

УДК 57.04:[537.868+534-8]:579.262

**БІОФІЗИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВПЛИВУ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ТА УЛЬТРАЗВУКОВИХ
ХВИЛЬ НА БІООБ'ЄКТИ
(огляд літератури)**

**Калініченко С.В.¹, Антушева Т.І.¹, Коротких О.О.¹,
Бабич Є.М.¹, Ківва Ф.В.², Коваленко О.І.²,
Рижкова Т.А.¹, Балак А.К.³**

**1 – ДУ «Інститут мікробіології та імунології
ім. І.І. Мечникова Національної академії медичних
наук України»**

**2 – Інститут радіофізики і електроніки ім. О. Я.
Усикова НАН України**

**3 – Харківський національний медичний
університет**

На сьогоднішній день вивчення біологічних ефектів та механізмів дії електромагнітних випромінювань (ЕМВ) представляє інтерес для багатьох дослідників, оскільки надає можливість керування фізіологічними процесами біооб'єктів, а також розширює арсенал засобів боротьби з інфекційними хворобами в медицині і мікробіології.

***Низькоінтенсивні електромагнітні коливання
надзвичайно високої частоти та їх вплив на
біооб'єкти***

Електромагнітне поле - форма матерії, яка утворена електричними зарядами в результаті взаємодії електричних і магнітних полів. Воно поширюється у вигляді електромагнітних хвиль зі швидкістю, близькою до швидкості світла. Електромагнітні поля (ЕМП) мають масу й енергію. До параметрів ЕМП, від яких залежить характер біологічних ефектів, відносять: частоту, інтенсивність, щільність потоку енергії, режим генерації, форму імпульсів, їх спрямованість та ін. [1]. Завдяки цим параметрам забезпечується різний характер біологічних ефектів при дії ЕМП на біооб'єкти [2-5].

Основним джерелом природних електромагнітних хвиль на Землі є атмосферні електричні та магнітні явища (грози, блискавки, кульові блискавки), радіовипромінювання Сонця та зірок. Інтенсивність природного електромагнітного фону складає, в середньому, приблизно 10^{-7} Вт/см² [1].

Класифікація частотних смуг у спектрі електромагнітних коливань досить умовна.

Згідно з рекомендаціями Міжнародного консультативного комітету з радіо (МККР) у 1975 році була прийнята наступна система поділу й найменування частотних смуг:

- Край низькі частоти (УНЧ) - 3 – 30 Гц
- Понад низькі частоти (ПНЧ) - 30 – 300 Гц
- Інфранизькі частоти (ІНЧ) - 300 – 3000 Гц
- Дуже низькі частоти (ДНЧ) - 3 – 30 кГц
- Низькі частоти (НЧ) - 30 – 300 кГц
- Середні частоти (СЧ) - 300 – 3000 кГц

- Високі частоти (ВЧ) - 3 – 30 МГц
- Дуже високі частоти (ДВЧ) - 30 – 300 МГц
- Ультрависокі частоти (УВЧ) - 300 – 3000 МГц
- Надвисокі частоти (НВЧ) - 3 – 30 ГГц
- Надзвичайно високі частоти (НЗВЧ) - 30 – 300 ГГц
- Гіпервисокі частоти (ГВЧ) - 300 – 3000 ГГц

Електромагнітна енергія, що випромінюється, утворює електромагнітні поля, які прийнято характеризувати двома складовими: електричною (Е) і магнітною (Н). ЕМП в 1-8 діапазонах частот оцінюється напруженістю поля, одиницею виміру якої для електричної складової є вольт на метр (В/м) та ампер на метр (А/м). ЕМП у 9-12 діапазонах частот оцінюється поверхневою щільністю потоку енергії (ЩПЕ), одиницею виміру якої є ват на квадратний метр – Вт/м² ($1 \text{ Вт/м}^2=0,1 \text{ мВт/см}^2=100 \text{ мкВт/см}^2$) [1, 6].

Згідно класифікації експертів ВООЗ ЕМП підрозділяють на:

- Радіочастоти (100 кГц – 300 МГц);
- Мікрохвилі (300 МГц – 300 ГГц).

Фахівці в області електромагнітобіології весь спектр ЕМП поділили для зручності на 3 зони:

Перша зона - діапазон частот від 0 до 1 МГц, у якому дія електричної і магнітної складових на біооб'єкт може бути розглянута окремо;

друга - діапазон УВЧ (1 – 1000 МГц), коли окреме вивчення впливу електричної і магнітної складових уже не можливе, а поєднувати їх дію ще рано;

третья - область НЗВЧ (понад 1000 МГц), для якої характерно сформоване ЕМП.

Електромагнітні коливання різних діапазонів характеризуються певною довжиною хвилі (частотам наведених діапазонів відповідають визначені значення довжин хвиль): діапазон ДВЧ може бути названий діапазоном метрових хвиль; УВЧ – дециметрових; НВЧ – сантиметрових; НЗВЧ – міліметрових; а ГВЧ – дециміліметрових.

За класичною електронною теорією біологічні об'єкти є системою електрично заряджених часток [2, 6], але відрізняються від неживої природи гетерогенними композитними структурами з високим вмістом води та мають значні за розмірами і масою органічні молекули, об'єднані у синергічні системи [1-7].

Електромагнітне поле, як можливий індуктор мінливості мікроорганізмів, звернуло на себе увагу в зв'язку з дослідженнями значення метеорологічних умов у виникненні і розвитку інфекційних захворювань. Наукові основи цього питання були розглянуті ще в ХІХ сторіччі і найбільше повно представлені в теорії М. Петтенкофера, згідно якої існує зворотня залежність між розповсюдженням кишкових інфекцій і рівнем стояння ґрунтових вод від плямоутворення на Сонці. При подальшому аналізі епідемічних процесів було виявлено, що рівень різних інфекційних захворювань знаходиться у значній залежності від діяльності Сонця, що змінює багато параметрів геофізичних факторів, у т.ч. геомагнітне поле Землі, напруженість якого під час магнітних збурень істотно збільшується.

Найбільш обґрунтованою є точка зору про наявність зв'язку між популяційними змінами патогенних бактерій, в тому числі і коринебактерій, та циклічною діяльністю Сонця [8-10]. Так, в роки з мінімальною сонячною активністю в більшості країн Європи спостерігалось підвищення циркуляції штамів токсиноутворюючих коринебактерій та зростання випадків захворювань на дифтерію. Ця тенденція відмічена і закордонними вченими по відношенню до геомагнітних випромінювань [11].

Обговорення питань фізичних механізмів дії слабких ЕМП на біооб'єкти особливо активно проводиться в останній час [12-18]. Ключова ідея про чутливість біологічних об'єктів до слабких ЕМП ґрунтується на припущенні, що міліметрові хвилі виявляються природними для біооб'єктів і можуть використовуватися клітинами в напрямку "керування" основними фізіологічними функціями. У теоретичному плані на ці обставини вперше звернула увагу група російських вчених у другій половині 60-х років ХХ століття, яку очолив академік М.Д. Дев'ятков [19]. Вони припустили, що в плазматичних мембранах клітини можуть збуджуватись акустoeлектричні коливання в надзвичайновисокочастотному діапазоні (НЗВЧ) [20, 21]. Це припущення знайшло підтвердження в численних авторських експериментах, а також було розвинуто в роботах відомого німецького фізика Г. Фрьоліха [22, 23]. Суть вказаного припущення зводиться до того, що окремі ділянки плазматичної мембрани, чи вся мембрана клітини, можливо, знаходиться в природному збудженому коливальному стані (когерентні коливання) у діапазоні частот 10^{11} - 10^{12} Гц, що за сучасною класифікацією відповідає діапазону міліметрових хвиль (НЗВЧ, $f = 30$ - 300 ГГц). Тому в плазматичних мембранах клітин можуть збуджуватись, за аналогією з діелектричними хвилеводами, акустичні коливання в діапазоні НЗВЧ. Накопичені дані дозволяють вважати, що когерентні коливання по Фрьоліху та акустoeлектричні коливання в плазматичних мембранах клітин – те ж саме фізичне явище [24-28].

Потужність електромагнітних коливань, яка випромінюється електричними диполями плазматичної мембрани клітини, дорівнює приблизно 10^{-23} Вт у вузькій смузі частот. Виходячи з гіпотези "керування" функціями, для живих клітин настільки низька величина потужності є досить значимою величиною, тому можливо припустити, що клітини повинні бути, відповідно до принципу взаємності, чутливими до зовнішніх випромінювань з величиною потужності такого ж порядку [27-31].

Висунуто також припущення, що проникнення ЕМП у глибину біооб'єкту пов'язано з власними резонансними частотами кластерів води, які лежать у межах діапазонів приблизно 50-70 ГГц [32-40]. При опроміненні біологічних об'єктів слабкими електромагнітними хвилями на цих частотах має місце захват молекулярними водними кластерами частот зовнішнього сигналу та посилення його за типом синхронізованої генерації (генеративне посилення).

