

Білобородов О.О.

## МЕХАНІЗМИ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНОГО РАДІОЧАСТОТНОГО ВПЛИВУ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

*У статті досліджується актуальна задача щодо механізмів впливу низькоенергетичного радіочастотного випромінювання на біологічні об'єкти. Механізм впливу високоенергетичного радіочастотного випромінювання пояснюється поглинанням енергії біологічними тканинами, їх нагріванням та подальшим впливом на рецептори організму або термічною зміною фізико-хімічної структури і фізико-біологічних функцій. Експериментально підтверджується чутливість людського організму до низькоенергетичного радіочастотного випромінювання, що активно використовується у медичній практиці. Ефекти реакції на низькоенергетичний радіочастотний вплив найбільш природно пояснюються зміною функціональної активності білків, але енергія квантів низькоінтенсивного випромінювання набагато менша теплової енергії середовища, тому деякі дослідники заперечують взаємодію низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання з біологічними тканинами. Натомість, прихильники теорії інформаційної дії обґрунтовують можливі механізми накопичення енергії, механізми багатофотонних процесів або інших принципів рецепції випромінювання. У статті проведений аналіз біофізичних передумов реакції біологічних об'єктів на вплив низькоенергетичного радіочастотного випромінювання. Розглянуті основні гіпотези рецепції радіочастотного випромінювання різними біологічними утвореннями у складі організму. Погляди на можливі механізми низькоенергетичного радіочастотного впливу умовно розділені на чотири основні класи: резонанс багатоосциляторних систем, вплив на електродинамічні процеси організму, збудження механічних коливань та теорія мікролокальних теплових ефектів. Результати численних дослідження свідчать, що окремі параметри низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання, яке взаємодіє з біологічними рецепторами, несуть біологічно значиму інформацію і викликають зміни в інформаційно-управлінській діяльності підсистем організму. Тому вплив на організм радіочастотного випромінювання низької інтенсивності при певних параметрах, які викликають відгук, називають інформаційним впливом або дією.*

**Ключові слова:** радіочастотне випромінювання, поверхнева густина потужності, біологічний об'єкт, реакція на вплив випромінювання, механізм впливу.

**Актуальність дослідження.** У зв'язку із поширенням різноманітних радіовипромінювальних засобів у світі активно досліджується вплив на людину електромагнітних полів. Занепокоєння суспільства щодо достатності організаційно-технічних заходів обмеження впливу на людину зазначеного небезпечного фактора середовища іноді призводить до протестів проти впровадження нових стандартів обміну даними, а також загальну підозрілість до радіотехнічних засобів. Тому задача дослідження механізмів впливу радіочастотного випромінювання на людину вважається важливою і актуальною.

**Постановка проблеми.** Вплив радіочастотного випромінювання (неіонізуюче електромагнітне випромінювання у діапазоні частот  $3 \cdot 10^3$ - $3 \cdot 10^{11}$  Гц) високої інтенсивності на біологічні об'єкти (БО) підтверджений чисельними медико-біологічними дослідженнями і практикою застосування радіотехнічних засобів, що обумовило нормативне обмеження рівнів впливу на людину [1-3]. Механізм впливу високоенергетичного випромінювання пояснюється поглинанням енергії біологічними тканинами, їх нагріванням та подальшим впливом на рецептори організму або термічною зміною фізико-хімічної структури і фізико-біологічних функцій. Рівнем теплової дії на БО вважають поверхневу густину потоку потужності випромінювання близько 1-10 мВт/см<sup>2</sup> [4; 5], при якому незначне підвищення температури нівелюється або системами терморегуляції БО або природними процесами теплообміну із зовнішнім середовищем.

Також експериментально підтверджена чутливість людського організму до випромінювання з поверхневою густиною потоку від одиниць мкВт/см<sup>2</sup> [6; 7]. Найбільш поширеним експериментальним досвідом дослідження реакції біооб'єктів на низькоенергетичні електромагнітні поля стала медична практика [8-11]. Досліджуються й інші варіанти практичного застосування радіочастотного впливу [12; 13].

У той же час єдиних поглядів на теорію низькоенергетичного радіочастотного впливу на даний час не вироблено, що потребує розгляду біофізичних передумов можливих механізмів рецепції біологічними об'єктами низькоенергетичного радіочастотного впливу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження впливу низькоенергетичного радіовипромінювання виявили резонансний характер реакції БО [14] та більш виражену реакцію на імпульсно модульоване випромінювання [15-20], а також більш виражену реакцію взагалі на стрибки сталого стану електромагнітного поля [21]. Встановлено, що випромінювання низької інтенсивності може зумовлювати як прискорення, так і сповільнення біохімічних реакцій [22]. Значний ефект спостерігається при впливі на живу клітину [23-27]. Спостерігається реакція з боку центральної нервової системи [28; 29], а також інших підсистем організму [3; 30-32].

Часто дослідниками пропонується формалізований підхід щодо представлення макробіологічних утворень організму еквівалентними електричними схемами заміщення [18; 23; 24; 33-36]. Результати зазначених досліджень дозволяють якісно пояснити окремі випадки реакції БО, оцінити діапазон резонансних частот. Але результати прогнозу часто мають суттєвий розкид даних і розбіжності з емпіричними результатами.

Багато досліджень стосуються вивчення вторинних ознак (фізіологічних або медичних наслідків) низькоенергетичного радіочастотного впливу [16; 37-39], не ставлячи за мету вивчення первинних механізмів рецепції.

**Мета статті.** Метою статті ставилось провести аналіз і узагальнити результати досліджень можливих механізмів рецепції біологічними об'єктами низькоенергетичного радіочастотного впливу.

#### **Результати досліджень.**

З точки зору теорії електродинаміки у якості первинних об'єктів рецепції електромагнітного випромінювання можуть виступати молекулярні та мікробіологічні утворення зі складу клітин (або міжклітинних утворень), що являють собою електрично неоднорідні складові біохімічних процесів: іони, поляризовані частини білків, амінокислот, мембран клітин тощо.

