичених киснем, водний компонент є первинною мішенню до дії слабких чинників, у тому числі і механічних коливань. Деякі докази на користь цього припущення вже отримані в роботах [10, 11].

*Мета* цієї роботи складалася в дослідженні впливу низькочастотної вібрації на водневі розчини альбуміну та перевірки гіпотези про можливу окислювальну модифікацію білка.

### **Матеріали та методи дослідження**

Розчини альбуміну з концентрацією 1 г/дл у фізіологічному або буферному розчині (0,015 М Na-фосфатний буфер, рН 7,4, що містив 0,15 М NaCl) піддавали впливу низькочастотної вібрації протягом 3-х годин із частотами 8, 16, 24 і 32 Гц (інтенсивність впливу 78-98 Дб). Вібрацію проводили за допомогою вібростенда, розробленого на кафедрі біофізики ДонНУ, який складався з генератора низькочастотних сигналів синусоїдальної форми, підсилювача й вібратора, що здійснював коливання, у вертикальній площині із заданою частотою та амплітудою.

Стаканчик з експериментальним розчином вертикально закріплювали на рухливій частині вібратора (у цьому випадку механічні коливання передаються в експериментальний розчин з незначними втратами потужності).

У динаміці експерименту реєстрували: спектри поглинання білка в ультрафіолетовій області, кількість відновлених сульфгідрильних груп колориметричним методом за допомогою класичної реакції Елмана, приріст карбонільних груп та ступінь фрагментації окисленого білка в розчині [12]. Кількість аміногруп, здатних до дисоціації у лужній області, константи їхньої дисоціації визначали методами потенціометричного титрування та математичного моделювання.

Інтенсивність окислювальної модифікації альбуміну визначали за методом [13], принцип якого ґрунтується на реакції взаємодії окислених амінокислотних залишків з 2,4-динітрофенілгідразином із утворенням альдегід- і кетондинітрофенілгідразонів нейтрального та основного характеру. Оптичну густину розчинів динітрофенілгідразонів (ДНФгідразонів) реєстрували спектрофотометрично на довжинах хвиль 356, 370, 430 та 530 нм [14].

Потенціометричне титрування розчинів альбуміну до та після впливу вібрації проводили 0,01 М NaOH. Перед кожним титруванням розчину білка титрували фізіологічний розчин за об'ємом однаковий експериментальному розчину білка й отримані результати враховували під час обробки даних та побудові кривих зв'язування OH-груп. Дані потенціометричного титрування використовували для розрахунку кількості груп, що дисоціюють та констант їхньої дисоціації.

Математичну модель будували на основі рівнянь матеріального балансу за OH-групами та закону діючих мас. Для  $i$  точок кривої титрування, що відрізнялися концентрацією введеного луґу, мали:

$$L_{\text{заг.ОН}^-} = L_i + \sum_{j=1}^m \left( \frac{N_{j1} \cdot L_i \cdot K_j}{K_w + K_j L_i} + \frac{N_{j2} \cdot L_i^{n_{j2}} \cdot K_j^{n_{j2}}}{K_w + L_i^{n_{j2}} \cdot K_j^{n_{j2}}} \right)$$

де  $L_{\text{заг.ОН}^-}$  концентрація введеного луґу, віднесена до кількості альбуміну в г/л,  $L_i$  – вільна (незв'язана) концентрація OH-груп, віднесена до кількості білка в г/л,  $i$  – номер експериментальної точки,  $m$  – кількість типів дисоціюючих груп,  $N_{j1}$  – кількість молей груп типу  $j$ , що дисоціюють некооперативно, з розрахунку на 1 г білка,  $K_j^{j2}$  – константа некооперативної дисоціації центрів типу  $j$ ;  $N_{j2}$  – кількість молей груп типу  $j$ , що дисоціюють кооперативно, з розрахунку на 1 г білка,  $K_j^{n_{j2}}$  – константа кооперативної дисоціації центрів типу  $j$ ;  $n_{j2}$  – кількість груп типу  $j$ , що дисоціюють кооперативно.

