

## ВПЛИВ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ АКУСТИЧНИХ КОЛИВАНЬ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДНИХ СИСТЕМ

© Знак З.О., Савчук Л.В., Оленич Р.Р., 2008

**Досліджено вплив низькочастотних акустичних коливань на фізико-хімічні властивості водних розчинів.**

**Influencing low frequency acoustic oscillations on physico-chemical properties of aqueous solutions is investigated.**

Акустичні коливання в різних частотних діапазонах застосовують для інтенсифікації низки хіміко-технологічних процесів, які відбуваються у водних розчинах [1]. Переважно застосовують акустичні випромінювання в ультразвуковій (УЗ-) області [2]. З'ясовано також, що чимало водних фізичних, фізико-хімічних та біологічних систем є достатньо чутливими до акустичних випромінювань в УЗ-діапазоні. Дія таких випромінювань на водні середовища переважно пояснюється виникненням кавітаційних явищ.

Низькочастотні акустичні випромінювання найчастіше застосовують для інтенсифікації масо- та теплообмінних процесів у гетерогенних системах, зокрема, “рідина–тверде тіло” [1] внаслідок зменшення дифузійного опору рідинно-фазового середовища. Запропоновано, наприклад, застосовувати низькочастотні акустичні випромінювання для збільшення нафтовіддачі нафтових пластів. Виявлено також, що низькочастотні випромінювання в діапазоні 7...200 Гц можуть впливати на перебіг хімічних та біохімічних процесів [3–6]. Відомо [7], що біосфера Землі постійно перебуває у полі дії потужних низькочастотних акустичних коливань, які виникають під впливом зовнішніх чинників. До них, зокрема, належать сонячно-місячні приливні сили, які зумовлюють приливні коливання атмосфери та підземні низькочастотні акустичні випромінювання внаслідок деформації земної кори [8, 9]. Такого роду акустичні збурення в атмосфері породжуються також ранковим і вечірнім термінаторами (термінатор – це межа між освітленою і неосвітленою поверхнею небесного тіла) [10], проходженням через атмосферу метеорних тіл, магнітними бурями [11], інтенсивними процесами конденсації парів, наприклад, у грозових хмарах та багатьма іншими атмосферними і геологічними процесами.

**Постановка задачі.** Незважаючи на те, що вплив низькочастотних акустичних коливань на різного виду водні об'єкти є фактом встановленим, дотепер немає чіткого трактування механізму такої дії. Деякі дослідники [3, 4] виявили, що за частоти випромінювань 7...200 Гц у водному середовищі виникають, ростуть, пульсують та руйнуються газові бульбашки доволі значних розмірів (до декількох мм) – їх називали великими деформованими бульбашками. Відтак було зроблено висновок, що ці процеси є схожими з кавітаційними в УЗ-області. Варто зауважити, що у більшості експериментальних досліджень виникнення кавітаційних явищ виявлено не було. Тому “кавітаційну” теорію не можна вважати універсальною. Доволі інтенсивне переміщення краплі води в циліндричному капілярі у полі дії низькочастотної вібрації [12], яка створювалась на відповідному стенді, пояснювали зміною поверхневого натягу води або водно-гліцеринової суміші та відповідно ступенем змочування внутрішньої поверхні капіляра.

Очевидно, що накопиченого фактичного матеріалу, який до того ж отримано для різних за складом водних середовищ, випромінювань різних частотних діапазонів та рівнів енергії, способів генерування акустичних коливань тощо є недостатньо для глибокого аналізу явищ, що виникають в полі дії низькочастотних випромінювань. Очевидно, що глибоке розуміння таких явищ дало б змогу аналізувати та прогнозувати біосферні процеси, а також вибирати способи інтенсифікації хіміко-технологічних процесів, що відбуваються під дією акустичних коливань.

**Мета роботи.** Метою цієї роботи було дослідження впливу акустичних коливань інфразвукового діапазону на фізико-хімічні властивості водних середовищ., зокрема, фізіологічного розчину.