Розміри та інерційні властивості об'єктів обумовлюють спектральну неоднорідність характеристик відгуку і широкий частотний діапазон реакцій. Якщо, наприклад, розглядати явище орієнтаційної поляризації, то для молекул води суттєвим буде вплив у діапазоні десятків ГГц, для полярних органічних молекул – від одиниць МГц до одиниць ГГц, для клітин – від десятків кГц.

Ефекти реакції на низькоенергетичний радіочастотний вплив найбільш природно пояснюються зміною функціональної активності білків: біомакромолекул мембран, ферментів, транспортних білків тощо. Зовнішній радіочастотний вплив може змінити рівноважну концентрацію конформаційних станів і тим самим впливати на загальну активність біофізичної системи. Але енергія квантів низькоінтенсивного випромінювання набагато менша теплової енергії середовища, тому деякі дослідники заперечують взаємодію низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання з біологічними тканинами. Натомість, прихильники теорії інформаційної дії обґрунтовують можливі механізми накопичення енергії, механізми багатофотонних процесів або інші принципи рецепції випромінювання. Іншим принципом рецепції низькоенергетичного радіочастотного випромінювання (РчВ) вважають вплив на електродинамічні процеси організму, під якими розуміють динамічні процеси електромагнітної регуляції функцій організму.

Розглянемо найбільш поширені гіпотези.

**1. Резонанс багатоосциляторних систем.** Біологічний об'єкт є складною коливальною системою самоузгоджених режимів. За аналогією з електричними осциляторними системами розглядаються *резонансні теорії рецепції*. Наявність біоефективних частот у цьому випадку пояснюють вимушеним або параметричним резонансом з власними частотами мікрорезонаторів організму [11]. Накопичення енергії у цьому випадку передбачається за рахунок реактивної складової провідності, яка за рахунок зсуву фази призводить до затримки у часі фронту реакції і в багатоосциляторній системі при сумуванні потенційно дозволяє подолати потенційний бар'єр між конформаційними станами.

Фізично у якості багатоосциляторної системи розглядають структури у вигляді ланцюга субодиниць з дисипативними але не пружними зв'язками. При взаємодії такої системи з випромінюванням в окремих складових можуть збуджуватись коливальні моди [6], що будуть накопичуватися до конформаційного переходу [9; 40]. У якості субодиниць найчастіше розглядають як білкові макромолекули так і структурні утворення: водні асоціати, складові біорідин тощо.

За рахунок резонансного поглинання РчВ може змінюватись динамічна рівновага конформаційних станів *білкових молекул* (транспортних, ферментів, кліткових мембран тощо) [41], що призводить до зміни динаміки біохімічних процесів клітин і організму. Збудження у цілому електрично нейтральних макромолекул можливо за рахунок впливу на полярні бічні ланцюги.

*Вода*, хоча за структурою суттєво відрізняється від довгих вуглеводневих молекул, втім грає суттєво важливу роль у динаміці біофізичних процесів. Тому багато дослідників первинним рецептором радіочастотного випромінювання вважають воду [15; 42]. Поглинання водою РчВ через пов'язані із водою високомолекулярні структури започатковує ланцюг реакцій, які призводять до збудження рецепторів. Механізми внутрішнього перетворення енергії низькоінтенсивного РчВ підтверджуються наявністю резонансних відгуків водних розчинів у зміщеному частотному діапазоні [43-47]. За характером реакції на низькоінтенсивний вплив допускаються структурні зміни, що викликаються асоціатами води у біологічних рідинах [15].

Експериментальні дослідження свідчать про вплив РчВ на конвективний рух водних розчинів [42; 48; 49], що може призводити до зміни швидкості мембранних процесів. У діелектричних капілярах спостерігається гострорезонансний ефект зменшення сил тертя між внутрішньою стінкою капіляра і рідиною [50]. Експериментально підтверджується суттєва зміна (зростання) [51] дифузних властивостей водних розчинів під дією низькоінтенсивного РчВ із спектральною і енергетичною залежністю.

*Кластери води*, що утворюються водневими зв'язками, можуть поглинати низькоінтенсивне випромінювання і збільшувати амплітуду складних коливань [52]. Накопичення дозволяє здійснювати перехід між метастабільними станами, або навіть розривати внутрішньомолекулярні зв'язки [53] з утворенням радикалів [54] та гідратованих іонів [55], концентрація яких суттєво впливає на протікання біофізичних процесів.

Під дією РчВ частки можуть набувати дипольних моментів суспендовані частки речовин, мікроорганізмів, лейкоцитів та еритроцитів у біологічних рідинах [5], які називають "*перлинними ланцюгами*". Внаслідок цього

змінюється їх орієнтація, що викликає зміну структури та функцій біорідин або тканин. Експериментальні дослідження підтверджують зміну потенціалів еритроцитів під впливом РЧВ [56; 57].

У системній регуляції функцій організму важливу роль грають стохастичні синхронні і резонансні процеси [8]. Під дією низькоінтенсивного РЧВ, або навіть шумового електромагнітного впливу (для великих ансамблів елементарних об'єктів) можна впливати на імовірність відгуку (реакції) більш складного об'єкта. Явище *стохастичного резонансу* розглядають переважно по відношенню до флуктуацій мембранного потенціалу нейронів, але процеси синхронізації і когерентності грають важливу роль також і в інших клітинах організму.

**2. Вплив на електродинамічні процеси організму.** Ряд досліджень низькоенергетичного впливу РЧВ присвячений вивченню можливих порушень електромагнітної регуляції функцій організму.

Основні електрорегуляторні механізми реалізуються у ході *іонно-мембранних* процесів динамічної зміни іонного складу, дифузії іонів крізь мембрану клітин, зміни різниці потенціалів і, відповідно, напруженості електричного поля.