Хвилі на цих частотах поширюються з дуже малими енергетичними втратами і, тим самим, можуть проникати на більшу глибину до об'єкту, та залучати глибинні структури клітин у процес взаємодії зі слабким зовнішнім сигналом.

Нові гіпотези пояснення механізму впливу слабких сигналів на біологічні системи пов'язані з відкриттям феномену стохастичних резонансів, який в радіотехніці називають стохастичною фільтрацією [29-31]. Найбільш повна інформація про стохастичний резонанс та можливі галузі його застосування, включаючи біологію і медицину, наведена в огляді В.С. Аніщенко, А.Б. Нейман, Ф. Мосс та ін. [29]. Кванти енергії міліметрових хвиль складають величину 2,1 - 4 eВ, а енергія коливань молекул більша приблизно в 150 разів. З наведених енергетичних параметрів можна припустити, що НЗВЧ-випромінювання, певно, не може призвести до атомних чи молекулярних змін та хімічних перебудов. Вважається, що випромінювання у НЗВЧ діапазоні може ініціювати ланку послідовних реакцій, які супроводжуються трансформацією енергій [39-48]. Як відомо, процеси переносу заряду призводять до виникнення електричного потенціалу на мембрані клітини, який накладається на власний потенціал клітинної мембрани, але в той же час залежить від зовнішнього електричного поля. Цей індукований зовнішнім електромагнітним полем трансмембранний потенціал є важливим фактором, що регулює процеси життєдіяльності клітини. Оскільки клітина веде себе як диполь, то індукований трансмембранний потенціал взаємодіє з іншими диполями, що призводить до поглинання електромагнітної енергії [49-54].

У результаті досліджень в медицині і біології, які проводились понад чверть віку, стосовно надзвичайновисокочастотного випромінювання (міліметрові хвилі) з'явилась ціла низка гіпотез і точок зору щодо механізмів їх дії [55-59].

На цей час найбільш повно розроблена концепція М.Д. Дев'яткова, М.Б. Голанта, О.В. Бецького та ін., яка збудована на припущенні щодо електромагнітних автоколивань клітинних сполук (наприклад, елементів мембран), як природному стану живих клітин [30, 60]. При цьому, синхронізація автоколивань зовнішнім електромагнітним випромінюванням, можливо, веде до появи внутрішніх інформаційних сигналів, які впливають на регуляторні системи організму, зокрема автоколивання тісно пов'язані з метаболічними і біофізичними процесами, які відповідають за включення механізму захисту в біооб'єкті. Іншими словами, власне НЗВЧ-випромінювання клітини використовують для "керування" фізіологічними процесами [61-71]. Експериментально виявлені закономірності не суперечать основним положенням цієї гіпотези, але й не доказують їх. Матеріали зазначених робіт вказують на нові ефекти від стимулювання радіовипромінювання у НЗВЧ-діапазоні штамів кишкової палички, стафілококу та збудників дифтерії [72, 73]. Багато авторів вважає, що найважливішою точкою впливу є мембрана клітини [74-78].

Реалізація такої енергетично слабкої взаємодії може здійснюватись завдяки впливу міліметрових хвиль на активність мембранних сполук, які регулюють процеси метаболізму. На користь цієї гіпотези свідчать дані, отримані у досліджах на морських бактеріях, що світяться [79-81]. Виявлена після опромінення зміна люмінесценції, на думку авторів, пов'язана із структурними перебудовами клітинної мембрани. Перебудова ліпідних фракцій може призвести до зміни рівня альдегідного фактору біоломінесцентної системи бактерій, що поєднана з мембраною та викликає зміну інтенсивності світіння мікробних клітин.

Також має місце припущення, що збудження акустоелектричних хвиль в ліпідно-білковій мембрані клітини активує транспорт води, іонів та різних речовин крізь неї. Закордонні автори відмічали зміну активності іонних каналів під впливом ЕМП [82-85]. НЗВЧ-випромінення, з їх точки зору, діє на конформацію білкової частини АТФ-синтетазного комплексу, що призводить до активації цього ферменту та зміни мембранного потенціалу.

Низкою вчених були узагальнені дані про вплив електромагнітних хвиль міліметрового діапазону (НЗВЧ-опромінення) на фотосинтезуючі організми – ціанобактерії, мікро- і макроводорості, вищі рослини; описані часові, частотні, енергетичні закономірності дії НЗВЧ-опромінення на прокариотні та еукаріотні фотосинтезуючі організми, а також фізіологічні ефекти, що виникають при взаємодії НЗВЧ-опромінення з об'єктами; показана стимулююча дія опромінення на ріст, вихід біомаси, транспорт іонів та екскрецію з клітин корисних речовин у фототрофів [86].

Виходячи з приведених даних літератури можна припустити, що опромінення в НЗВЧ-діапазоні, все ж таки, реалізується на мембранному рівні і, скоріш за все, пов'язане зі зміною спектру автоколивань. Вони виникають у ділянках ліпідної основи клітинних мембран, а потім передаються на близькі за структурою ділянки мембран, що обумовлює синхронізацію коливальних процесів в опроміненій системі. Причому, у кожній ділянці групи автогенераторів (осциляторів) практично ідентичні, а між ділянками – різні. Можливо, що групи осциляторів з близькими частотами розташовані у середині мембран хаотично. Все одно, будь-який зовнішній вплив відповідної сили та тривалості призводить до деформації мембран, і, відповідно, до зміни спектру автоколивань та порушення співвідношень їх фаз з перевагою тієї чи іншої певної частоти. Якщо хоча б одна частота із груп осциляторів мембрани збігається з частотою індукуючого фактора, відбувається захват автоколивань зовнішнім сигналом і синхронізація решти автогенераторів, що може призводити до появи макроскопічного ефекту. Можливо, це служить інформаційним індуктором до запуску регуляторних систем клітини. Збалансування фаз коливань при синхронізації може супроводжуватись перебудовою клітинних структур, оскільки автоколивання впливають на стійкість механічних систем. Фіксація перебудов, яка супроводжується зміною метаболічних процесів

клітини, пояснює ефект “запам'ятовування” тривалого впливу ЕМВ НЗВЧ-діапазону. Таким чином, автоколивання усередині ділянок мембран клітин – це засіб передачі інформації, завдяки чому змінюється іонний і молекулярний транспорт крізь мембрани [87-92].

Біофізична характеристика ультразвуку та особливості його впливу на мікроорганізми

Одним з факторів, які здатні впливати на функціональний стан мікроорганізмів, є ультразвук (УЗ) [93, 94]. Ультразвукові хвилі володіють великою механічною енергією і здатні викликати ряд фізичних, хімічних та біологічних явищ. Тому не є випадковим інтерес до вивчення впливу та механізмів дії цього фізичного чинника на біологічні об'єкти.

Ультразвуковими називаються пружні акустичні хвилі, здатні поширюватися в матеріальних середовищах (твердих, рідких, газоподібних) [95]. Нижня межа УЗ лежить в області 16-20 кГц, верхня досягає сотень мегагерц (до 1000 МГц). Обидві межі досить умовні і знаходяться за межами сприйняття людини. Пружність забезпечує повернення у вихідне положення частинок середовища, зміщених під впливом зовнішніх сил. Частинки середовища при цьому не переносяться в напрямку поширення хвиль, а лише коливаються біля положення рівноваги. Збурення від частинок, що коливаються в кожному шарі біля положення рівноваги, передається від шару до шару у напрямку поширення хвилі. Таким чином в акустичній хвилі відбувається перенесення енергії без перенесення речовини. Хвилі бувають поздовжніми, якщо напрямом коливань частинок збігається з напрямом поширення хвиль, та поперечними, якщо ці напрямки взаємно перпендикулярні [94]. У газоподібних та рідких середовищах, в тому числі в м'яких тканинах макроорганізмів та в клітинах мікроорганізмів, які складаються на 75% з води, розповсюджуються поздовжні хвилі [93, 96].

Ультразвукові хвилі умовно підрозділяють на три діапазони:

- УНЧ – ультразвук низьких частот (20-100 кГц);
- УСЧ – ультразвук середніх частот (100-10000 кГц або 0,1-10 МГц);
- УЗВЧ – ультразвук високих частот (10-1000 МГц).

Кожен діапазон має свої особливості біологічного та медичного застосування.

При проходженні УЗ в біологічних об'єктах частки середовища здійснюють інтенсивні коливальні рухи з великими прискореннями, при цьому на відстанях, що дорівнюють половині довжини звукової хвилі, в середовищі, що опромінюється, може виникати різниця тисків від одиниць до десятків атмосфер. Настільки інтенсивні дії на структуру біологічних об'єктів призводять до різних ефектів, фізична природа яких пов'язана з дією факторів, супутніх поширенню ультразвуку в середовищі: механічного, теплового, фізико-хімічного [97].