Наявність математичної моделі дозволяє побудувати процедуру зіставлення експериментальних даних, якими є вільні концентрації луґу ( $L_i^{\text{експ}} = 10^{pH-14}$ ) у кожній точці кривої титрування, та апіорних уявлень про схему протікання процесу дисоціації.

На початковому етапі моделювання константи дисоціації  $K_j, N_{j1}, N_{j2}, n_j$  задавали в якості орієнтовних величин ("нульова гіпотеза"). Для кожної точки розраховували величину теоретичного значення вільної концентрації луґу ( $L_i^{\text{теор}}$ ), після чого визначали у кожній точці різницю ( $L_i^{\text{теор}} - L_i^{\text{експ}}$ ) і мінімізували функціонал  $F = \sum_j (L_i^{\text{теор}} - L_i^{\text{експ}})^2$  за всіма експериментальними точками  $i$ . У ході пошукової оптимізації визначали такий набір  $K_j, N_{j1}, N_{j2}, n_j$ , при якому  $F$  досягає свого мінімуму.

## Результати та обговорення

УФ-спектри розчинів білків зумовлені здатністю ароматичних амінокислот (триптофану, тирозину та у меншому ступені фенілаланіну) поглинати світло у даній області спектра. Тому змінення будови чи складу цих залишків за рахунок окислення або їхнього оточення будуть мати відображення на спектрах поглинання.

Аналіз спектрів поглинання розчинів альбуміну, що піддавалися вібрації з частотами 8, 16, 24 і 32 Гц порівняно зі спектрами поглинання розчинів нативного білка (що не піддавався впливу вібрації) показав, що молекула альбуміну у розчині чутлива до впливу даного фактора. До того ж на дію вібрації різних частот розчин білка реагує із різним ступенем інтенсивності. Виявлено також залежність ступеня виразності відповіді від тривалості дії цього фактора. На рис. 1 показані зміни у спектрах поглинання для досліджуваних розчинів.