Експериментальні дослідження підтверджують резонансний вплив РЧВ на іони металів кліткових мембран і внутрішньокліткових структур [53]. РЧВ викликає зміну стійкості комплексних іонів, що впливає на хімічну рівновагу розчинів та їх фізико-хімічні властивості [58]. Експериментально підтверджується вплив РЧВ на стан приграничних шарів електролітів, що змінює умови протікання фізико-хімічних процесів у розчинах [59-61]. З точки зору класичної електродинаміки можна відмітити, що у полі плоскої електромагнітної хвилі має місце не тільки коливальний рух зарядженої частки, а і її систематичний дрейф [62].

РЧВ впливає на градієнт концентрації і транспорт іонів через мембрану людини [36; 41; 63; 64]. Зазначені наслідки пояснюються процесами модифікації гідратованих іонних структур у клітині [52; 65]. Первинним рецептором найчастіше розглядають іон кальцію (або інший іон у складі кальцій-зв'язуючих білків). Експериментально підтверджується резонансна зміна швидкості кальцій-залежних ферментативних процесів під впливом РЧВ, що пояснюється зміною ступеня поляризації ізотропного кальцій-осцилятора [8; 66]. Вплив РЧВ змінює динаміку кальцієвого обміну (зокрема, нервових клітин), призводить до зміни калій-натрієвого градієнту [16], що викликає комплекс біохімічних процесів у клітині.

Часто у якості осциляторних систем [67] або детекторів спрямлення змінного поля [41] розглядаються мембрани. Внаслідок зміни проникності мембран під впливом РЧВ змінюється і динаміка процесів кліткового обміну [16; 68]. На штучних фосфоліпідних мембранах експериментально підтверджується зміна проникності їх іонних каналів [69].

Деякими авторами запропоновані феноменологічні моделі та теорія взаємодії підшкірної частини біологічного об'єкта із РЧВ через так звані "*китайські меридіани*" [17; 70; 71]. Їх електромагнітні властивості обумовлені, зокрема, відмінним показником переломлення порівняно з оточуючими тканинами. Внаслідок чого вздовж меридіану можливо поширення бігучих хвиль, які формують електромагнітний каркас, когерентний у межах організму [72]. Вплив випромінювання змінює характеристики хвиль меридіанів, що обумовлює зміни функціонування підсистем організму.

Також деякі дослідники припускають, що внутрішні органи мають вихід на поверхню тіла у *біологічно активних точках*, які резонансно випромінюють і приймають електромагнітну енергію, що підтверджується окремими експериментами [29; 73]. На основі просторової структури біологічно активних точок здійснюються спроби побудови їх еквівалентних електричних схем, які представляють резонансний контур [17; 18; 28; 74].

**3. Збудження механічних коливань.** Іншою групою можливих механізмів дії низькоінтенсивного РЧВ вважають збудження пружних (акустичних, за фізичною сутністю – механічних) коливань у біологічних структурах [25]. Припускається, що акустичні коливання можуть брати участь у процесах передачі міжклітинної інформації [75], транспорті води і речовин [76], синхронізації біохімічних процесів [77]. Механічні коливання складових клітин розглядаються як конформаційні зміни мембранних білків [9; 42], а електромеханічні перетворення можливі у результаті процесів електрострикції [8]. Дисипативний зв'язок між осциляторами забезпечує синхронізацію коливань і зростання амплітуди при низьких інтенсивностях впливу [22]. Розглядається зміна коливань клітинних мембран, що призводить до зміни метаболізму клітини, зміни проникності транспортних каналів мембран та зміни швидкості дифузних процесів переносу речовин і зарядів крізь мембрани [78; 79]. Іноді у якості механічної системи розглядають водні середовища, пов'язані водневими зв'язками [45].

Одним з найбільш досліджених ефектів впливу низькоінтенсивного РЧВ на біологічні об'єкти тваринного походження є збудження звукових нейронів головного мозку (радіослух або радіозвук) при імпульсному режимі опромінення. На даний час найбільш прийнятним поясненням механізму зазначеного ефекту вважають поглинання енергії модульованого радіовипромінювання кістково-тканинними утвореннями мозку, їх еластичне розширення, генерація у тканинах механічних коливань та їх передача кістковою провідністю до внутрішніх слухових підсистем [80-82]. У той же час розглядаються й інші механізми, наприклад безпосередня дія на звукові нейрони [81].

**4. Мікролокальні теплові ефекти.** З теорією пояснення феномену радіослуху тісно пов'язана гіпотеза *мікролокальних теплових ефектів*. Окремі біологічні середовища мають різні електричні провідності і діелектричні проникності. У результаті можливо утворення стоячих електромагнітних хвиль і локальне збільшення енергії (теоретично – на порядки). Невеликі температурні зсуви можуть змінювати швидкість хімічних реакцій та порушувати динаміку хіміко-біологічних процесів [69].

**Висновки.** Отже, результати численних дослідження свідчать, що окремі параметри низькоінтенсивного

електромагнітного випромінювання, яке взаємодіє з біологічними рецепторами, несуть біологічно значиму інформацію і викликають зміни в інформаційно-управлінській діяльності підсистем організму. Тому вплив на організм малих інтенсивностей РЧВ при певних параметрах (несуча частота, параметри модуляції, енергетичні показники), які викликають відгук (зміна функціонального стану або динаміки процесів гомеостазу організму), називають інформаційним впливом або дією (нетепловим, неенергетичним, управляючим або специфічним). Поняття інформаційного впливу означає формування біологічного ефекту за рахунок енергії самого організму, зовнішній радіочастотний вплив лише дає поштовх.

Враховуючі результати експериментальних досліджень, окремі розглянуті теорії можуть виступати різними ступенями якогось одного механізму.

Напрямом подальших досліджень можна визначити експериментальна перевірка найбільш прийнятних гіпотез, що розглянуті у даній статті.