**Експериментальна частина.** Дослідження впливу низькочастотних акустичних коливань на фізико-хімічні процеси водних середовищ здійснювали на установці, у яку входили герметичний бокс, генератор акустичних коливань та диференційний манометр. Бокс об'ємом 12 дм<sup>3</sup> виготовлений з пластин поліметилметакрилату товщиною 10 мм і споряджений герметичною кришкою. У боксі вертикально розміщували калібровані (діаметром 0,04...1,1 і довжиною 80...250 мм) капіляри, прикріплені до шкали з ціною поділки 1 мм, нижня частина яких була занурена на 5 мм в досліджуваний розчин; ємкість з досліджуванним розчином об'ємом 100 см<sup>3</sup>, в якому розташовано давач кондуктометра N-5721; віскозиметр ВПЖ-1, контрольний термометр та мікровентилятор. У корпус було вмонтовано штуцери для з'єднання бокса з генератором і диференційним манометром типу ТНЖ-Н, а також для заповнення віскозиметра робочим розчином. На корпусі були розташовані герметичні введення для кабелів під'єднання давача кондуктометра та мікровентилятора до джерела живлення. Для забезпечення сталої заданої температури бокс поміщали у повітряно-сухий термостат ТС-80М2 з прозорими ущільненими дверцятами. Як генератор низькочастотних акустичних коливань в інтервалі 0,04...0,2 Гц використовували поршневий пульсаційний компресор, у якому необхідну частоту із певними її дискретними значеннями задавали за допомогою редуктора із комплектом змінних шестерень.

Для досліджень використовували дистильовану воду та фізіологічний розчин (0,9 % розчин натрію хлориду).

Визначення показників водних середовищ здійснювали не менше ніж через 30 хв після досягнення у боксі заданої температури.

**Результати та їхнє обговорення.** Після вертикального занурення кінців капілярів у водні середовища розчин у них піднімався на деяку висоту (5...35 мм – у капілярах діаметром понад 0,2 мм і 70...120 – у капілярах меншого діаметра) і стабілізувався – цей рівень приймали за початок відліку. Практично одразу ж після вмикання генератора акустичних коливань здебільшого фіксували переміщення розчинів капілярами вгору (рис. 1).

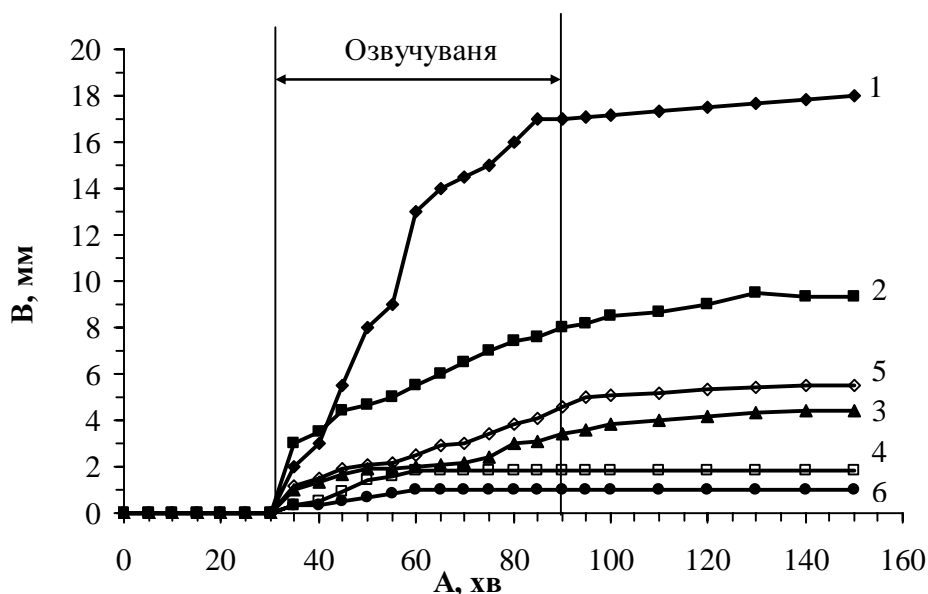


Рис. 1. Залежність відносного переміщення рідини у капілярі (В) від часу (А) під дією низькочастотних акустичних коливань: частота – 0,08 Гц;  $\Delta P = 80 \pm 1$  Па;  $T = 292$  К;  $P_{атм} = 0,996 \cdot 10^5$  Па; середовище: 1, 2, 3 – фізрозчин; 4, 5, 6 – дистильована вода; довжина капіляра ( $D = 0,2$  мм), мм: 1, 4 – 220; 2, 5 – 110; 3, 6 – 100

Необхідно відзначити, що коливання рівнів розчинів у капілярах з частотою, яка відповідала частоті акустичних коливань і наявність яких логічно можна було б припустити, в жодному з випадків не зафіксовано. При використанні капілярів з діаметрами від 0,04...1,1 мм максимальне переміщення рідини спостерігалось у капілярах з діаметром 0,2...0,4 мм. Хоча, враховуючи висоту піднімання розчинів у капілярах після їхнього занурення в розчин, можна було очікувати, що у вузьких капілярах цей ефект проявлятиметься більшою мірою.