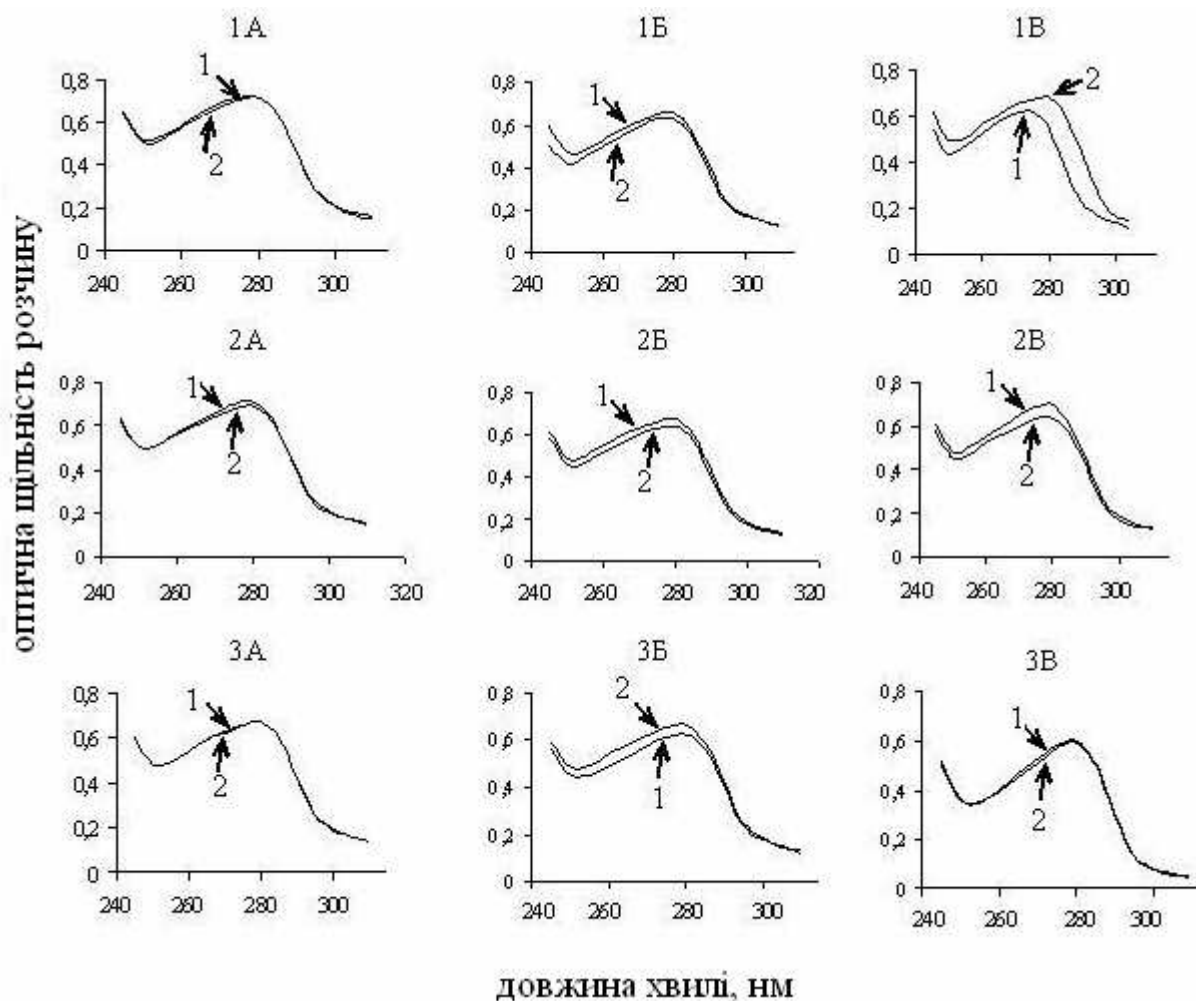


Рис. 1. Спектри поглинання розчинів альбуміну до та після дії вібрації. Параметри вібрації: 1 – частота 16 Гц (89 Дб), 2 – 24 Гц (94 Дб), 3 – 32 Гц (98 Дб). А, Б, В – одна, дві, три години впливу вібрації відповідно. Підписи біля стрілок: 1 – поглинання розчину альбуміну після дії вібрації, 2 – контрольний розчин, що не піддавався вібрації

Вібрація з частотою 8 Гц не призводила до змінювання спектрів поглинання розчинів у ході вібрації, тому ми не наводимо спектри поглинання. Вібрація з частотою 16 Гц поступово приводила до збільшення інтенсивності спектрів поглинання, а після 3-х годин впливу ми реєстрували як падіння інтенсивності поглинання розчину, так і невеликий зсув максимуму спектра у короткохвильову область. Відомо [15, 16], що при окисній модифікації амінокислотні залишки триптофану (Trp) і тирозину (Tyr) утворюють гідроксил-радикали, у той час як фенілаланін (Phe) – тирозил-радикал. Збільшення вмісту тирозину в молекулі

альбуміну і викликає збільшення інтенсивності спектра поглинання. Цей приріст незначний, тому що доступних для окислювача амінокислотних залишків Phe у молекулі альбуміну тільки чотири: Phe149, Phe206, Phe223 і Phe507. Радикали тирозину (Tyr·), що утворюються при окисненні Tyr і Phe, можуть взаємодіяти між собою з утворенням у молекулі білка внутрішніх й міжмолекулярних зв'язок. Цей процес призводить до екранування залишків ароматичних кислот, поглинаючих в УФ-області спектра й до падіння інтенсивності спектрів поглинання. Вібрація розчинів із частотою 24 Гц викликає менший приріст інтенсивності спектрів поглинання (рис. 1, 2Б, 2В). Під час вібрації розчинів з частотою 32 Гц, падіння інтенсивності поглинання спостерігали уже після 2-х годинного впливу, але після 3-х годин вібрації спектри поглинання майже співпадали з контролем (рис. 1, 3Б). Відомо, що залишки Trp, Tyr та Phe можуть зазнавати зворотне окислення/відновлення і при цьому генерувати активні форми кисню (АФК) [16]. Можливо і у нашому випадку також мають місце подібні процеси.