Одним з механізмів впливу УЗ на біооб'єкти є звукохімічні реакції. Хімічні перетворення спостерігаються при інтенсивності УЗ від щільності один Вт/см² до десятків або сотень Вт/см² на частотах від 1 кГц до декількох МГц. Оскільки ці частоти на багато порядків менші власних частот коливання молекул, хімічних змін в системі внаслідок резонансного поглинання УЗ не спостерігається і варіювання частоти в зазначеному діапазоні мало позначається на характері виникаючих у біосистемі реакцій [97].

Біологічна дія ультразвукових хвиль пов'язується більшою мірою з явищем кавітації [93]. Кавітацією називається процес утворення в рідкому середовищі порожнин, заповнених парами самої рідини, які виникають під дією великих розриваючих напруг і в наступну мить захоплюються, супроводжуючись великими тисками і локальним нагрівом середовища. Явище кавітації носить локальний характер і не переміщається в середовищі. Імпульси тиску, що виникають при змиканні кавітаційних каверн, здатні руйнувати не тільки тверді і рідкі тіла, а й більшість біооб'єктів, зокрема мікроорганізми [93, 96, 98].

Хімічна дія УЗ при кавітації, можливо, зумовлена утворенням на стінках кавітаційної порожнини електричних мікрочарядів з подальшим електронним пробоем. Однак багато експериментальних фактів в рамках такого подання пояснити не вдається. Найбільш виправданим є уявлення про тепловий механізм хімічної дії кавітації. Припускається, що при схлопуванні кавітаційної бульбашки, парогазова суміш, яка її заповнює, стискається адіабатично (тиск до 10⁵ Па або 300 атм), в результаті чого температура в ній може досягати порядку 10⁴ °К [93]. Більшість хімічних перетворень під дією УЗ відбувається у водних розчинах.

При високій температурі молекули води всередині кавітаційної порожнини переходять в збуджений стан і розщеплюються на радикали Н⁺, ОН⁻, а також, можливо, іонізуються з утворенням гідратованих електронів, тобто електронів з приєднаними до них нейтральними молекулами води. Частково радикали рекомбінують, причому склад кінцевих радикальних і молекулярних продуктів розкладання води в ультразвуковому полі залежить від природи розчиненого у воді газу [99]. Так, при впливі УЗ на воду, яка містить повітря, утворюються оксиди азоту і пероксид водню [95]. Крім того, пропускання УЗ через речовини прискорює хід деяких хімічних реакцій. Зазвичай прискорюються реакції, що проходять у присутності Н₂О₂ і Н⁺, і особливо окиснювальні реакції під впливом атомарного кисню [100]. Прискорення ряду хімічних реакцій обумовлено дією різних фізико-хімічних ефектів, пов'язаних з ультразвуковою дегазацією, диспергуванням, емульгуванням, локальним нагріванням при кавітації та ін. Під дією УЗ відбувається детонація дихлористого азоту, що сприяє розщепленню білкових частинок [101]. Таким чином, ультразвукові коливання можуть застосовуватися для ініціювання хімічних реакцій, здійснення ряду нових

методів синтезу і прискорення повільних реакцій в органічній системі. Відомі дані, що утворення вільних радикалів ОН⁻ і Н⁺ під дією УЗ викликає зміну рН в біологічних тканинах в лужний або кислий бік залежно від інтенсивності і тривалості впливу. Зміна рН запалених тканин в лужний бік викликає анальгезуючий ефект внаслідок різкого зменшення запальних явищ, що використовується у фізіотерапії [102, 103].

Крім хімічного, залежно від інтенсивності та тривалості опромінення, УЗ надає різний механічний вплив на біологічні об'єкти. Так, при малих інтенсивностях (до 2-3 Вт/см²) на частотах порядку 10⁵ - 10⁶ Гц (100-1000 кГц) коливання частинок біологічного середовища створюють своєрідний «мікромасаж» тканинних елементів, що сприяє кращому обміну речовин [102]. Для організму людини і тварин такий вплив покращує постачання тканин кров'ю і лімфою. Підвищення інтенсивності УЗ може призвести до виникнення в біологічних середовищах кавітації, а отже, і до механічного руйнування клітин і тканин; кавітаційними «зародками» при цьому слугують газові бульбашки, які завжди присутні в цитоплазмі біологічних клітин.

При поширенні УЗ в біологічних середовищах відбувається його поглинання і перетворення акустичної енергії в теплову [93]. Характерно, що утворення тепла здійснюється не рівномірно по всій товщі тканин, а проявляється найбільш помітно на кордонах середовищ з різними хвильовими опорами [104]. Однак, значне підвищення інтенсивності УЗ і збільшення тривалості його впливу можуть призвести до надмірного нагріву біологічних структур і до їх руйнування. Тому тепловий ефект поряд з кавітацією використовують в якості основних діючих факторів у хірургічних операціях з використанням ультразвуку, наприклад для регенерації пошкоджених тканин [105].

Причиною змін, що виникають в біологічних об'єктах під дією УЗ, можуть бути також вторинні ефекти фізико-хімічного характеру. Так, завдяки утворенню акустичних потоків, відбувається енергійне перемішування внутрішньоклітинних мікроскопічних структур. Кавітація в середовищі призводить до розриву молекулярних зв'язків, молекули води, як уже описувалося вище, розпадаються на вільні радикали ОН⁻ і Н⁺, що є першопричиною дії УЗ. Подібним же чином відбувається розщеплення під дією УЗ високомолекулярних сполук у біологічних об'єктах (наприклад, крохмалю, нуклеїнових кислот, білкових речовин) [96, 106].

Однією з основних особливостей впливу УЗ на мікроорганізми можна вважати його вплив на клітинні мембрани. Дія УЗ може призводити до істотних змін механічних, електричних та інших властивостей клітинних мембран, а також до порушення внутрішнього складу клітин і зміни концентрації речовин, розчинених у цитоплазмі [107]. Розрив клітинних мембран і порушення механічної цілісності клітин - найбільш вірогідне з можливих наслідків ультразвукового опромінення [108]. Наслідки при тривалому впливі УЗ залишаються протягом деякого

часу після його припинення опромінення, і нормальна життєдіяльність клітини може не відновлятися протягом хвилин, годин або навіть днів [96]. Встановлено, що особливо небезпечним для мікроорганізмів є низькочастотний УЗ, у зв'язку з тим, що потужний низькочастотний ультразвук здатний механічно розривати клітинні мембрани, а це призводить до порушення цілісності та загибелі клітин [109, 110]. Однак навіть при низьких частотах механічне пошкодження і загибель клітин відбуваються тільки при достатньо високих інтенсивностях УЗ, що істотно перевищують фізіологічні дози [94].

Зміна властивостей мембрани під дією УЗ обумовлена здебільшого «відриванням» потужним випромінюванням макромолекул і молекулярних комплексів з зовнішньої поверхні мембрани. Відірвані сполуки розчиняються в навколишньому середовищі і можуть знову «повернутися» на своє колишнє місце через деякий час після припинення ультразвукового впливу. Залишившись без певних складових, мембранні канали змінюють свою провідність і інші властивості, в результаті чого мембрана починає аномально функціонувати. У деяких бактерій під дією УЗ спостерігається генерація мембраною електричного потенціалу. Це вимушене збудження пов'язане з описаною вище зміною електричних властивостей мембрани [111].

Наступна важлива особливість дії УЗ на мікроорганізми - зміна концентрації різних речовин у складі цитоплазми за рахунок зміни рівноважної концентрації речовин поза і всередині клітини: акустична хвиля утворює мікрівихори в середовищі навколо клітин, забезпечуючи ефективне переміщення розчину [93]. Таким чином, вплив УЗ наближає концентрацію речовин в цитоплазмі, особливо іонів легких металів, до їх концентрації поза клітиною. Це робить клітину залежнішою від складу зовнішнього середовища і може порушити внутрішні процеси життєдіяльності. Порушення внутрішнього складу клітини і, як наслідок, процесів її життєдіяльності, є найбільш глибокою і довгостроковою зміною. Наслідки такого роду можуть залишатися в силі впродовж декількох годин, а то й днів після закінчення впливу УЗ. По мірі зниження інтенсивності ультразвуку ці наслідки можна впорядкувати таким чином: порушення цілісності клітини - зміна властивостей мембрани - зміна концентрацій речовин у цитоплазмі - порушення життєдіяльності [96, 111].

