

ОСОБЛИВОСТІ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕРАГЕРЦОВИХ ХВИЛЬ
В БІОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНІ

Мельник Є.Т., Яненко О.П.

Розглянуті біологічні ефекти терагерцових хвиль та способи їх використання в біології та практичній медицині.

Вступ

В останнє десятиліття увага вчених звернута на дослідження впливу хвиль терагерцового (ТГ) діапазону на фізичні та біологічні середовища. Це пов'язано з певними властивостями цих хвиль, що проявляються при їхній взаємодії з різними біотканинами. [1,2]. ТГ діапазон охоплює частоти від 100 ГГц до 10 ТГц (у довжинах хвиль - від 3 мм до 30 мкм). Знизу він визначений частотно-часовим обмеженням (від 100 ГГц і вище) електронних переходів у напівпровідникових структурах, а зверху – максимальною довжиною хвилі квантових переходів лазерних структур. Таким чином, цей діапазон містить у собі короткохвильову частину ММ-діапазону, весь субміліметровий і дальній (довгохвильовий) ІЧ-діапазони довжин хвиль. Вже в перших експериментальних дослідженнях було показано, що біологічні ефекти як в ММ так і в ТГ-діапазоні хвиль проявляються при малих значеннях потужності опромінювання $\sim 10^{-6} \div 10^{-12}$ Вт/см² [3].

Розглянемо кванти енергії КВЧ і ТГ діапазонів з позицій спектрально-молекулярних взаємодій речовини й електромагнітного поля. Максимальна енергія кванта $h\nu$ в НВЧ-діапазоні становить $1,17 \cdot 10^{-3}$ еВ, а в ТГ вона на два порядки більше ($\sim 10^{-1}$ еВ). Нижче енергії кванта у НВЧ-діапазоні виявляються: енергія обертання молекул навколо зв'язків ($10^{-4} + 10^{-3}$ еВ), енергія куперівських пар при надпровідності ($10^{-6} \div 10^{-4}$ еВ) і енергія магнітного впорядкування ($10^{-8} + 10^{-4}$ еВ). У ТГ діапазоні частот енергія кванта відповідає енергії коливальних переходів молекул ($10^{-2} + 10^{-1}$ еВ). Частотні діапазони спектрів ряду газів перебувають між короткохвильовою частиною НВЧ діапазону й довгохвильовою – терагерцового діапазону. У ТГ діапазоні найбільший вплив на поглинання електромагнітних хвиль чинить вода пара, що має близько 900 інтенсивних ліній поглинання.

Біофізичні ефекти хвиль терагерцового діапазону

В останній час з'явився ряд публікацій про взаємодію сигналів терагерцового діапазону [1-5] з біооб'єктами та складовими їх структур.

Експериментальні і теоретичні дослідження відмічають наступні біологічні ефекти подібних хвиль:

- *сильне поглинання ММ-випромінювання водою і водними розчинами як органічних, так і неорганічних речовин. При опроміненні шкіри сигнал мм-хвиль практично повністю поглинається епідермісом шкіри товщиною*

0,5–1 мм. Тобто першими піддаються впливу ТГ-хвиль поверхневі анатомічні структури шкіри – рецептори, капіляри, рідкі розчини органічних і неорганічних речовин.

- *зміна метаболізму мікроорганізмів.* ТГ-хвилі активно впливають на процеси життєдіяльності. В результаті опромінення мікроорганізми стають продуцентами біологічно активних речовин, що знайшло застосування в різних біотехнологічних процесах.

- *синтезу аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ).* Збільшення синтезу АТФ під дією ТГ-хвиль має вирішальне значення в життєдіяльності організму, що знаходить непряме підтвердження в лікарській практиці (нормалізація процесів життєдіяльності хворого організму), а також в експерименті (підвищення синтезу біологічно активних речовин).

- *конвективний рух рідини в об'ємі і тонких шарах.* Під дією хвиль ТГ діапазону у внутрішньо- і міжклітинній рідині може виникнути складний конвективний рух, що призводить до більш активного переносу речовин і електричних зарядів через мембрани.