Змінення вмісту вільних SH-груп, що реєстрували у динаміці експерименту відображено на рис. 2, де показано, що під впливом вібрації на всіх частотах відбувається достовірне зниження кількості доступних SH-груп у молекулі альбуміну. Найбільш низькі показники зареєстровані після 3-х годин низькочастотного впливу. Максимальне зниження вільних тіолів спостерігалося за умов впливу вібрації з частотами 16 та 24 Гц.

Альбумін має одну відновлену сульфгідрильну групу, здатну приймати участь у тіол-дисульфідному обміні та реагувати з вільними радикалами. Зменшення кількості SH-груп у ході експерименту звичайно може свідчити про їх можливе окиснення. Але не можна не враховувати й той факт, що SH-група в молекулі альбуміну досить добре екранована, а додаткове утворення внутрішньо- та міжмолекулярних зв'язок між тирозин-радикалами та карбонільними групами, що також утворюються в наслідок окисної модифікації, і аміногрупами не сприяє проникненню реагенту (реактиву Елмана) до SH-груп. Але не зважаючи на те, що ми не можемо точно ідентифікувати процес, отримані дані свідчать про окисну модифікацію альбуміну у розчині.

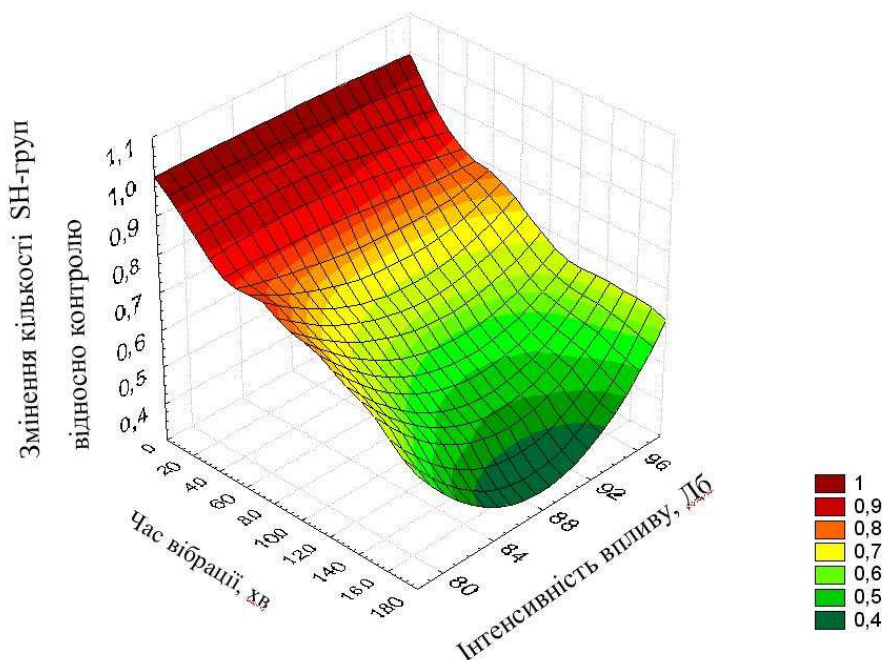


Рис. 2. Вміст SH-груп для розчинів альбуміну відносно контролю (без вібрації) залежно від двох факторів – інтенсивності та часу вібрації