Ефекти, які досягаються в результаті опромінення ультразвуком біологічних об'єктів, зазвичай обумовлені спільною дією багатьох факторів, і не завжди ясно, який з них відіграє першочергову роль. Рішення ряду завдань, пов'язаних з практичним застосуванням УЗ в мікробіології, передбачає вивчення характеру акустичного поля, тобто розподілу в просторі звукового тиску або інтенсивності за частотою, часом дії, чутливістю організмів [94, 95, 107, 112]. За даними ряду дослідників, розрізняють 3 типи впливу УЗ в

залежності від інтенсивності акустичного поля [93, 95, 96]:

- УЗ низької інтенсивності (до $1,5 \text{ Вт/см}^2$) сприяє прискоренню обмінних процесів та росту біоб'єктів, не дає морфологічних змін всередині клітин та вважається фізіологічним каталізатором біологічних реакцій;
- УЗ середньої інтенсивності ($1,5-3,0 \text{ Вт/см}^2$) викликає зворотні реакції пригнічення фізіологічних процесів;
- УЗ високої інтенсивності ($3,0-10,0 \text{ Вт/см}^2$) руйнує біологічні клітини.

Ультразвукові коливання високої інтенсивності, як описувалось вище, пошкоджуючи клітинні оболонки мікроорганізмів, викликають їх загибель. Ще з 1928 року вчені почали досліджувати вплив УЗ на мікроорганізми і встановили, що опромінення бактерій групи кишкових паличок призводило до зменшення їх кількості [113]. У наступні роки було опубліковано велику кількість робіт про дію акустичних хвиль на бактерії і віруси. При цьому з'ясувалося, що результати дії можуть бути дуже різноманітні: з одного боку, дослідники спостерігали підвищення аглютинації, втрату вірулентності, або повну загибель бактерій, з іншого боку, відзначався зворотний ефект - збільшення числа життєздатних клітин. Останнє особливо часто мало місце після короткотривалого опромінення. Вочевидь, короткочасна дія УЗ сприяє механічному розділенню скупчень бактеріальних клітин, завдяки чому кожна окрема клітина дає початок нової колонії [94, 113-115].

Більшість патогенних мікроорганізмів чутливі до дії низькочастотного ультразвуку. Так, опромінення ультразвуком низької частоти грамнегативних (*P. aeruginosa*, *E. coli*) і грампозитивних (*S. aureus*) мікроорганізмів збільшує чутливість цих бактерій до дії дезінфікуючих та антибактеріальних препаратів [116]. Доведена ефективність застосування низькочастотного ультразвуку для лікування бактеріальних інфекцій, пов'язаних з утворенням біоплівки, особливо в поєднанні з різними антимікробними препаратами [117-120].

Відомо, що застосування ультразвукових хвиль малих та середніх інтенсивностей (до 2 Вт/см^2) зазвичай викликає позитивні біологічні ефекти [93]. У досліджах багатьох науковців після обробки мікроорганізмів ультразвуком малої інтенсивності спостерігалось збільшення їх чутливості до лікарських, протимікробних препаратів і дезінфікуючих засобів внаслідок підвищення проникності оболонки мікробних клітин [115-117, 121]. Застосування порівняно великих інтенсивностей ($3-10 \text{ Вт/см}^2$) і тривале опромінення, зазвичай, викликає незворотні пошкодження клітин, тобто призводить до негативних біологічних ефектів. УЗ сприяє розриву клітинних стінок і мембран, пошкодженню флагеліну у рухливих форм мікроорганізмів в результаті виникнення високого тиску всередині клітини або появи гідроксильних радикалів і атомарного кисню у водному середовищі цитоплазми. Таку руйнівну дію УЗ (бактерицидна дія) давно використовують в медичній мікробіології [93]. Відомо, що при перевищенні певної порогової інтенсивності

УЗ, за якої виникає кавітація, відбувається руйнування різних бактерій і вірусів; при цьому має місце прямопропорційна залежність між інтенсивністю ультразвуку та руйнуючим ефектом. Саме таким чином за допомогою ультразвуку руйнують мікобактерії туберкульозу, збудників тифу, кашлюку, віруси поліомієліту, енцефаліту і сказу, деякі види коків (стафілококи, стрептококи) [93, 98, 109, 110, 114, 117-120, 122, 123].

Механізм бактерицидної дії УЗ в літературі пояснюється двома теоріями: кавітаційно-механічною та кавітаційно-електрохімічною [98]. Згідно першої вважають, що ультразвукові хвилі, поширюючись в пружному середовищі, викликають у ній поперемінні стиснення і розрядження. У клітині створюються величезні тиски, які сягають десятків і сотен МПа, що викликає механічне руйнування цитоплазматичних структур і загибель клітини. Кавітаційно-електрохімічна теорія пояснює іонізацію парів рідини і присутніх у ній газів при утворенні кавітаційної бульбашки. При розриві бульбашок виникає електричний розряд, що супроводжується різким підвищенням температури і утворенням в кавітаційній порожнині електричного поля високої напруги. При цьому пари рідини і високомолекулярні з'єднання в кавітаційній порожнині розщеплюються на водень і гідроксильну групу з утворенням активного кисню, пероксиду водню, азотистої та азотної кислот, в результаті чого відбуваються інактивація ферментів і коагуляція білків. Все це обумовлює загибель мікробної клітини [98, 99]. Ефективність дії УЗ при одній і тій же інтенсивності і частоті коливань також залежить від тривалості впливу, хімічного складу середовища, що опромінюється, його в'язкості, температури, рН та вихідного ступеня обсіменіння мікроорганізмами. Чим більше мікроорганізмів, тим тривалішим має бути вплив для досягнення стерилізуючого ефекту [94-96, 98].

Стійкість бактерій до дії УЗ залежить також від їх біологічних властивостей. Вегетативні клітини більш чутливі, ніж спорові, кокові форми гинуть повільніше, ніж паличкоподібні, більші клітини мікроорганізмів відмирають швидше, ніж дрібні (максимальна чутливість у лептоспир, а найбільш стійкі стафілококи) [94, 98, 113]. Низькочастотний УЗ застосовують для дезінтеграції мікроорганізмів при виготовленні вакцин, при екстракції внутрішньоклітинних ферментів, токсинів, вітамінів, нуклеїнових кислот та інших компонентів клітини [123-127]. Певні частоти УЗ здатні викликати деполімерізацію органел мікробних клітин, а також денатурацію молекул, що їх складають, в результаті локального нагріву або підвищення тиску. Цей феномен використовують для отримання антигенів шляхом дезінтеграції мікробних клітин. Діючи на бактерії ультразвуком певної частоти та інтенсивності, можна виділити з них не тільки антигени, але й токсини [128, 129]. УЗ використовується й для руйнування внутрішньоклітинних структур, як то мітохондрії та хлоропласти, з метою вивчення взаємозв'язків між їх структурою та функціями (аналітична цитологія).

Ведуться дослідження по застосуванню УЗ - енергії для стерилізації питної води [106]. Завдяки бактерицидному ефекту дії ультразвуку в теперішній час УЗ-технології застосовують для стерилізації харчових продуктів (молоко, фруктові соки, вино) [130]. Перевага УЗ-стерилізації харчових продуктів полягає в тому, що продукт, який консервується, не піддається, як це зазвичай робиться, нагріванню до високої температури, і, отже, його смакові якості залишаються досить високими [106, 132]. З успіхом застосовують УЗ низької частоти в очищенні стічних і стоячих вод [107].

У сучасній біології використання УЗ пов'язане також з його здатністю викликати мутації в клітинах. Відомо, що УЗ навіть малої інтенсивності спроможний пошкоджувати молекулу ДНК. Штучне цілеспрямоване створення мутацій відіграє значну роль у селекції рослин, мікроорганізмів тощо, що значно розширює можливості біотехнологічних галузей. Головна перевага УЗ перед іншими мутагенами (рентгенівські промені, ультрафіолетові) в тому, що з ним надзвичайно легко та безпечно працювати [132].

Останнім часом підвищена увага до ультразвукових технологій в мікробіології обумовлена не тільки безпосереднім впливом на біооб'єкти, але й можливістю зміни фізико-хімічних характеристик субстратів для культивування мікроорганізмів. Застосування таких технологій актуальне для регулювання складу штучних поживних середовищ, зокрема концентрації та активації молекулярного кисню шляхом ультразвукової дегазації середовища [94]. Зниження концентрації кисню в субстраті або в суспензії мікроорганізмів забезпечує мікроаерофільні умови культивування бактерій, максимально наближаючи їх до умов колонізації макроорганізму.

Тому, на наш погляд, доцільним є вивчення як окремого, так і сумісного впливу декількох фізичних чинників на біологічні властивості мікроорганізмів, оскільки в природному середовищі на них зазвичай впливають багато факторів одночасно, підсилюючи або нівелюючи дію один одного [132, 133].