Переміщення водних розчинів капілярами під дією акустичного випромінювання можна пояснити зменшенням в'язкості водних систем. Разом з тим, важко пояснити, чому відносне переміщення рідин є більшим у довших капілярах. Можливо, що у вузьких капілярах виникають специфічні пульсації тиску, які й забезпечують збільшення рушійної сили процесу. Очевидно, що ці дослідження потребують подальших досліджень.

Внаслідок виконаних досліджень було виявлено, що під дією низькочастотних акустичних коливань відбуваються зміни властивостей фізіологічного розчину: кінематична в'язкість зменшується, а провідність зростає (рис. 2, а, б).

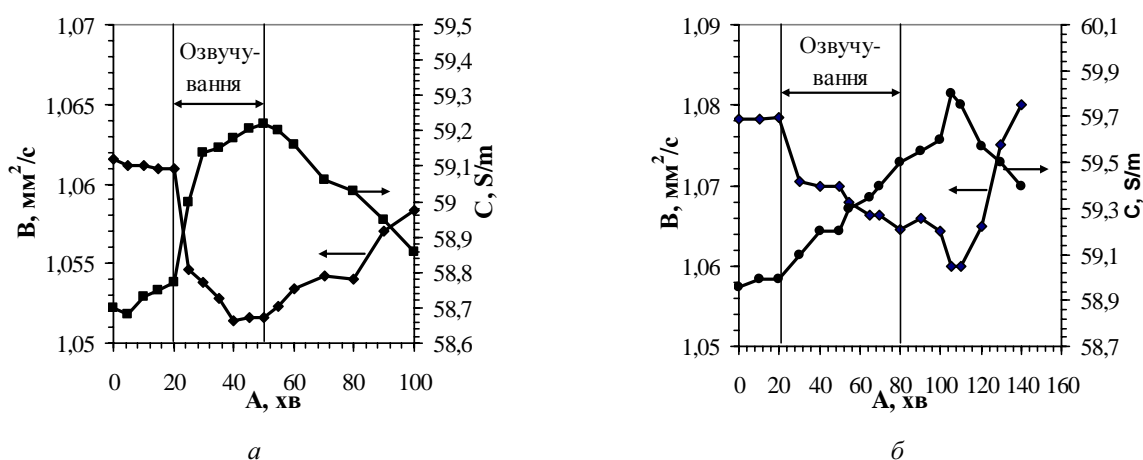


Рис. 2. Залежність кінематичної в'язкості ( $B$ ) та електропровідності ( $C$ ) фізрозчинів від часу ( $A$ ) за частоти акустичного випромінювання 0,08 Гц:  
 а)  $\Delta P = 48 \dots 55$  Па;  $T = 293$  К;  $P_{атм} = 0,992 \cdot 10^5$  Па;  
 б)  $\Delta P = 55 \pm 1$  Па;  $T = 291$  К;  $P_{атм} = 0,995 \cdot 10^5$  Па

Ці зміни починаються практично одразу ж після початку генерування акустичних випромінювань. Зміни провідності та в'язкості протягом дії акустичних коливань не є рівномірними, але монотонними. Причому спостерігається практично симетричний хід кривих зміни вказаних параметрів із доволі чітким збігом точок екстремумів (наприклад, для в'язкості – мінімумів, а для провідності, навпаки, – максимумів).

Отримані результати можна пояснити ймовірним перебігом двох процесів. Перший полягає в можливому частковому руйнуванні гідратних оболонок йонів, тобто зменшенні ступеня їхньої гідратованості внаслідок дії акустичних коливань. В'язкість системи, очевидно, зменшується, а рухливість йонів і відповідно електропровідність розчину зростає. Іншим є процес часткової деструктуризації води як середовища, яка, як відомо, характеризується певною організованістю. Порушення структури води також логічно пояснює виявлені ефекти дії акустичних збурень на водні середовища.

Після припинення акустичного збурення системи зміни властивостей водних розчинів припиняються, а потім починаються релаксаційні процеси – в'язкість зростає, а провідність – відповідно зменшується. Цікаво, що релаксаційні явища відбуваються по-різному: в одних випадках вони розпочинаються одразу ж після припинення генерування акустичних коливань (рис. 2, а), а в інших – через деякий час (рис. 2, б). Таку специфіку змін параметрів водних середовищ після закінчення акустичних збурень можна пояснити дією двох чинників.