Особливо цікавим є окислення амінокислотних залишків з наступним утворенням карбонільних груп. Відомо, що окислення залишків лізину та аргініну буде приводити до утворення альдегідних похідних лужного характеру, тоді як при окисненні гістидину виникають кето-похідні [16]. Через це далі в роботі аналізували характер змінювання карбонільних груп у складі альбуміну до та після впливу вібрації. На рис. 3. наведено змінення вмісту альдегідних похідних у складі білка відносно контролю (реєстрація оптичної щільності розчинів 2,4-ДНФгідразонів при довжинах хвиль 356 та 370 нм). Визначено, що вібрація зі всіма досліджуваними параметрами приводила до утворення карбонільних груп. При вібрації з частотою 8 Гц спостерігався коливальний характер змінювання карбонілів, що можливо можна пояснити взаємодією цих груп з вільними аміногрупами з утворенням внутрішньо молекулярних зшивок. Самий високий рівень утворення альдегідних похідних спостерігався при вібрації з частотами 24 і 32 Гц. Характер змінювання вмісту карбонільних груп у цьому випадку також був немонотонний, але через три години впливу вібрації вміст карбонілів у 1,5-1,8 раз перевищував початковий рівень (вміст карбонільних груп у середньому змінювався від  $1,2 \pm 0,05$  до  $2,08 \pm 0,12$  нмоль/мг альбуміну). На рис. 4 показано характер змінювання кето-похідних у складі альбуміну в ході вібрації. Рівень утворення кето-похідних у молекулі альбуміну при вібрації з частотами 8 і 16 Гц незначний, на порядок нижчий за рівень альдегідних похідних. Але при вібрації розчинів із частотами 24 і 32 Гц ми реєстрували зростання поглинання ДНФгідразонів на довжині хвилі 430 нм після години впливу вібрації. Вміст кето-похідних через три години впливу вібрації у цьому випадку в 1,3-1,4 рази перевищував контрольний рівень.

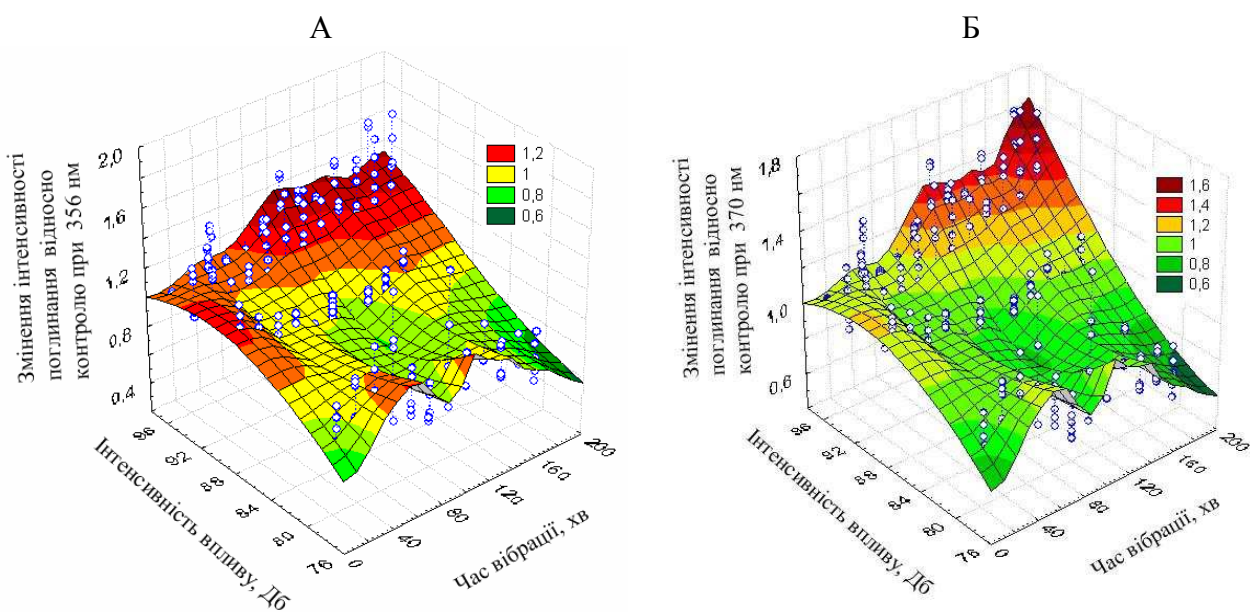


Рис. 3. Змінення інтенсивності поглинання розчинів динітрофенілгідразонів відносно контролю при 356 (А) та 370 (Б) нм залежно від двох факторів – інтенсивності та часу вібрації

Проведений нами аналіз надосадової рідини на наявність малих та середніх пептидів не виявив факту фрагментації молекул альбуміну під впливом низькочастотної вібрації.