References

1. Presman, A. S. Electromagnetic alarm in wildlife (facts, hypotheses, the way research) [Text] / A. Presman. - M.: Tempo, 2004. - 82 p.
2. Electron-beam diodes using ferroelectric cathodes [Text] / Y. D. Jvers [et al] // J. Appl. Phys. - 2003. - Vol.73, №6. - P. 2667-2671.
3. Geyringer, P. Grouwater Remediction by Ozone Electron Beam Irradiation Treatment, paper present at AOTs-1 First Intl [Text] / R. Geyringer // Confron advanced Oxidation Technologies for Water and Remediation. (London, Ontario, Canada) - 2004. - June 25-30. - P. 130.
4. Adler, R. J. Comparison of DC and Pulsed Beams for Comercial Application [Text] / RJ Adler // (North Star Research Corporation) Beams 04. Proc. Of the 10-th Intern.Conf. on High Power Particl. Beams, June 20-24. - San Diego, CA VI, 2004. - P. 29-32.
5. Chalyy, O. V. Medical and Biological physical [Text] / V. Chalyy - K: Vipol, 2001. - Vol.2. - P. 415

6. Interaction of physical fields with living matter [Text] / E. I. Nefedov, A. A. Protopopov, A. N. Sementsov, A. A. Yashin [Ed. Hadartseva AA] - Tula: RDI NMT, Ed - in Tula. Gos. research -, 1995. - 180 p.
7. Adaptive responses to urgent strains of corynebacteria influence of abiotic factors [Text] / E. M. Babich [et al.] // Methods of obtaining pure cultures of microorganisms and their long-term storage in collections: Museum of employees pathogenic to humans mikroorhanizmiv.- K. : Knowledge of Ukraine. - 2008 - Vol. 6. - P. 39-45.
8. Chizhevsky, A. L. In the rhythm of the sun [Text] / A. L. Chizhevsky, G. Shishina. - M.: Nauka, 1969 - 112 p.
9. Chizhevsky, A. L. Earth echo of solar storms [Text] / A. L. Chizhevsky. - Moscow: Thought, 1976. - 357 p.
10. Chernoshchyokov, K. A. Materialization of ideas A. L. Chizhevsky in epidemiology and microbiology [Text] / K. A. Chernoshchyokov, A. V. Lepekhin. - Tomsk: Publishing house of Tom. University Press, 1993. - 273 p.
11. Sister, F. D. Concerning the possible influence of the Earth's magnetic field on geomicrobiological processes in the hydrosphere [Text] / F. D. Sister, F.E. Senftle // Proc. Soc. Amer. Bacteriologists. - 1961, 61. - P. 36.
12. Presman, A. S. Electromagnetic alarm in wildlife (facts, hypotheses, the way research) [Text] / A. S. Presman - Moscow: Sov. radio, 1991. - 63 p.
13. Changes kinetics of growth of pathogens diphtheria influenced by physical factors [Text] / T. I. Antusheva [et al.] // Epidemiology, hygiene, infectious diseases. - 2010. - №1 (2). - P. 43-47.
14. Baranski, S. Biological effects of microwaves [Text] / S. Baranski, P. Czerski. - Stroudsburg: P, Downed, Hutchinson a. Ross, - 1996. - 234 p.
15. Ismailov, E. Physico-chemical mechanisms of the biological activity of the microwaves [Text] / E. S. Ismailov, SM Zubkov // Biological Sciences. - 1997. - №7. - C.5 - 10.
16. Serdyuk, A. M. Interaction organism with electromagnetic fields as the environmental factors [Text] / A. M. Serdyuk. - By: Naukova Dumka, 1997. - 228 p.
17. Afromeev V.I. Fields and radiation biophysics and bioinformatics [Text] / V. I. Afromeev, Khadartsev A. A., A. A. Yashin. Part II. Fundamentals of physical - biological and technical implementation of control actions by high-frequency electromagnetic fields in medicine [Text] / Ed. Yashin A. A. - Tula: RDI NMT Ed - in Tul'sk.gos research - 1999 - 459 p.
18. Tambov, A. H. Some new ideas about the causes of the formation of the stimulating effect of EHF - radiation [Text] / A. H. Tambov, NN Kirikova // Biomedical electronics. - 2000. - №1. - P.23 -26.
19. Devyatkov, N. D. On the prospects of the use of electromagnetic radiation in the range of millimeter waves as highly informative means of obtaining information about specific processes in living organisms [Text] / N. D. Devyatkov M. B. Golant // Letters to the journal of the theoretical. Physics (JTP). - 1968. - vol.12. - Issue 5. - S. 12-24.
20. Devyatkov, N. D. Influence of electromagnetic fields millimeter waves on biological objects [Text] / N. D. Devyatkov // Nauk. - 1973 - T.110, - №3. - S.453 - 454.
21. Devyatkov, N. D. Questions about electromagnetic radiation of low power of the highest frequencies (millimeter waves) in medicine [Text] / N. D. Devyatkov - Izhevsk Udmurdiya. - 2001. - 212 p.
22. Frohlich, H. Long range coherence and energy storage in biological systems [Text] / H. Frohlich // Int. J. Quant. Chem. - 1968. - V.2. - P. 108-112.
23. Frohlich, H. The biological effects of microwaves and related question. - Advances in Electronics and Electron Physics [Text] / H. Frohlich // Int. J. Quant. Chem. - 1980. - №96. - P. 56-61.
24. Guy, A.W. Non-ionizing radiation: dosimeter and interaction [Text] / AW Guy // Non-ionizing radiation: Proc. of a topical symp., Nov. 26-28, 1979, Washington, DC. - Cincinnati, Ohio OH 45201, 1980. - P. 75-101.
25. The biological effect of radiofrequency radiations: A critical review and recommendation [Text] / S. M. Michaelson [et.al.] // Intern. J. Rad. Biol. - 1996. - V.21 № 3. - P. 1381-1382.
26. Mechanisms for the reception of electromagnetic radiation of EHF - range biological objects [Text] / J. S. Kirkilevsky, Y. I. Hohlich, V. A. Pavlenko, A. I. Kovalchuk // Fundamental and applied aspects of millimetric electromagnetic radiation in medicine: Abstracts . rep. 1 All-Union symposium with international participation. - Kyiv, 1999. - Part 1. - P.33 -35.
27. Vakhtin, Y. B. Creating biological models for the study of weak and ultra-weak fields and radiation [Text] / Y. B. Vakhtin // II International. Congreve.: "The weak and super-weak fields and radiation in biology and medicine." - St. Petersburg, 2000. - P. 4-14.
28. Havas, M. Biological effects of non-ionizing electromagnetic energy: A critical review of the reports by the US National Research Council and the US National Institute of Environmental Health Sciences as they relate to the broad realm of EMF bioeffects / M. Havas // Environ. Rev. - 2000. - Vol. 8. - P. 173-253.
29. Stochastic resonance: noise-enhanced order [Text] / V. S. Anischenko, A. B. Neiman, F. Moss, L. Szymanski-Gayber // Successes of physical sciences. - 1999. - T.169, - №1. - P. 23-28.
30. Betsky, O. V. Stochastic resonance and the problem of the impact of weak signals on biological systems [Text] / O. V. Betsky, N. N. Lebedev, T. I. Koratkovskaya // Millimeter waves in biology and medicine. - 2002. - №4. - P. 36-41.
31. Gaiduk, VI The concept of two stochastic processes in liquid water and analytical theory of the complex permittivity in the wavenumber range 0-1000 cm⁻¹ [Text] / VI Gaiduk, JK Vij // J. Phys. Chem. - 2003. - Vol. 3. - P. 5173-5181.
32. Sinitsyn N. I. Special role of "MM-wave - water environment" in nature [Text] / N. I. Sinitsyn, V. Petrosyan, in .a. Elkin // Biomedical electronics - 1998. - №1. - P. 13-15.
33. The special role of the "Millimeter wave - water environment" in nature [Text] / N. I. Sinitsyn [et al.] // Biomedical electronics. - 1999. - №1. - P. 3-21.
34. Water, paradoxes and the greatness of the small quantities [Text] / VI Petrosyan [et al.] // Biomedical electronics - 2000. - №2. - P. 4-9.