### Л і т е р а т у р а

1. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Затв. наказом МОЗ України від 01.08.1996 № 239 (із змінами).
2. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE Std C95.1™-2005 (Revision of IEEE Std C95.1-1991).
3. Методические рекомендации МР 2.1.10.0061-12 “Оценка риска для здоровья населения при воздействии переменных электромагнитных полей (до 300 ГГц) в условиях населенных мест” (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 13 апреля 2012 г.).
4. Эйди У. Р. Электромагнитное загрязнение планеты и здоровье / У. Р. Эйди, Х. Дельгадо, Ю. Л. Холодов // Наука и человечество: Международный ежегодник. М., 1989. – С. 10-18.
5. Протасевич Е. Т. Электромагнитный фон и его влияние на человека. Учебное пособие // Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 100 с.
6. Sitko S. P. The Whole as a Result of Self-Organization / S. P. Sitko, E. A. Andreev, I.S. Dobronravova // Journal of Biological Physics, 1988. – Vol. 16, Iss. 4. – pp. 71-73.
7. Григорьев Ю. Г. Радиобиология мобильной связи: современные аспекты фундаментальных и прикладных исследований / Ю. Г. Григорьев, А. П. Бирюков // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности, 2014. – № 1 (11). – С. 6-16.
8. Готовский М. Ю. Биорезонансная терапия / М. Ю. Готовский, Ю. Ф. Перов, Л. В. Чернецова // М.: ИМЕДИС, 2008. – 176 с.
9. Перельмутер В. М. Медико биологические аспекты взаимодействия электромагнитных волн с организмом: учебное пособие / В.М. Перельмутер, В.А. Ча, Е.М. Чуприкова // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 128 с.
10. Крылов В. Н., Максимов Г. А. Физиологические аспекты КВЧ-терапии // Вестн. Нижегород. гос. ун-та. Сер. Биол. Вып. № 2 (4). Миллиметровые волны в биологии и медицине. Н. Новгород, 2001. – С. 8-15.
11. Хабарова О. В. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 5. – С. 56-66.
12. Замятин В. Д. Современные средства поражения и их воздействие на объекты и людей: учеб. пособие / В. Д. Замятин, Э. И. Запольский // М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2010. – 84 с.
13. Быстров Р. П. Электромагнитные системы и средства преднамеренного воздействия на физические и биологические объекты / Р. П. Быстров и др. // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии, 2014. – Т. 6, № 2. – С. 129-169. DOI: 10.17725
14. Андреев Е. А., Белый М. У., Ситько С. П. Проявление собственных характеристических частот организма человека. Доклады Академии Наук УССР, 1984. – № 10. – С. 60-63.
15. Тихонов М. Н. Механизм влияния естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности / М. Н. Тихонов, В. В. Довгуша, Л. В. Довгуша // Вестник Российской академии естественных наук, 2014. – № 18(4). – С. 11–21.
16. Холодов Ю. А. Мозг в электромагнитных полях / Ю. А. Холодов // М.: Наука, 1982. – 123 с.
17. Кравков Г. А. Эффект нетеплового (информационного) воздействия электромагнитного излучения крайне высокой частоты на биологические объекты и человека. Краткий обзор / Г. А. Кравков // Киев, 2006. – 123 с.
18. Шерстюк А. В. Обоснование подхода к построению эквивалентной электрической схемы биологически активных точек / А. В. Шерстюк, Г. А. Ляшенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України, 2011. – Вип. 116. – С. 145-146.
19. Мирошников А. И., Фомченков В. М., Иванов А. Ю. Электрофизический анализ и разделение клеток // М.: Наука, 1986. – 184 с.
20. Гусев Н. А. Состояние воды в растении // М.: Наука, 1974. – 134 с.
21. Птицына Н. Г. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья / Н. Г. Птицына, Дж. Виллорези, Л. И. Дорман, Н. Юччи, М. И. Тясто // Успехи физических наук. – Т. 168, № 168. – С. 767-791.