На рис. 5 показано криві зв'язування ОН-груп у процесі титрування розчинів альбуміну до та після вібрації з частотами 8, 16, 24 та 32 Гц. Після однієї години впливу спостерігається зниження кількості дисоціюючих у лужній області аміногруп у розчинах альбуміну при вібрації з частотами 16, 24, 32 Гц. Після двох годин експерименту всі криві розташовуються нижче контролю, такий само характер мають криві титрування після трьохгодинного впливу. Це означає, що вібрація на всіх досліджуваних частотах викликає окиснення аміногруп альбуміну.

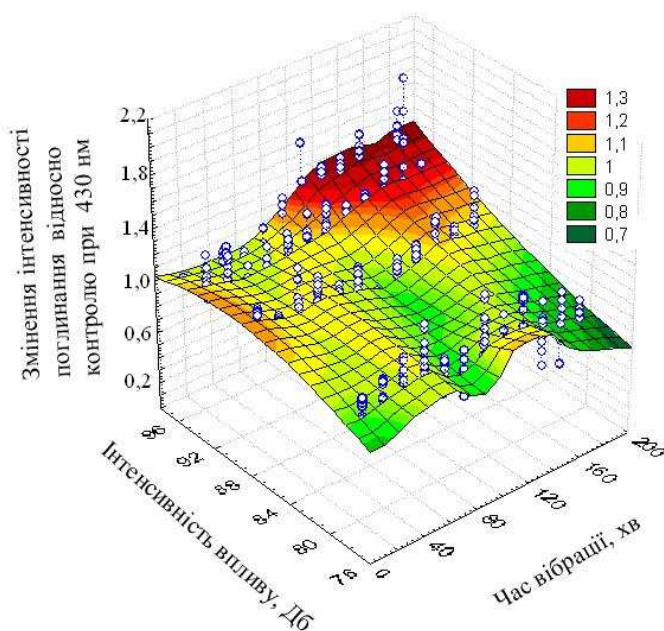


Рис. 4. Приріст оптичної густини динітрофенілгідразонів на довжині хвилі 430 нм після вібрації розчинів з частотою 1 – 8 Гц, 2 – 16 Гц, 3 – 24 Гц, 4 – 32 Гц

Дані потенціометричного титрування використовували для математичного моделювання. Відомо, що в лужній області будуть дисоціювати тільки залишки аргініну (Arg, рКа 12,48) та лізіну (Lys, рКа 10,54). Тому для розрахунків користувалися моделлю з двома типами дисоціюючих груп. Оскільки в процесі моделювання концентрації груп, що дисоціюють, та константи дисоціації є розрахунковими величинами, то за величинами отриманих констант дисоціації, які практично співпали з літературними даними, було зроблено ідентифікацію амінокислотних залишків. Результати розрахунків із використанням запропонованої моделі представлено в табл. 1. У ній наведено розраховані за моделлю рКа для амінокислотних залишків та змінення концентрації аміногруп відносно контрольного розчину, що не піддавався впливу вібрації.