Розглядаючи біофізичні властивості хвилі ТГ-діапазону, необхідно відзначити їхні особливості взаємодії з фізичними й біологічними середовищами. Зупинимося на основних середовищах, у яких відбувається еволюція живих об'єктів – повітрі й воді. Як відомо, вода є самим сильним поглиначем короткохвильового електромагнітного випромінювання, причому поглинання росте зі збільшенням частоти. Так, наприклад, поглинання ММ-хвиль плоским шаром води товщиною в 1 мм при довжині хвилі $\lambda = 8$ мм становить 20 дБ, а при $\lambda = 2$ мм – 40 дБ; при зміні частоти від 30 до 150 ГГц поглинання збільшується на 20 дБ, а в діапазоні від 0,1 ТГц (100 ГГц) до 0,5 ТГц (500 ГГц) – майже на 40 дБ. ТГ-випромінювання вільно проходить через папір, дерево, деякі будівельні конструкції, пластики, кераміку, а також через верхні шари шкіри й одяг людини. У ряді європейських країн «екологічно чисті» терагерцові хвилі використовуються для просвічування пасажирів і вантажу в аеропортах замість шкідливих для здоров'я рентгєнівських хвиль. Наведені вище властивості ТГц-хвиль роблять їх привабливими й для ряду інших областей застосування. У зв'язку із цим можна лише відзначити, що зараз спостерігається підвищений інтерес (справжній бум) фахівців до освоєння й застосування цих хвиль.

Аналіз електродинамічної моделі взаємодії електромагнітних хвиль і біологічно активних точок (БАТ) у процесі акупунктури дає підставу для припущення про те, що прийом і передачу електромагнітних хвиль через канали БАТ можна ефективно здійснити в діапазоні частот від 0,5 ТГц до 1000 ТГц (1 ТГц). Розвиваючи цю думку, можна припустити також, що в реалізації лікувальних ефектів при тепловипромінюванні беруть участь не тільки теплові інфрачервоні хвилі, але й ТГ-хвилі як від самого джерела ІЧ-випромінювання, так і хвилі атмосферного походження.

Відомо, що практично всі біологічні структури мають власні резонансні частоти, на які вони відкликаються, якщо ці частоти збігаються із частотами зовнішнього електромагнітного поля. Діапазон цих частот дуже широкий й охоплює область на шкалі електромагнітних хвиль від наднизьких частот до частот, що розділяють іонізуючі й неіонізуючі випромінювання ($\lambda \sim 200\text{нм}$). Так, у НВЧ-діапазоні ці частоти лежать в області обертального руху молекул. У терагерцовому діапазоні знаходяться резонансні частоти деяких біологічних структур організму й живої клітини. Так, соматична клітина ссавців має резонансну частоту 2,39 ТГц, хромосоми різної генної активності – 0,75-15 ТГц. Розрахунок показує, що резонансні частоти альвеол легенів перебувають у діапазоні 0,3-0,5 ТГц, а еритроцити крові – 0,5-1 ТГц. Взаємодія ЕМВ на цих частотах із зазначеними біологічними структурами викликають зміни в ДНК тимоцитів пацюків лінії "Вістар", впливають на процеси скручування ДНК залежно від напрямку кругової поляризації зовнішнього поля та інші ефекти.

Аналіз електродинамічної моделі взаємодії електромагнітних хвиль й атмосферного повітря в дихальній системі показує, що при молекулярному порушенні атмосферного повітря в ТГц-діапазоні частот може істотно (на порядок) підвищитись ефективність лікувальних процедур у випадку застосування аеротерапії.

Необхідно відзначити також, що в ТГц-діапазоні перебуває значна частина електромагнітного реліктового випромінювання, відкритого в середині 60-х років минулого століття, яке має значний вплив на виникнення життя та еволюцію на планеті Земля.

Застосування терагерцових хвиль

Зараз до ТГц-діапазону електромагнітних хвиль привертається значна увага фахівців різних наукових і технічних дисциплін: астрономії, біології й медицини, фармацевтики й харчових виробництв, матеріалознавства, радіозв'язку усередині приміщень (*in door communication*), радіолокації й радіонавігації криміналістики й т.д. Є повна підстава вважати, що біотропні параметри ТГц-хвиль дозволять створити прилади для контролю старіння лікарських препаратів, якості харчових продуктів, а також для визначення підробок і небезпечних домішок у цих технологічних процесах. Судячи з рекламних матеріалів ряду великих закордонних фірм, у завершальній стадії перебувають розробки приладів (теравізорів) для визначення наявності вибухових речовин і різних сторонніх предметів при пасажирському контролі в аеропортах, вокзалах, а також відвідувачів місць проведення масових заходів (театрів, кіноконцертних залів, виставок і т.д.). Великі сподівання з освоєнням ТГц-хвиль зв'язують фахівці в області контролю навколишнього середовища (визначення шкідливих домішок в атмосфері, воді, у ближньому космічному просторі й т.д.).