По-перше, тривалість акустичної дії в першому випадку була вдвічі меншою. Відтак інтенсивність акустичного збурення у системі відповідно є нижчою. Можна припустити, що із збільшенням тривалості дії акустики у водному середовищі спостерігається так званий тригерний ефект. Він полягає в тому, що певна фізична дія на об'єкт (у цьому конкретному випадку – дія акустики на водний розчин натрію хлориду) призводить до розвитку в ньому подальших змін, які продовжуються самовільно навіть після припинення зовнішньої дії. Отже, акустичні коливання вносять у систему певну кількість енергії, яку, по суті, можна трактувати як своєрідну енергію активації, і яка зумовлює продовження фізико-хімічних процесів у цій системі.

По-друге, на досліджувані водні системи, окрім генерованих акустичних коливань, діють інші випромінювання – електромагнітні (вони утворюються під час роботи будь-яких електроприладів) та акустичні, зокрема, інфразвукового діапазону, що виникають внаслідок природних процесів. Ізолювати досліджувані системи від цих зовнішніх впливів, передусім низькочастотних акустичних випромінювань практично неможливо. У кожен конкретний день їхні інтенсивності є різними. Тому за низьких рівнів зовнішніх випромінювань властивості досліджуваних водних систем відновлюються одразу ж після припинення дії акустичних коливань в установці, а за високих – зміни відбуваються ще протягом деякого часу, тобто примусово генеровані коливання збуджують систему і вона, можливо, здатна сприймати ще упродовж деякого часу зовнішні випромінювання.

**Висновки.** Низькочастотні акустичні коливання субгерцового діапазону спричиняють інтенсифікацію капілярних явищ, які, що виявлено вперше, залежать від довжини капілярів, і зумовлюють зміну фізико-хімічних показників водних середовищ, зокрема збільшення електропровідності та відповідне зменшення кінематичної в'язкості.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення впливу низькочастотних акустичних коливань на перебіг окисно-відновних хімічних процесів.

1. Кардашев Г.А. *Физические методы интенсификации процессов химической технологии.* – М.: Химия, 1990. – 208 с. 2. Кардашев Г.А., Михайлов П.Е. *Тепломассообменные акустические процессы и аппараты.* – М.: Машиностроение. 1973. – 223 с. 3. Маргулис М.А., Грундель Л.М. *Химическое действие низкочастотных акустических колебаний // ДАН СССР.* – 1982, – Т. 265. – № 4. – С. 914–916. 4. Маргулис М.А., Грундель Л.М. *Исследование физико-химических процессов, возникающих в жидкости под действием низкочастотных акустических колебаний. II. Физико-химические эффекты, обусловленные пульсацией газовых пузырьков на низких частотах. // Журн. физ. химии.* – 1982,– Т.56. – № 8. – С. 1941–1945. 5. Айрапетян С.Н., Степанян Р.С., Айрапетян Г.С., Микаэлян Н.А. *Влияние механических колебаний физиологического раствора на сократительную активность сердца улитки // Биофизика.* – 1999, – Т. 44. – Вып. 5. – С. 923–928. 6. Беляков А.С., Горпенко Л.В., Исакова Е.П., Лавров В.С., Николаев А.В. *Акустическое стимулирование биологической активности нефтяных и некоторых других микроорганизмов // Докл. Акад. Наук России.* – 1996. – Т. 348. – № 1. – С.104-196. 7. Негода А.А., Сорока С.А. *Акустический канал космического влияния на биосферу Земли. // Космічна наука і технологія.* – 2001. – Т.7. – № 5/6. – С.85–93. 8. Беляков А.С., Верецагин Г.М., Кузнецов В.В. *Лунно-солнечные приливы и акустическая эмиссия во внутренних точках геофизической среды // ДАН СССР.* – 1990. – Т. 313. – № 1. – С. 52–55. 9. Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л. *Подземный фоновый звук и его связь с приливными деформациями. // Изв. АН. Физика Земли.* – 1999. – № 12. – С.39–42. 10. Сомсиков В.М. *Волны в атмосфере, обусловленные солнечным терминатором // Геомагнетизм и аэрономия.* – 1991. – № 1. – С. 1–12. 11. Госсард Э., Хук У. *Волны в атмосфере.* – М.: Мир, 1978. – 532 с. 12. Заславский Ю.М. *Экспериментальное исследование движения капель жидкости в капилляре под действием вибрации // Акустический журнал.* – 2002. – Т. 48. – № 1. – С. 56–60.