22. Карнаухова А. В. Диссипативный резонанс – новый класс физических явлений. Некоторые подходы к аналитическому описанию / А. В. Карнаухова, В. О. Пономарев // Биомедицинские технологии и электроника, 2001. – № 8. – С. 23–31.
23. Антонов В. Ф. Биофизика мембран / В. Ф. Антонов // Соросовский образовательный журнал, 1996. – № 6. – С. 4-12.
24. Черепнев И. А. Транспорт в клеточных мембранах под воздействием электромагнитных полей / И. А. Черепнев, В. Е. Новиков // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2010. Вип. 2 (24). – С. 130-134.
25. Биофизические характеристики тканей человека. Справочник / Березовский В. А., Колотилова Н. Н.; Отв. ред. и авт. предисл. Костюк П. Г. // Киев : Наук. думка, 1990. – 224 с.
26. Барышев Д. А. Транспорт заряженных частиц в вязкой среде при наличии высокочастотных полей: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.: 01.04.04, 03.01.02 / Д. А. Барышев; [Волгоградский ГТУ]. – Волгоград, 2013 – 16 с.
27. Эйди У. Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям / У. Р. Эйди // Физиология человека, 1975. – Т. 1, № 1. – с. 59-73.
28. Мычковский, Ю. Г. Радиоэлектроника биологически активных точек / Ю. Г. Мычковский // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського, 2012. – Вип. 4 (75). – С. 45-48.
29. Ермолаев Ю. М. Биологически активная точка – биологический аналог диода с отрицательным сопротивлением / Ю. М. Ермолаев // Биомедицинская электроника, 1999. – №7. – С. 129–133.
30. Frohlich H. The Biological Effects of Mikrowaves and Related Questions // Advances in Electronics and Electron Physics. – 1980. – № 53. – P. 85–110, 143–152.
31. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа // М.: Наука, 1967. – 288 с.
32. Сидорович А. М. Диэлектрический спектр воды // УФЖ, 1984. – Т. 29, № 8. – С. 1175-1181.
33. Никулин Р. Н. Физические механизмы воздействия СВЧ-излучения низкой интенсивности на биологические объекты : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.: 01.04.04, 03.00.02 / Р. Н. Никулин; [Волгоградский ГТУ]. – Волгоград, 2004 – 20 с.
34. Мельник Е. Т. Моделирование резонансного взаимодействия микроволновых сигналов с клетками живого организма / Е. Т. Мельник, А. Ф. Яненко // ВІСНИК ЖДТУ, 2010. – № 1 (52). – С. 115-118.
35. Шигимага В. А. Нелинейная электрическая модель проводимости биологической клетки / В. А. Шигимага // Техн. електродинаміка, 2013. – № 6. – С. 30-35.
36. Артемова Д. Г. Транспорт ионов через мембрану при наличии низкоинтенсивного СВЧ-излучения : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.: 01.04.04, 03.01.02 / Д. Г. Артемова; [Волгоградский ГТУ]. – Волгоград, 2013. – 15 с.
37. Juutilainen J., Seze de R. Biological effects of amplitude modulated radio frequency radiation // Scand. J. Work, Environ. and Health, 1998. – №4. – pp. 245-254.
38. Goldsmith J.R. Epidemiological studies of radio-frequency radiation: Current status and areas of concern // Sci. Total Environ. – 1996. – № 1. – pp. 3-8.
39. Szmigielski S. Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation // Sci. Total Environ, 1996. – № 1. – pp. 9-17.
40. Pickard W. F., Moros E. G. Energy deposition processes in biological tissue: nonthermal biohazards seem unlikely in the ultra\_high frequency range // Bioelectromagnetics, 2001. – № 22 (2). – pp. 97–105.
41. Прокофьев В.Ф. Тайное оружие информационной войны: атака на подсознание. Издание второе, расширенное и доработанное // М.: СИНТЕГ, 2003. – 408 с.
42. Бецкий О. В. Пионерские работы по миллиметровой электромагнитной биологии, выполненные в ИРЭ РАН // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2003. – № 8. – С. 11-20.
43. Петросян В. И., Житенева Э. Л., Гуляев Ю. В. и др. Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ-диапазона // Радио техника и электроника, 1995. – Т. 40, вып. 1. – С. 127-134.
44. Сеницын Н. И., Петросян В. И., Ёлкин В. А. и др. Особая роль системы "миллиметровые волны-водная среда" в природе // Биомедицинская радиоэлектроника, 1998. – № 1. – С. 5-23.
45. Петросян В. И. Роль резонансных молекулярно-волновых процессов в природе и их использование для контроля и коррекции состояния экологических систем / В. И. Петросян, Н. И. Сеницын, В. Л. Ёлкин и др. // Биомедицинская радиоэлектроника, 2001. – №5-6. – С. 62-129.
46. Петросян В. И., Сеницын Н. И., Ёлкин В. А. Люминесцентная трактовка "СПЕ-эффекта" // -Биомедицинские техно логии и радиоэлектроника, 2002. – № 1. – С. 28-38.
47. Петросян В. И., Сеницын Н. И., Ёлкин В. А. и др. Проблемы косвенного и прямого наблюдения резонансной прозрачности водных сред в миллиметровом диапазоне // Биомедицинская радиоэлектроника, 2000. – № 1. – С. 825-832.
48. Бецкий О. В., Путвинский А. В. Биологические эффекты мм-излучения низкой интенсивности // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. Электронные приборы СВЧ, 1986. – т. 29. – № 10. – С. 4-10.
49. Бецкий О. В. Миллиметровые волны в биологии и медицине // Радиотехника и электроника, 1993. – Т. 38, № 10. – С. 1760-1782.
50. Материалы Третьего Всесоюзного симпозиума по влиянию магнитных полей на биологические объекты / Под ред. А.С. Васильева. Калининград, 1975. – 240 с.
51. Петросян В. И. Информационно-волновые свойства водных сред и биологических систем. Аналитика и диагностика. Монография / В. И. Петросян, И. В. Терехов под ред. М. С. Громова // Саратов, 2010. – 126 с.