Завдяки використанню ТГц-хвиль можна чекати прориву в ряді медич-

них технологій. Можливо, у найближчий час терагерцові апарати з нешкідливим електромагнітним випромінюванням увійдуть у практику медичної діагностики й зможуть замінити в ряді випадків рентгенівські апарати. Але найбільші надії медичних фахівців пов'язані з лікуванням онкологічних хворих. Оскільки ТГ-хвилі вільно проникають у верхні шари шкіри (аж до м'язових тканин), то з'являється можливість контролювати розвиток недоброякісних процесів на ранніх стадіях. Взагалі в цьому діапазоні відкриваються нові можливості вивчення процесів навіть на рівні живої клітини.

Нарешті, у медичну практику починають впроваджуватися нові методи терапії з використанням ТГ-хвиль: М0 - терапія, НВЧ-акустотерапія й ін. Великий експериментальний матеріал, свідчить, що електромагнітні хвилі ТГ-діапазону здатні чинити вплив практично на всі відомі типи клітин (нервові, м'язові, сполучнотканинні, рецепторні й ін.) у модельних системах будь-якого рівня організації біологічного об'єкта досліджень (одиначні клітини, культура клітин, колонії мікроорганізмів, культура тканини, ізольовані органи, цілісний організм). Тобто, підтверджено вплив цього діапазону на процеси на рівні клітин і клітинних органел.

Висока ефективність використання ТГ-хвиль при лікуванні наступних захворювань: *серцево-судинних* (стабільної і нестабільної стенокардії, гіпертонічної хвороби, інфаркту міокарду); *неврологічних* (больових синдромів, радикуліту, остеохондрозу); *шкірних* (нейродермітів), *гастроентерологічних* (виразки шлунку, гепатитів); *стоматологічних* (пародонтозу, периоститу); *онкологічних* – для захисту кровотворної системи, усунення побічних явищ при хімотерапії, дозволяє сповільнити ріст пухлини, зменшити ступінь метастатичного ураження. Продемонстровано, що електромагнітне НВЧ-випромінювання з низькою інтенсивністю знижує поглинання йоду тиреоїдною тканиною [4]. Це є експериментальним обґрунтуванням використання НВЧ-випромінювання в комплексній терапії інтоксикації радіойодом у якості радіопротекторного впливу.

Англійські фізики навчилися застосовувати терагерцове випромінювання для визначення ділянок тіла, уражених раком шкіри. Такі ділянки важко визначити на око, оскільки 85% ракових клітин лежать в епітелії під поверхнею шкіри. У порівнянні зі здоровими тканинами такі клітини містять більше води, що інтенсивно поглинає випромінювання в діапазоні частот від 100 ГГц до 3 ТГц. Порівнюючи терагерцове випромінювання, відбите різними ділянками шкіри, можна побудувати повну карту зони ураження.

За допомогою терагерцових хвиль проводяться дослідження щодо ідентифікації вірусів як за спектрами поглинання, так і шляхом дослідження динамічних характеристик відгуку на короткі імпульси. Це стало можливим тому, що експериментально і теоретично було доведено, що власні частоти коливання вірусів і деяких конформаційних рухів біомолекул (нукле-

їнових кислот та білків) лежать в терагерцовому частотному діапазоні. Цей ефект планується застосовувати до таких вірусів як бактеріофаг М13, вірус кори, грипу А.

ММ- та ТГ-терапії властиві наступні особливості: неінвазивність, полілікувальний ефект, можливість монотерапії, антистресова дія, імуномодуючий ефект, протибольова дія, дуже добре поєднанням з іншими методами лікування (хімічними, фізіотерапевтичними та ін.) і не має абсолютних протипоказань. На відміну від ліків ТГ-терапія не має побічних ефектів. ТГ-випромінювання не має іонізуючої дії, на відміну, від радіоактивного випромінювання. За допомогою терагерців можна будувати об'ємне зображення структур, наприклад, м'яких тканин, чого не можна зробити в рентгенівському діапазоні. Тому можливим є використання хвиль ТГ-діапазону як альтернативи рентгенівським комплексам при діагностиці захворювань. ТГ-випромінювання знайшло своє застосування, де необхідний неперервний моніторинг живих об'єктів, наприклад, при томографічних дослідженнях.

Біофізичні ефекти хвиль терагерцового діапазону дають підстави і відкривають перспективи розвитку нових напрямків в біомедичних технологіях: «Терагерцова терапія» і «Терагерцова діагностика» [5].