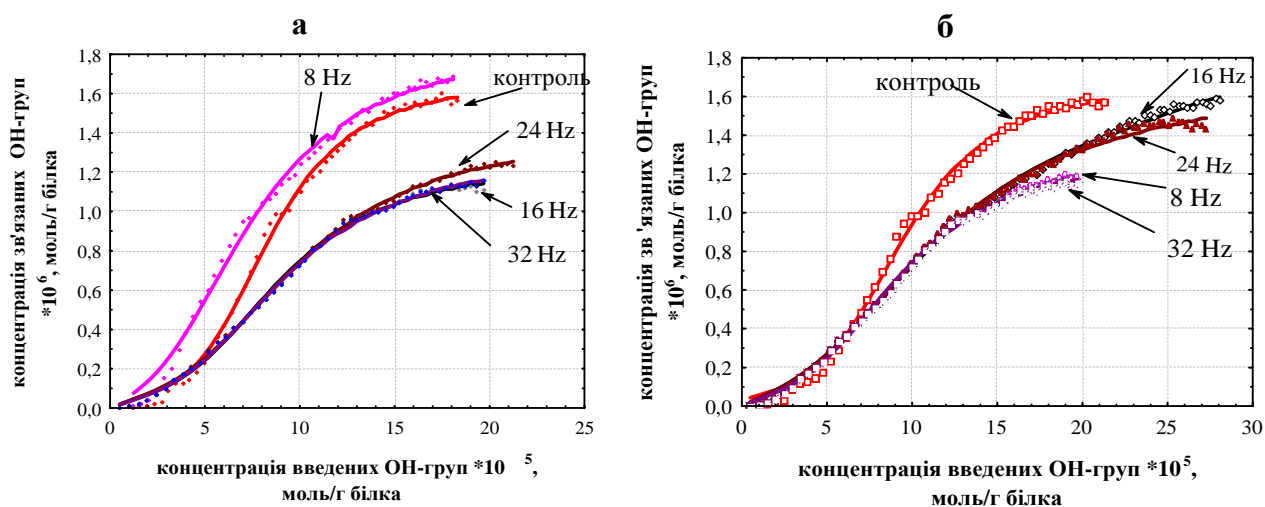


Рис. 5. Криві зв'язування ОН-груп у процесі титрування розчинів альбуміну лужним розчином після однієї (а) та двох (б) годин вібрації. Точками зображено експериментальні дані, суцільні лінії – розраховані криві зв'язування за допомогою моделювання

**Змінення концентрації залишків аргініну та лізину в процесі вібрації відносно контролю**

Частота вібрації, Гц	Час вібрації, хв	pKa	
		9,95±0,045 (Lys)	11,81±0,01
8	60	1,112	0,923
	120	0,809	0,915
	180	1,416	0,903
16	60	0,737	0,903
	120	1,082	0,899
	180	0,813	0,917
24	60	0,837	0,893
	120	0,967	0,920
	180	0,835	0,928
32	60	0,769	0,919
	120	0,783	0,912
	180	0,823	0,915

З отриманих даних видно, що амінокислотні залишки Lys більше піддаються окисленню в процесі вібрації, ступінь їхньої модифікації суттєво залежить від інтенсивності вібраційного впливу.

### Висновки

1. Показано, що низькочастотна вібрація в інтервалі частот 8-32 Гц (інтенсивність вібрації 78-98 Дб) водневих розчинів альбуміну викликає змінення інтенсивності спектрів поглинання в УФ-області, зниження вмісту відновлених SH-груп та вільних аміногруп, збільшення вмісту карбонільних груп у складі білка, що свідчить про окислювальну модифікацію альбуміну під дією цього фактору.

2. Доведено, що окисну модифікацію зазнають бокові амінокислотні залишки молекули альбуміну, такі як тирозин, триптофан, фенілаланін, аргінін, лізин. Показано, що наслідком дії низькочастотної вібрації буде утворення в молекулі альбуміну внутрішньо та міжмолекулярних зшивок.

3. Наростання ефектів із часом дозволяє припустити накопичення пошкоджуючого фактора в розчині та обрати в якості робочої гіпотези для пояснення механізму дії низькочастотних механічних коливань на водневій розчині біополімерів гіпотезу існування механохімічних реакцій радикальної дисоціації води.

### Список літератури

1. *Стехин А. А., Яковлева Г. В.* Структурированная вода. Нелинейные эффекты. – М.: ЛКИ, 2008. – 320 с.
2. *Рахманин Ю. А., Стехин А. А., Яковлева Г. В.* Структурно-энергетические изменения воды и ее биологическая активность // Гигиена и санитария. – 2007. – № 5. – С. 34-36.
3. *Andreyev Ye. A., Kovryzhenko O. M., Nikishina N. G.* Peculiarities of the Processes of proton subsystems ordering in oxygen water solution // Physics of the Alive. – 1993. – V. 1, № 1. – P. 93-103.
4. *Андреев Е. А.* О некоторых особенностях теплофизических свойств воды и её поведения в живых организмах // Біофізичний вісник. – 1999. – Вип. 3. – С. 112-117.
5. *Антонченко В. Я., Давыдов А. С., Ильин В. В.* Основы физики воды. – К.: Наук. думка, 1991. – 672 с.
6. *Ромоданова Е. О., Дюбко Т. С., Морозова Т. Ф., Тіманюк В. О.* Спектральні характеристики водних розчинів сироваткового альбуміну бика при низькоенергетичному



лазерному опромінюванні компонентів розчину // Укр. радіол. журн. – 2004. – № 12. – С. 58-63.