52. Электромагнитные поля в биосфере (в двух томах). Т. II. Биологическое действие электромагнитных полей / под ред. Н. В. Красногорской // М.: Наука, 1984. – 326 с.
53. Лошицкий П. П. Взаимодействие биологических объектов с физическими факторами / П. П. Лошицкий // Киев, 2009. – 267 с.
54. Henry L., Narendra S.P. Melatonin and a sping trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation induced DNA strand breaks in rat brain cells // *Bioelectromagnetics*, 1997. – № 6. – pp. 446–454.
55. Хахалин А. В. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля на водные кластеры в присутствии ионов. Автореферат дисерт. канд. физико-математических наук. Специальность 03.00.16 – экология. Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. Москва, 2006. – 24 с.
56. Белоконь А. Н. Влияние неоднородного магнитного поля на подвижность и дзет-потенциал эритроцитов крови / А. Н. Белоконь, М. П. Травкин, М. Л. Попов, Н. Ф. Голикова // В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1969. – С.13-14.
57. Исмаилов Э. Ш. О влиянии сверхчастотного электромагнитного облучения на электрофоретическую подвижность эритроцитов/ Э. Ш. Исмаилов // *Биофизика*, 1976. – Т. 22, вып. 33. – с. 493-498.
58. Стась И. Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на устойчивость комплексных ионов цинка / И. Е. Стась, И. Н. Паутова // *Ползуновский вестник*, 2006. – № 2, Ч.1. – С. 56-61.
59. Атомашко Н. А., Ивонина Т. С., Стась И. Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на инверсионно-вольтамперометрическое определение свинца на различных электродах // *Известия Алтайского государственного университета*, 2001. – № 3. – С. 38-42.
60. Стась И. Е., Ивонина Т. С., Шипунов Б. П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на величину адсорбции ионов тетрабутиламмония на поверхности ртутно-пленочного электрода // *Известия Томского политехнического университета*, 2005. – Т. 308. № 5. – С. 93-96.
61. Стась И. Е. Исследование влияния высокочастотного электромагнитного поля на электрохимическое поведение ионов тяжелых металлов в присутствии бутанола / И. Е. Стась, Т. С. Ивонина // *Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]*, 2007. – Т. 310, № 1. – С. 118-124.
62. Болотовский Б. М., Серов А. В. Особенности движения частиц в электромагнитной волне. *Успехи физических наук*, 2003. – Т. 173, №6. – С. 667-678.
63. Штеллер В. Л. Изменение транспорта  $K^+$  и  $Na^+$  в эритроцитах человека под влияние микроволн радиочастот / В. Л. Штеллер // В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972. – С. 62-63.
64. Kinorita J. Voltage-induced pore formation and haemolysis of human erythrocytes / J. Kinorita, Kazuhiko, Low Tsong, Tian // *Biochem. et Biophys. acta*, 1977. – Vol. 471, k. 2. – pp. 227-242.
65. Adey W. R. Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields // *Physiol. Rev*, 1981. – V. 61, № 2. – P. 435-514.
66. Леднев В. В. Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей / В. В. Леднев // *Биофизика*, 1996. – Т. 41, вып. 1. – С. 224-232.
67. Курик М. В. О фрактальности питьевой воды ("живая вода") // *Физика сознания и жизнь, космология и астрофизика*, 2001. – № 3. – С. 45-48.
68. Frohlich H. *Theoretical Physics and Biology // Biological Coherence and Response to External Stimuli* / Ed. by Frohlich H. – New York: Springer-Verlag, 1988.
69. Аполлонский С. М., Каляда Т. В., Синдаловский Б. Е. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: Учеб. Пособие // СПб.: Политехника, 2006. – 263 с.
70. Човнюк Ю. В., Ивановская А. В., Овсянникова Т. Н., Рудько Б. Ф. Анализ взаимодействия электромагнитного поля КВЧ-диапазона с кожей методами нелинейной физической акустики. Часть 1 // *Радиоэлектроника и информатика*, 2004. – № 2 (27). – С. 149-154.
71. Човнюк Ю. В., Ивановская А. В., Овсянникова Т. Н., Рудько Б. Ф. Анализ взаимодействия электромагнитного поля КВЧ-диапазона с кожей методами нелинейной физической акустики. Часть 2 // *Радиоэлектроника и информатика*, 2004. – № 3 (28). – С. 110-115.
72. Ситько С. П. Микроволновая резонансная терапия – базовая технология квантовой медицины // 2004 14th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo '2004). 13-17 September, Sevastopol. Crimea, Ukraine. С. 20-25.
73. Яненко О. П. Дослідження резонансного поглинання біооб'єктами мм-випромінювання / О. П. Яненко, Є. Т. Мельник, В. І. Зінченко // *Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування*, 2010. – № 41. – С. 121-124.
74. Биофизические эффекты волн терагерцового диапазона и перспективы развития новых направлений в биомедицинской технологии: «Терагерцовая терапия» и «Терагерцовая диагностика» / О. В. Бецкий, А. П. Креницкий, А. В. Майборodin и др. // *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*, 2003. – №12. – С. 3-6.
75. Колотилов Н. Н., Бакай Э. А. Элементы теории многоканальной передачи информации в нервных волокнах // *Медицинская кибернетика*. Киев, 1977. – С. 53-61.
76. Перельман М. Е., Рубинштейн Г. М. Ультразвуковые колебания, генерируемые в биохимических реакциях, как возможный стимулятор движения жидкости по проводящим путям растений // *Деп. в ВИНТИ* 11.12.1980. № 482-80.

77. Шноль С. Э. Конформационные колебания молекул // Колебательные процессы в биологических и химических системах. М., 1967. – С. 22-41.
78. Брюзгинова Н. В. Изменение электрокинетических показателей ядер клеток буккального эпителия под действием электромагнитных полей миллиметрового диапазона / Н. В. Брюзгинова, С. П. Сиренко, А. И. Фисун, О. И. Белоус // Радиофізика та електроніка, 2017. Т. 22. № 4. – С. 78-81. DOI: doi.org/10.15407/rej2017.04.078.
79. Бецкий О. В., Лебедева Н. Н. Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных волн на биологические объекты // Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2001. – № 3 (24). – С. 5-19.
80. J.A. Elder, C.K. Chou. Auditory Response to Pulsed Radio-frequency Energy. Motorola Florida Research Laboratories, Ft. Lauderdale, FL, USA. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.10163/pdf>.
81. Тигранян Р. Э. Физические основы слухового эффекта СВЧ / Р. Э. Тигранян, В. В. Шорохов // Пушино: ОНТИ Пушкинского научного центра АН СССР, 1990. – 131 с.
82. Тигранян Р. Э. Физические основы бионического канала связи на СВЧ / Р. Э. Тигранян // М.: ИП РадиоСофт, 2012. – 332 с.