35. Michaelson, S. M. Microwave and radiofrequency radiation [Text] / S. M. Michaelson // *Non-ionizing radiat. prot.* - Copenhagen. - 2000. - P. 107-114.
36. Frei, M. R. Field orientation effects during 5.6 GHz radiofrequency irradiation of rats [Text] / M. R. Frei, J. R. Jauchem, D. L. Price // *Aviat. Space and Environ. Med.* - 2000. - Vol. 61., №12. - P. 1125-1129.
37. Betsky, O. V. Activation of water and aqueous solutions of low-intensive millimeter waves [Text] / O. V. Betsky, N. N. Lebedev, S. V. Posmitnogo // *Coll. rep. 12 Ross. Symp. with int. participation. "Millimeter waves in biology and medicine."* - M.: IRE - 2000. - P. 128-132.
38. Interaction of water-based fluids with magnetic fields [Text] / V. Petrosyan, N. I. Sinitsyn, V. A. Elkin // *Bashkatov biomedical electronics.* - 2000. - №2. - P.10-17.
39. Maintaining a matrix structure of water - a key mechanism in the homeostatic regulation of living systems [Text] / E. Brill, V. Petrosyan, N. I. Sinitsyn, V. A. Elkin // *biomedical electronics.* - 2000. - №2. - P.18-23.
40. Jutilainen, J. Biological effects of nonionizing electromagnetic fields - a hypothetical model [Text] / J. Jutilainen // *Environmental health our meant and health*, Nov. 25-27, 2000. - Kuopio, - 2002. - P. 90-112.
41. High Energy Electron Beam Irradiation of Water, Wastewater and Sludge [Text] / Charles N. Kurucz, Thomas D. Waite, William J. Cooper, Michael J. Nickelsen // *Advanced in Nuclear and Technology.* - 1991. - №22. - P. 1 - 39.
42. Swicord, M. L. Strong interaction of radiofrequency fields with nucleic acids [Text] / M. L. Swicord, P. Czerny, Y. S. Edwards // *Nonlinear electrodynamics in biological systems.* - 1983. - №11. - P. 35-57.
43. Belyaev, I. Ya. Cooperative response of E.coli to the resonance effect of millimeter waves at super low intensity [Text] / I. Ya. Belyaev // *Electro magnetobiol.* - 1994. - V.13 - P. 18-23.
44. Geyringer, P. Grouwater Remediction by Ozone: Electron Beam Irradiation Treatment [Text] / P. Geyringer // *Confron advanced Oxidation Technologies for Water and Remediation.* - London, Ontario, Canada, June 25-30, - 1994. - P. 130.
45. Adler, R. J. Comparison of DC and Pulsed Beams for Comercial Application [Text] / R. J. Adler // *North Star Research Corporation: Beams 94. Proc. Of the 10-th Intern.Conf. on High Power Particl. - Beams*, June 20-24, 1994. San Diego.CA V1, P. 29 -32.
46. Antipov, V. S. Impulse electron gut with plasma cathode for realization of large diameter tube-shaped beams [Text] / V. S. Antipov, V. I. Karpukhin, E. A. Kornilov // *Voprosy atomnoy nauki i tehniki.*, Issue. - 1999. - Vol. 3, №4. - P. 215 - 217.
47. Romo, H. Membrane potential changes in a plant cell induced by low intensity mm microwave [Text] / H. Romo, K. Alveal, C. Werlinger // *J. Appl. Phycol.* - 2001. - V.13. - P. 1081-1085.
48. Atomic radius [Text] / The University of Sheffield and WebElements Ltd [Electron resource]. - 2003 Access mode: www.webelements.com.
49. Atkinson, DE Cellular energy metabolism and regulation [Text] / DE Atkinson // *Academic Press, Inc.*, New York, 1977. - 156 p.
50. Ronne, C. Investilation of the temperature dependence of dielectric relaxation in liquid water by THz reflection spectroscopy and molecular dynamics simulation [Text] / C. Ronne, L. Trane, H. Astrand // *J. Chem. Phys.* - 1997. Vol. 107, №14. - P. 5319-5332.
51. Zoidis, E. Far-Infrared Studies on the Intermolecular Dynamics of Systems Containing Water [Text] / E. Zoidis, J. Yarwood, M. Beshard // *J. Chem. Phys.* - 1999. - Vol. 103, №2. - P. 2220-2224.
52. Mechanisms of electromagnetic interaction with cellular systems [Text] / W. Grundler, F. Kaiser, F. Keilmann, J. Walleczek // *Naturwissenschaften.* - 2002. - V.79. - P. 551-559.
53. Dibrov, P. Sodium cycle in *Vibrio cholerae*: nerazgadonnye puzzles. [Text] / P. Dibrov // *Biochemistry.* - 2005 - T.70, issue 2. - S. 185-190.
54. Zoidis, E. The Intermolecular Dynamics of Systems Containing Water [Text] / E. Zoidis // *J. Chem. Phys.* - 2000. Vol. 104, №1. - P. 2218-2223.
55. Interaction of physical fields with living matter [Text] / E. I. Nefedov, A. A. Protopopov, A. N. Sementsov, A. A. Yashin // *Ed. Hadartseva A. A. - Tula: RDI NMT, Ed - in Tula. Gos. research -*, 1995. - P. 180
56. Serdyuk, A. M. Interaction organism with electromagnetic fields as the environmental factors [Text] / A. M. Serdyuk. - K.: Naukova Dumka, 1997. - P.226
57. Loshchilov V. I. Information - wave medicine and biology [Text] / V. I. Loshchilov. - M. Allegro-Press. - 1998. - P.226
58. Kudryashov, Yu. B. Biological bases of action of microwaves (Tutorial) [Text] / Yu. B. Kudryashov, S. E. Ismailov, S. M. Zubkov. - Moscow: State Univ. University Press, 2002. - P.159
59. Sitko, S. P. Introduction to Quantum Medicine [Text] / S. P. Sitko, L. N. Mkrtychyan. - K.: Pantheon, 2004. - P.147
60. Devyatkov, N. D. Features medico - biological use of millimeter waves [Text] / N. D. Devyatkov, M. B. Golant, O. V. Betsky. M: Publishing - in IRE RAS, 1994. - P. 164
61. Beloborodov, N. V. Homeostasis small molecules of microbial origin and its role in the relationship of microorganisms with the host [Text] / N. V. Beloborodov, G. A. Osipov // *Vestn. RAMS.* - 1999. - in., № 7. - P. 25 - 31.
62. Tambov, A. H. Some new ideas about the causes of the formation of the stimulating effect of EHF - radiation [Text] / A. H. Tambov, N. N. Kirikova // *Biomedical electronics.* - 2000. - №1. - P.23 -26.
63. Influence electromagnetic fields on water systems and the process of cultivation of microorganisms [Text] / V. Popov, B. S. Xenophon, Ya. Ya. Shkop, P. A. Smyslov // *Episode 11: General microbiological industry.* - MA - 2003 - B.5. - P.24.
64. Some issues of interaction of electromagnetic radiation of extremely range and homeopathic drugs with biological systems [Text] / E. P. Lyapina, I. A. Chesnokov, Yu. Yu. Eliseev, A. A. Shuldyakov // *Biomedical technology and electronics.* - 2004. - №11. - P. 65-76.