7. *Baez L. A., Clancy P.* Phase equilibria in extended simple point charge ice-water system // *J. Chem. Phys.* – 1995. – 103(22). – P. 9744-9755.

8. *Домрачев Г. А., Родыгин Ю. Л., Селивановский Д. А.* Роль звука и жидкой воды как динамически нестабильной полимерной системы в механохимически активированных процессах продуцирования кислорода в условиях Земли // *ЖФХ.* – 1992. – Т. 66, № 3. – С. 851-855.

9. *Воейков В. Л.* Вода с активным кислородом – вода жизни / Сборник "МИС-РТ". – 2005. – № 37. – С. 1-4.

10. *Акопян С. Н., Айрапетян С. Н.* Исследование удельной электропроводности воды при воздействии постоянного магнитного поля, электромагнитного поля и низкочастотных механических колебаний // *Биофизика.* – 2005. – Т. 50, вып. 2. – С. 265-270.

11. *Стыркас А. Д., Никишина Н. Г.* Механохимические процессы в воде // *Химия высоких энергий.* – 2007. – № 6. – С. 452-458.

12. *Николайчик В. В., Моин В. М. и др.* Способ определения средних молекул // *Лаб. дело.* – 1991. – № 10. – С. 13-18.

13. *Reznick A. Z., Cross C. E., Hu M. L., Suzuki Y. J., Khwaja S., Safadi A. et al.* Modification of plasma proteins by cigarette smoke as measured by protein carbonyl formation // *Biochem J.* – 1992. – V. 286. – P. 607-611.

14. *Дубинина Е. Е., Морозова М. Г. и др.* Окислительная модификация белков плазмы крови больных психическими расстройствами (депрессия, деперсонализация) // *Вопросы мед. химии.* – 2000. – № 4. – С. 398-409.

15. *Янковский О. Ю.* Токсичность кислорода и биологические системы (эволюционные, экологические и медико-биологические аспекты. – СПб., 2000. – 294 с.

16. *Луцак В. И.* Свободнорадикальное окисление белков и его связь с функциональным состоянием организма // *Биохимия.* – 2007. – Т. 42, № 4. – С. 398-409.

**Доценко О. И., Пронько Д. В. Механохимические процессы в водных растворах альбумина.** – Исследовано влияние низкочастотной вибрации в интервале частот 8-32 Гц (интенсивность вибрации 78-98 Дб) на водные растворы альбумина. Показано, что изменение интенсивности спектров поглощения в УФ-области, снижение содержания восстановленных SH-групп и свободных аминок групп, увеличение содержания карбонильных групп в составе белка свидетельствует об окислительной модификации альбумина под действием низкочастотной вибрации. Обсуждается возможный механизм действия низкочастотной вибрации на водные растворы биополимеров.

*Ключевые слова:* альбумин, окислительная модификация белков, низкочастотная вибрация.

**Dotsenko O. I., Pronko D. V. Mechanochemical processes at the aqueous solutions of albumin.** – The influence of low-frequency vibration in the range of frequencies 8-32 Hz (vibration intensity of 78-98 dB) at the aqueous solutions of albumin was investigated. We showed, that the changes in the intensity of the absorption spectra in the UV region, reducing the content of reduced SH-groups and free amino group, increasing content of carbonyl groups of the protein indicate the oxidative modification of albumin by the action of low-frequency vibration. Discussed the possible mechanism of action of low-frequency vibration at the aqueous solutions of biopolymers.

*Key words:* albumin, oxidative modification of proteins, low-frequency vibration.