#### References

1. Derzhavni sanitarni normi i pravila zahistu naselennya vid vplivu elektromagnitnih viprominyuvan. Zatv. nakazom MOZ Ukrayini vid 01.08.1996 № 239 (iz zminami).
2. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE Std C95.1™-2005 (Revision of IEEE Std C95.1-1991).
3. Metodicheskie rekomendacii MR 2.1.10.0061-12 “Ocenka riska dlya zdorovya naseleniya pri vozdeystvii peremennyh elektromagnitnyh polej (do 300 GGc) v usloviyah naselennyh mest” (utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 13 aprelya 2012).
4. Ejdi U. R. Elektromagnitnoe zagryaznenie planety i zdorove / U. R. Ejdi, X. Delgado, Yu. L. Holodov // Nauka i chelovechestvo: Mezhdunarodnyj ezhegodnik. M., 1989. – pp. 10-18.
5. Protasevich E. T. Elektromagnitnyj fon i ego vliyanie na cheloveka. Uchebnoe posobie // Tomsk: Izd-vo TPU, 2004. – 100 P.
6. Sitko S. P. The Whole as a Result of Self-Organization / S. P. Sitko, E. A. Andreev, I.S. Dobronravova // Journal of Biological Physics, 1988. – Vol. 16, Iss. 4. – pp. 71-73.
7. Grigorev Yu. G. Radiobiologiya mobilnoj svyazi: sovremennye aspekty fundamentalnyh i prikladnyh issledovanij / Yu. G. Grigorev, A. P. Biryukov // Mediko-biologicheskie problemy zhiznedeyatel'nosti, 2014. – № 1 (11). – pp. 6-16.
8. Gotovskij M. Yu. Biorezonansnaya terapiya / M. Yu. Gotovskij, Yu. F. Perov, L. V. Chernecova // M.: IMEDIS, 2008. – 176 P.
9. Perelmuter V. M. Mediko biologicheskie aspekty vzaimodejstviya elektromagnitnyh voln s organizmom: uchebnoe posobie / V.M. Perelmuter, V.A. Cha, E.M. Chuprikova // Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2009. – 128 P.
10. Krylov V. N., Maksimov G. A. Fiziologicheskie aspekty KVCh-terapii // Vestn. Nizhegorod. gos. un-ta. Ser. Biol. Vyp. № 2 (4). Millimetrovye volny v biologii i medicine. N. Novgorod, 2001. – pp. 8-15.
11. Habarova O. V. Bioeffektivnye chastoty i ih svyaz s sobstvennymi chastotami zhivyh organizmov // Biomedicinskie tehnologii i radioelektronika. – 2002. – № 5. – pp. 56-66.
12. Zamyatin V. D. Sovremennye sredstva porazheniya i ih vozdeystvie na obekty i lyudej: ucheb. posobie / V. D. Zamyatin, E. I. Zapolskij // M.: RHTU im. D. I. Mendeleeva, 2010. – 84 s.
13. Bystrov R. P. Elektromagnitnye sistemy i sredstva prednamerennogo vozdeystviya na fizicheskie i biologicheskie obekty / R. P. Bystrov i dr. // Radioelektronika. Nanosistemy. Informacionnye tehnologii, 2014. – Vol. 6, № 2. – pp. 129-169. DOI: 10.17725
14. Andreev E. A., Belyj M. U., Sitko S. P. Proyavlenie sobstvennyh harakteristicheskikh chastot organizma cheloveka. Doklady Akademii Nauk USSR, 1984. – № 10. – pp. 60-63.
15. Tihonov M. N. Mehanizm vliyaniya estestvennyh i tehnogennyh elektromagnitnyh polej na bezopasnost zhiznedeyatel'nosti / M. N. Tihonov, V. V. Dovgusha, L. V. Dovgusha // Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk, 2014. – № 18(4). – pp. 11–21.
16. Holodov Yu. A. Mozg v elektromagnitnyh polyah / Yu. A. Holodov // M.: Nauka, 1982. – 123 P.
17. Kravkov G. A. Effekt neteplovogo (informacionnogo) vozdeystviya elektromagnitnogo izlucheniya krajne vysokoj chastoty na biologicheskie obekty i cheloveka. Kratkij obzor / G. A. Kravkov // Kiev, 2006. – 123 P.
18. Sherstyuk A. V. Obosnovanie podhoda k postroeniyu ekvivalentnoj elektricheskoy shemy biologicheski aktivnyh toчек / A. V. Sherstyuk, G. A. Lyashenko // Visnik Harkivskogo nacionalnogo tehnichnogo universitetu sil'skogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. Tehnichni nauki. Problemi energozabezpechennya ta energozberezhennya v APK Ukrayini, 2011. – N 116. – pp. 145-146.
19. Mirosnikov A. I., Fomchenkov V. M., Ivanov A. Yu. Elektrofizicheskij analiz i razdelenie kletok // M.: Nauka, 1986. – 184 P.
20. Gusev N. A. Sostoyanie vody v rastenii // M.: Nauka, 1974. – 134 P.
21. Pticyna N. G. Estestvennye i tehnogennye nizkochastotnye magnitnye polya kak faktory, potencialno opasnye dlya zdorovya / N. G. Pticyna, Dzh. Villorezi, L. I. Dorman, N. Yuchchi, M. I. Tyasto // Uspehi fizicheskikh nauk. – Vol. 168, № 168. – pp. 767-791.