65. Duscombe, P. B. A search for nonthermal effects of 434 MHz microwave radiation on whole human blood [Text] / P. B. Duscombe, K. Gammampila, N. W. Ramsey // Radiation research. - 2003. - №96. - P. 235-250.
66. Pohl, A. Natural alternating fields associated with living cells [Text] / A. Pohl // Int. J. Quantum Chem., Quantum Biol. Symp. - 2004, № 11: Proc. Int. Symp. Quantum Biol. P. 121-134.
67. Stuchly, M. A. Fundamental of the interaction of radiofrequency and microwave energies with matter [Text] / M. A. Stuchly // Biol. eff. and dosim. nonioniz. radiat. : Proc. NATO Adv. Study Inst. 4-th course Int. Sch. Radiat. Damage and Prot. Ettore Majorana Cent. Sci. Cult. Erice, 28 March - 8 Apr., 2001. - New York, London, - 2003. - P. 75-93.
68. Cleary, S. F. Microwave radiation effects on humans [Text] / S. F. Cleary // Bioscience. - 2003. - Vol.33, №4. - P. 269-273.
69. Roberts, N. J. Epidemiological studies of human exposure to radiofrequency radiation. A critical review [Text] / N. J. Roberts, S. M. Michaelson // Int. Arch. Occup. Environ. Health. - 2005. - V. 56, №3. - P.169-178.
70. Roberts, N. J. The biological effect of radiofrequency radiations: A critical review and recommendation [Text] / N. J. Roberts, S. M. Michaelson, Shin Tsu Lu // Intern. J. Rad. Biol. - 2005. - V. 45, №1. - P.196-209.
71. Roberts, N. J. Radiofrequency and microwave effects on immunological and hematopoietic systems [Text] / N. J. Roberts // Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation Radiofrequency and Microwave Energies: Proc. NATO 28 March - 8 Apr. 2001. - Erice, 2003. - P. 429-459.
72. Resonance effect of millimeter waves in the power range from 10-19 to $3 \cdot 10^{-3}$ W / cm² on E.coli cells at different concentrations [Text] / I. Ya. Belyaev, V. S. Sheglov, Y. D. Alipov, V. A. Polunin // Bioelectromagnetics. - 1996. - V.17, № 3. - P. 112-116.
73. Cleary, S. F. Biochemical effects of pulsed electromagnetic fields [Text] / S. F. Cleary, N. Cheng, M. A. Stuchly // Bioelectrochem. Bioenerg. - 2001. - V.19. - P. 2241-2247.
74. Adey, W. R. Millimeter microwave effect on ion transport across lipid belayed membranes [Text] / WR Adey // Bioelectromagnetics. - 1995. - V.16 - P. 124-131.
75. Cheng, N. Biochemical effects of pulsed electromagnetic fields [Text] / N. Cheng // Bioelectrochem. Bioenerg., - 1998. - V.4. - P. 2238-2241.
76. Grundler, W. Experimental evidence for coherent excitation correlated with cell growth [Text] / W. Grundler, F. Kaiser // Nanobiology. - 2002. - V.1. - P. 163-176.
77. Pohl, Herbert A. Natural alternating fields associated with living cells [Text] / Herbert A. Pohl // Proc. Int. Symp. Quantum Biol. Palm Coast, Fla, March 12-15, 2004. - P. 367-368.
78. Blinowska, K. J. Membranes as a Possible Site of Frolics Coherent Oscillations [Text] / K. J. Blinowska, W. Lech, A. Wittlin // Phys. Letters. - 2005. - Vol. 109A, №3. - P. 124-126.
79. Berzhanskite, L. Yu. Effect of electromagnetic radiation of EHF on bioluminescence bacteria / L. Yu. Berzhanskite, O. Beloplotova, V. N. Berzhanskite // Millimeter waves in biology and medicine. - 1993. - №2. - P. 15-18.
80. Berzhanskite, L. Yu. Effect of electromagnetic fields on the activity of bioluminescence in bacteria [Text] / L. Yu. Berzhanskite, V. N. Berzhanskite, O. Beloplotova // Biophysics. - 1995 - T.40. - P. 25-27.
81. Drokina, T. V. Action millimeter electromagnetic waves on the luminescence of bacteria [text] / T. Drokina, L. Popova // Biophysics. - 1998 - T.43. - Vol.3. - P. 522-525.
82. Gostels, H. Beziehungen Zwischen Witterungsablauf physikalisch-chemischen Reaktionen. Unter Besonderer Berücksichtigungeigener mikrobiologischer Versuchsergebnisse [Text] / H. Gostels // Naturwissenschaften / - 1995. - V.121 – S.165-178.
83. Cleary, S. Microwave measurement techniques [Text] / S. Cleary // Non-ionizing radiation: Proceed. of a topical symp. - Nov. 26-28. - 1999. - Washington, Dc. - Cincinnati, Ohio OH 45201. - 2000. - P. 71-74.
84. William, M. Genetic, growth and reproductive effects of microwave radiation [Text] / M. William // Bulletin of the New York Academy of Medicine. - 2000. - V. 56, №2. - P. 249-253.
85. Adey, W. R. Tissue interaction with no ionizing electromagnetic fields [Text] / W. R. Adey // Physiol. Rev. - 2001. - Vol.61, № 2. - P. 435-514.
86. Millimeter waves and photosynthetic organisms [Text] / A. H. Tambiev [et al.] / Ed. V. Gulyaev and A. H. Tambieva. - M.: Radio Engineering, 2003. – P. 175
87. Lukyanov, A. A. Stimulatory effect of electromagnetic radiation of EHF in the actinomycetes [Text] / A. Lukyanov, A. Likhachev // Intern. Conf. : New information technologies in medicine and ecology. - Crimea (Yalta-Gurzuf). - 2001. - P. 63-65.
88. Tambo, A. H. Application active frequencies of electromagnetic radiation in the millimeter and centimeter range in microbiology [Text] / A. H. Tambov, N. N. Kirikova, A. A. Lukyanov // High Tech. - 2002. - №1. - P. 26-33.
89. Devyatkov, N. D. The role of synchronization in the impact of the weak signals of millimeter wave on living organisms [Text] / N. D. Devyatkov , M. B. Golant, A. Tager //Non-thermal effects of millimeter wave radiation on biological objects . - M.: IRE, 2003. - P.7 - 17.
90. Golant, M. B. On the problem of resonance action of coherent electromagnetic radiation of millimeter wave on living organisms [Text] / M. B. Golant // Biophysics. - 1989. - T.XXXIV, №2. - P. 339-348.
91. Betsky, O. V. Electromagnetic Waves and living organisms [Text] / O. V. Betsky, N. D. Devyatkov, V. V. Kislov // Radio engineering. - 1996. -№9. - P.89-92.
92. Shub, G. M. Electromagnetic radiation of microorganisms [Text] / G. M. Shub [et al.] // Biomedical electronics. - 2000. - №2. - P.58-60.
93. Akopyan, V. B. Based on interaction with biological objects of ultrasound: Ultrasound in medicine, veterinary medicine and experimental biology [Text] / V. B. Hakobyan, Yu. Yershov. - M.: MSTU. Bauman, 2005. – P. 224
94. Bergman L. Ultrasound and its application in science and engineering [Text] / [Trans. to it.] // Edited by V. S.

- Grigorieva and L. D. Rosenberg. - M.: Publishing House of foreign lit-ry, 1957. – P. 726
95. Antusheva, T. I. Some features of the influence of ultrasound on microorganisms [Electronic resource] / T. I. Antusheva // *Living and biokosnye system*. - 2013. - № 4. - <http://www.jbks.ru/archive/issue-4/article-11>
96. Forty, SA Influence of acoustic waves on biological objects [Text] / SA // *Forty vibration in engineering and technology*. - 2005. - № 1. - P. 39-41.
97. Elpiner, I. E. Biophysics ultrasound [Text] / I. E. Elpiner. - M.: Nauka, 1973. – P.384
98. Perelman M. I. Bactericidal action of ultrasound [Text] / M. Perelman, V. S. Moiseev // *Problems of technology in medicine*. - Taganrog, 1980. - P. 38-41.
99. Weissler, A. Formation of hydrogen peroxide by ultrasonic waves: free radicals [Text] / A Weissler // *J. Am. Chem. Soc.* - 1959. - Vol. 81. - P. 1077-1081.
100. Baklanov, A. N. Sonoluminescence in chemical analysis (review) [electronic resource] / A. N. Baklanov, F. A. Chmilenko // *Methods and objects of chemical analysis*. - 2006 - Vol. 1, № 2. - P. 105-107. Access mode: http://www.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/moca/2006_2008/pdf/
101. Gainetdinov, B. C. Multibubble sonoluminescence of aqueous solutions, chlorides, lantionidov [Text]: Author. Dis. ... Cand. Sci. Science / Gainetdinov Renat Huseynovich; Bashkir State. Univ. - Ufa, 2006. – P. 22
102. Ponomarenko G. N. Biophysical basics of physiotherapy [Text] / Ponomarenko - St. Petersburg. "MMA", 2003. - P.152
103. Zyatikov V. N. RETON. Ultrasound therapy [Text] / V. N. Zyatikov - Tomsk, 2010. – P. 138
104. Filonenko, E. A. Simulation of thermal processes in biological tissues under the influence of focused ultrasound. / E. A. Filonenko, V. A. Khokhlova // *Bulletin of Moscow University. Series 3. Physics, astronomy* - 1999. - №6. - P. 29-30.
105. Dison, M. The effect of pulsed ultrasound on tissue regeneration [Text] / M. Dison, J. Pond // *Physiotherapy*. - 1978. - Vol. 64, № 4. - P. 105-108.
106. Shilyaev, A. Ultrasound in science, engineering and technology [Text] / A. Shilyaev - Gomel Institute of Radiology, 2007. – P. 41
107. The physical basis for the use of ultrasound in medicine and ecology: Manual [Text] /, ed. Ed. prof. S. P. Kundas. - Minsk: ISEU. A. D.Saharova, 2009. – P. 110
108. Moshiazhvili, I. Y. Electron study of the morphology of pertussis bacteria, sonicated [Text] / I. Y. Moshiazhvili, S. N. Selezneva, S. L. Sandulova // *Journal. microbe., epidemiological. and immunobiology*. - 1969. - № 6. - P. 126-128.
109. Isayenko, E. Y. The use of ultrasound for disintegration of microbial cells [Text] / E. Y. Isayenko // *Annals of Mechnikov Institute*. - 2008. - №1. - P. 5-9.
110. Shaphaev, E. G. Basics biotechnology. The disintegration of the microbial cells [text] / E. G. Shaphaev, B. J. Tsyrenov, E. I. Chebunina. - Ulan-Ude, 2005. – P. 65
111. Demin, I. Y. modern acoustic research methods in biology and medicine (educational materials) [electronic resource] / I. Y. Demin, N. V. Pronchatov-Rubtsov // Lectures. - 2013 Access mode: <http://www.unn.ru/pages/issues/aids/2007/37.pdf>
112. Harvey, E. N. High Frequency Sound Waves of Small Intensity and Their Biological Effects [Text] / E. N. Harvey, A. L. Loomis // *Nature* - 1928. - № 121 - P. 622.
113. Harvey, E. N. High Speed photomicrography of Living Ceel Subjected to the Supersonic Vibration [Text] / E. N. Harvey, A. L. Loomis // *Journ. Gen. Physiol.* - 1931. - № 15 - P. 147.
114. Pearce, J. F. Effect of ultrasound on biological properties of enteric bacteria. Post IT. Change of biochemical properties and antigenic structure of Shigella and Salmonella under the influence of ultrasound [Text] / J. F. Perce, L. G. Zhdanov // *ZHMEI*. - 1964. - № 3. - P. 27-30.
115. Sidorov, M. A. On the action of ultrasound on some pathogenic anaerobic and aerobic microorganisms [Text]: Author. Dis. ... Cand. vet. Sciences. / Sidorov, Mikhail Abramovich; All-Union. Acad. agricultural Sciences them. Lenin. All-Union. Institute of Experimental. veterinary medicine. - M, 1964. – P.24
116. Kiryushchenkova, S. V. Comparative microbiological evaluation of the effectiveness of physical methods of treatment of purulent wounds [Text]: Dis cand. biol. Sciences - 03.00.07 / Kiryushenkova Svetlana; GOU VPO "Moscow Medical Academy." - M., 2005. – P. 168
117. Bartley, J. Ultrasound as a treatment for chronic rhinosinusitis [Text] / J. Bartley, D. Young // *Med. Hypotheses*. - 2009. - V.73, № 1. - P.15-17.
118. Mishina, M. Effects of ultrasonic radiation generated in biofilms and their capacity for forming S.aureus [Text] / M. Mishina // *Annals of Mechnikov Institute*. - 2012. - N 3. - P. 33-36.
119. Mozgova, A. Study of ultrasonic radiation on the ability to form biofilms and biofilm formed in Klebsiella pneumoniae [Text] / A. Mozgova // *Annals of Mechnikov Institute* - 2012. - N 3. - P. 37- 40.120. Patent for Utility Model 81485 Ukraine, IPC G01N21 / 01. Method of evaluating the effectiveness of low-intensity ultrasound radiation exposure to the destruction of primary biofilms and prevention of the formation of secondary biofilms by microorganisms [Text] / Davydenko V. B., Davydenko N .V., Paschenko Yu.V., Mishina M. M., Mishin M. Yu., Katasonov Yu.O., Dubovik O. S., Kharkiv National Medical University. - № u2013 02,375, Appl. 25.02.2013, Publ. 06.25.2013, Bull. Number 12.
120. Sabelnikova, T. M. Joint effect of ultrasound and antiseptic for pyogenic bacteria [Text] / TM Sabelnikova, VV Cherkashin, AM // *Ultrasound sexual and other forms of energy in surgery: Proceedings of the Moscow Higher Technical School. NE Bauman*. - 1980. - № 319. - P. 59-63
121. Toporov Y. A. Biological effect of ultrasound on microorganisms [Text] / Y. A. Toporov, Igor Shepelev, V. M. Melnikov // *Ultrasound and other forms of energy in surgery: Proceedings of the Moscow Higher Technical School. N. E. Bauman*. - 1980. - № 319. - P. 120-123.
122. Isayenko, O. biological characteristics antigens B. pertussis, selected using ultrasonic disintegration [Text]: Author. Candidate of med. science: 03.00.07 / Isaenko