Низкоінтенсивна ТГ-терапія знаходить ширше застосування в медицині як для лікування широкого спектру захворювань, так і в якості профілактичних заходів.

Висновки

1. ТГ-терапія – це фізичний вплив, що забезпечує профілактику і лікування значної кількості захворювань без побічних негативних ефектів. У той же час цей тип випромінювання також сприяє швидшому регенеруванню клітин при опіках та ураженнях.

2. Отримані результати можуть бути покладені в основу при розробці рекомендацій для використання впливу електромагнітного випромінювання в якості лікувальних процедур.

3. Викладені особливості характеристик і біофізичних ефектів терагерцових хвиль дають підставу для продовження досліджень впливу молекулярних спектрів випромінювання й поглинання атмосферних газів ТГ-діапазону частот на живі об'єкти для створення нового перспективного напрямку в медичних технологіях – фізіотерапії, діагностиці й екології, які можна назвати: терагерцова терапія, терагерцова діагностика, терагерцова екологія.

4. Теоретичні й експериментальні дослідження НВЧ-ТГ терапії є фундаментальною основою для розвитку нових медичних технологій. Одним з напрямків таких технологій є спектрально-молекулярна діагностика в широкому діапазоні частот (включаючи терагерцовий) існування молекулярних спектрів випромінювання й поглинання живих об'єктів. У цьому випадку

дку патологія може виявлятися в змінах енергетичних, часових, частотних і просторових структур молекулярних спектрів випромінювання й поглинання біологічних середовищ.

Література

1. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. Применение низкоинтенсивных миллиметровых волн в медицине//Миллиметровые волны в биологии и медицине. 2007. № 1. С. 32–59.
2. Кислов В.В. Терагерцовые волны и их применение / В.В. Кислов, О.В. Бецкий // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: материалы 17-ой Международ. Крым. конф. в 2 т., Севастополь, 10–14 сентября 2007 г. Т.2 С. 771–773.
3. Ситько С.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. Аппаратное обеспечение современных технологий квантовой медицины. – К.: ФАДА ЛТД, 1999. – 200 с.
4. Горбань Е.Н. Клеточные и гуморальные механизмы воздействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения ММ-диапазона на организм//Тр. I междунар. конф. "Современные технологии ресурсоэнергосбережения". Книга 4. Киев, 1997.
5. Бецкий О.В. и др. Биофизические эффекты волн терагерцового диапазона и перспективы развития новых направлений в биомедицинской технологии: «Терагерцовая терапия» и «Терагерцовая диагностика». – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2003, № 12, С. 3–6.

Ключові слова: біофізика, вплив випромінювання на організм, випромінювання в біомедицині	
Мельник Е.Т., Яненко А.Ф.	Melnik E.T., Yanenko A.F.
Особенности и использование терагерцовых волн в биологии и медицине	Features and use of the terahertz waves in biology and medicine
Рассмотрены биологические эффекты терагерцовых волн и способы их использования в биологии и медицине	The biological effects of the terahertz waves and ways their use in biology and medicine are considered

УДК 621.317.7.089

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ БІОЛОГІЧНО АКТИВНОЇ ТОЧКИ НА ПОСТІЙНОМУ ТА ЗМІННОМУ СТРУМІ

Перегудов С.М., Пустова С.В., Яненко О.П.

Проведено дослідження опору біологічно активної точки (БАТ) на постійному і змінному струмі. Зроблено оцінку взаємозв'язку між опором шкіри і електромагнітним випромінюванням в БАТ. Показана можливість використання експериментальної інформації для діагностики стану людського організму.

Вступ. Постановка задачі

Відома велика кількість робіт, в яких стверджується, що вимірювання різних біофізичних параметрів біологічно активних точок (БАТ) дозволяють проводити діагностику захворювань. Серед інструментальних методик найбільше розповсюдження отримали вимірювання електричних параметрів БАТ – опору і ємності як на постійному, так і на змінному струмі [1,2]. Вимірювання опору у визначених точках шкіри з метою діагностування починає свою історію з праць японських дослідників Н.Накатані та К.Акабана. З того часу географія застосування цього методу значно розширилась, метод одержав популярність в інших країнах, наприклад метод Р. Фоля (ФРН). Подібними дослідженнями займається ряд авторських колективів і в нашій країні. Але разом з тим, як метод одержував популярність, виявилось, що його простота вдавана. Такий висновок можна зроби-