Elena: SI "Institute of Microbiology and Immunology them. Mechnikov NAMS". - Kharkiv, 2010. –P. 19

123. The biological characteristics of the causative agent of diphtheria antigens isolated using physicochemical methods [Text] / I. V. Elisha [et al.] // *Annals Mechnikovskoho Institute*. - 2008. - № 3. - P. 25-31.

124. Biochemical composition diphtheria pathogen antigenic preparations obtained in different modes of ultrasound exposure / E .M. Babich [et al.]. // *Scientific-practic. Conf. "The strategy and tactics of fighting infectious diseases"*: Abstracts - Kharkiv, 2012. - P. 55-56.

125. Smerdov, A. A. Effect UHF radiation intensity of metabolism in seeds [Text] / A. A. Smerdov, S. I. Volkov, A. A. Landar // *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy* - 2008. - № 2. - P.172-174.

126. Boyko, M. Ultrasound Study of the kinetics of extraction of biologically active substances of plant material [Text] / M. Boyko, Zaitsev AI / *Ukrainian Journal of Clinical and Laboratory Medicine*. - 2008. - T 3, № 3. - P. 53-55.

127. Consider modifying diphtheria exotoxin using physical and chemical factors [Text] / E. M. Babich [et al.] // *XV Congress of Rus. scientific-medical. LTD. microbiologists, epidemiologists and Parasitologists them. Zabolotny: abstracts*, Kharkiv, 2011. - P.83.

128. Effect of factors on specific activity and safety of derivatives of diphtheria toxin [Text] / S. V. Kalinichenko [et al.] // *Epydemology, ecology and hyhyen conf.* - Kharkov, 2011. - Part 2. - P. 119-124.

129. Zubchenko, V. S. Effect of ultrasonic treatment on the stability of fermented beverages [Text] / V. S. Zubchenko, O. P. Windmill, L. Tkachenko // *Food Industry*. - 2008. - №7 - P.51-53.

130. Thomas, J. Montville. *Food Microbiology: an Introduction* [Text] / Thomas J. Montville, Karl R. Matthews, and Kalmia E. Kniel. // *Third Edition ASM Press*. - 2012. – P. 570

131. Dreyden A. I. Use of ultrasound [electronic resource] / A. I. Dreyden - 2009 - Access mode: <http://www.rezonans-npk.ru>

132. Voytovych, A. Characterization of microbiota nasal mucosa rights under anthropogenic load [Text] / E. V. Voytovych // *XIII Congress comrade. Microbiologists of Ukraine*. S. M. Winogradsky: Theses. - Yalta, 2013. - P. 236.

133. Guy, A. W. *Biological Effects of Electromagnetic Radiation : Medical Applications at Sub-Microwave Frequencies* [electronic resource] / Arthur W. Guy, FELLOW // *IEEE Global histori network* – 2013. Access mode: <http://www.ieeeghn.org/wiki/index.php>

UDK 57.04:[537.868+534-8]:579.262

BIOPHYSICAL CHARACTERIZATION OF THE IMPACT OF ELECTROMAGNETIC AND ULTRASONIC WAVES ON BIOLOGICAL OBJECTS

Kalinichenko S.V., Antusheva T.I., Korotkykh O.O., Babych E.M. Kivva F.V., Kovaneko O.I., Ryzhkova T.A., Balak A.K.

In recent years the physical mechanisms of action of electromagnetic fields on biological objects are actively studied. Extensive research about the effect of weak

electromagnetic waves on biological objects were launched in the second half of the 60-ies of XX century. It has been suggested that the millimeter waves to biological objects are natural and are used by cells to control basic physiological functions. This review is summarizes the data of foreign and domestic literature related to influence of electromagnetic and ultrasonic waves on biological objects. The concepts of sound waves and electromagnetic field are sanctified. Several hypotheses and points of view of mechanisms of action of microwave radiation on biological objects were discussed in details. One of the hypotheses suggests that the acoustic vibrations of extremely power range can stimulate the cell plasma membrane. Other hypothesis of the mechanism of influence weak signals on biological systems are associated with the discovery of the phenomenon of stochastic resonance. It is assumed that the initiation of acoustic-electrical waves in the lipid-protein membrane of the cell activates the transport of water, ions and various substances through it. The data about the effect of electromagnetic millimeter waves on photosynthetic organisms have been summarized by several scientists. They established that exposure in the microwave range is realized on the membrane level and is connected with the change of oscillation spectrum. Peculiarities of influence of ultrasonic waves on microorganisms and cell membranes have been analysed. Scientists have discovered that detonation of dichloride nitrogen takes place under the influence of ultrasonic waves. Dichloride nitrogen causes breakdown of protein particles. Cavitation effect is one of bactericide action of ultrasonic waves. The mechanism of action of ultrasonic waves in the literature is explained by two theories: cavitation-mechanical, cavitation-electrochemical. According to the first theory of ultrasonic waves propagating in a dense environment, causing it to alternating compression and decompression. Cavitation-electrochemical theory explains the ionization liquid vapor and the presence in it gases in the formation of cavitation bubble. An electric discharge occurs at break bubbles. The electrical discharge accompanied by a sharp rise in temperature and in the formation of cavitation bubble electric high voltage charge. Then the vapor of the liquid and high molecular weight compounds in the cavitation chamber are split into hydrogen and hydroxyl groups with formation of active oxygen, hydrogen peroxide, nitrous acid and nitric acid, resulting in inactivation of enzymes and proteins coagulate. All this causes the death of microbial cells. As well ultrasonic vibrations can be used to initiate chemical reactions, the commission of a number of new methods of synthesis and accelerate the slow reactions in organic systems. One of the actions of the ultrasonic waves on microorganisms is a change of concentration various substances in the cytoplasm due to a change of the equilibrium concentration of substances inside and outside the cell. It was found that the effects can be different. On the one hand, researchers observed an increase in the agglutination and the loss or total loss of virulent bacteria. On the other hand there was opposite effect - increasing the number of viable cells. Application of ultrasound in medical microbiology is theoretically proved in this article. Ultrasonic techniques in microbiology used not only as an

effect on biological objects and the ability to change the physico-chemical characteristics of substrates for culturing microorganisms. Application of such techniques is important for controlling the composition of artificial culture medium, in particular the concentration and the activation of molecular oxygen by ultrasonic degassing culture medium.