22. Karnauhov A. V. Dissipativnyj rezonans – novyj klass fizicheskikh yavlenij. Nekotorye podhody k analiticheskomu opisaniyu / A. V. Karnauhov, V. O. Ponomarev // Biomedicinskie tehnologii i elektronika, 2001. – № 8. – pp. 23–31.
23. Antonov V. F. Biofizika membran / V. F. Antonov // Sorosovskij obrazovatelnyj zhurnal, 1996. – № 6. – pp. 4-12.
24. Cherepnev I. A. Transport v kletochnyh membranah pod vozdejstviem elektromagnitnyh polej / I. A. Cherepnev, V. E. Novikov // Zbirnik naukovih prac Harkivskogo universitetu Povitryanih Sil, 2010. N 2 (24). – pp. 130-134.
25. Biofizicheskie harakteristiki tkanej cheloveka. Spravochnik / Berezovskij V. A., Kolotilov N. N.; Otv. red. i avt. predisl. Kostyuk P. G. // Kiev : Nauk. dumka, 1990. – 224 P.
26. Baryshev D. A. Transport zaryazhennyh chastic v vyazkoj srede pri nalichii vysokochastotnyh polej: avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk.: 01.04.04, 03.01.02 / D. A. Baryshev; [Volgogradskij GTU]. – Volgograd, 2013 – 16 P.
27. Ejdi U. R. Kooperativnye mehanizmy vospriimchivosti mozgovoj tkani k vneshnim i vnutrennim elektricheskim polyam / U. R. Ejdi // Fiziologiya cheloveka, 1975. – Vol. 1, № 1. – pp. 59-73.
28. Mychkovskij, Yu. G. Radioelektronika biologicheskii aktivnyh toček / Yu. G. Mychkovskij // Visnik KrNU imeni Mihajla Ostrogradskogo, 2012. – N 4 (75). – pp. 45-48.
29. Ermolaev Yu. M. Biologicheskii aktivnaya tochka – biologicheskij analog dioda s otricatelnym soprotivleniem / Yu. M. Ermolaev // Biomedicinskaya elektronika, 1999. – №7. – pp. 129–133.
30. Frohlich H. The Biological Effects of Mikrowaves and Related Questions // Advances in Electronics and Electron Physics. – 1980. – № 53. – P. 85–110, 143–152.
31. Presman A. S. Elektromagnitnye polya i zhivaya priroda // M.: Nauka, 1967. – 288 P.
32. Sidorovich A. M. Dielektricheskij spektr vody // UFZh, 1984. – Vol. 29, № 8. – pp. 1175-1181.
33. Nikulin P. N. Fizicheskie mehanizmy vozdejstviya SVCh-izlucheniya nizkoj intensivnosti na biologicheskie obekty: avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk.: 01.04.04, 03.00.02 / P. N. Nikulin; [Volgogradskij GTU]. – Volgograd, 2004 – 20 P.
34. Melnik E. T. Modelirovanie rezonansnogo vzaimodejstviya mikrovolnovykh signalov s kletkami zhivogo organizma / E. T. Melnik, A. F. Yanenko // VISNIK ZhDTU, 2010. – № 1 (52). – pp. 115-118.
35. Shigimaga V. A. Nelinejnaya elektricheskaya model provodimosti biologicheskoy kletki / V. A. Shigimaga // Tehn. elektrodinamika, 2013. – № 6. – pp. 30-35.
36. Artemova D. G. Transport ionov cherez membranu pri nalichii nizkointensivnogo SVCh-izlucheniya : avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk.: 01.04.04, 03.01.02 / D. G. Artemova; [Volgogradskij GTU]. – Volgograd, 2013. – 15 P.
37. Juutilainen J., Seze de R. Biological effects of amplitude modulated radio frequency radiation // Scand. J. Work, Environ. and Health, 1998. – №4. – pp. 245-254.
38. Goldsmith J.R. Epidemiological studies of radio-frequency radiation: Current status and areas of concern // Sci. Total Environ. – 1996. – № 1. – pp. 3-8.
39. Szmigielski S. Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation // Sci. Total Environ, 1996. – № 1. – pp. 9-17.
40. Pickard W. F., Moros E. G. Energy deposition processes in biological tissue: nonthermal biohazards seem unlikely in the ultra\_high frequency range // Bioelectromagnetics, 2001. – № 22 (2). – pp. 97–105.
41. Prokofev V.F. Tajnoe oruzhie informacionnoj vojny: ataka na podsoznanie. Izdanie vtoroe, rasshirennoe i dorabotannoe // M.: SINTEG, 2003. – 408 P.
42. Beckij O. V. Pionerskie raboty po millimetrovoj elektromagnitnoj biologii, vypolnennye v IRE RAN / O. V. Beckij // Biomedicinskie tehnologii i radioelektronika, 2003. – № 8. – pp. 11-20.
43. Petrosyan V. I., Zhitenevo E. L., Gulyaev Yu. V. i dr. Vzaimodejstvie fizicheskikh i biologicheskikh obektov s elektromagnitnym izlucheniem KVCh-diapazna // Radio tehnika i elektronika, 1995. – Vol. 40, N 1. – pp. 127-134.
44. Sinicyn N. I., Petrosyan V. I., Yolkin V. A. i dr. Osobaya rol sistemy "millimetrovye volny-vodnaya sreda" v prirode // Biomedicinskaya radioelektronika, 1998. – № 1. – pp. 5-23.
45. Petrosyan V. I. Rol rezonansnyh molekulyarno-volnovykh processov v prirode i ih ispolzovanie dlya kontrolya i korrekcii sostoyaniya ekologicheskikh sistem / V. I. Petrosyan, N. I. Sinicyn, V. L. Yolkin i dr. // Biomedicinskaya radioelektronika, 2001. – №5-6. – pp. 62-129.
46. Petrosyan B. I., Sinicyn N. N., Yolkin V. A. Lyuminescentnaya traktovka "SPE-effekta" // -Biomedicinskie tehnologii i radioelektronika, 2002. – № 1. – pp. 28-38.
47. Petrosyan V. I., Sinicyn N. I., Yolkin V. A. i dr. Problemy kosvennogo i pryamogo nablyudeniya rezonansnoj prozrachnosti vodnyh sred v millimetrovom diapazone // Biomedicinskaya radioelektronika, 2000. – № 1. – pp. 825-832.
48. Beckij O. V., Putvinskij A. V. Biologicheskie efekty mm-izlucheniya nizkoj intensivnosti // Izv. vuzov. Ser. Radioelektronika. Elektronnye pribory SVCh, 1986. – Vol. 29., № 10. – pp. 4-10.
49. Beckij O. V. Milimetrovye volny v biologii i medicine // Radiotekhnika i elektronika, 1993. – Vol. 38, № 10. – pp. 1760-1782.
50. Materialy Tretego Vsesoyuznogo simpoziuma po vliyaniyu magnitnyh polej na biologicheskie obekty / Pod red.A.S. Vasileva. Kaliningrad, 1975. – 240 P.
51. Petrosyan V. I. Informacionno-volnovye svojstva vodnyh sred i biologicheskikh sistem. Analitika i diagnostika. Monografiya / V. I. Petrosyan, I. V. Terehov pod red. M. S. Gromova // Saratov, 2010. – 126 P.
52. Elektromagnitnye polya v biosfere (v dvuh tomah). T. II. Biologicheskoe dejstvie elektromagnitnyh polej / pod red. N. V. Krasnogorskoy // M.: Nauka, 1984. – 326 P.
53. Loshickij P. P. Vzaimodejstvie biologicheskikh obektov s fizicheskimi faktorami / P. P. Loshickij // Kiev, 2009. – 267 P.

54. Henry L., Narendra S.P. Melatonin and a sping trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation induced DNA strand breaks in rat brain cells // *Bioelectromagnetics*, 1997. – № 6. – pp. 446–454.
55. Hahalin A. V. Vliyanie nizkointensivnogo elektromagnitnogo polya na vodnye klastery v prisutstvii ionov. Avtoreferat disert. kand. fiziko-matematicheskikh nauk. Specialnost 03.00.16 – ekologiya. Moskovskij gosudarstvennyj universitet im. M. V. Lomonosova. Moskva, 2006. – 24 P.
56. Belokon A. N. Vliyanie neodnorodnogo magnitnogo polya na podvizhnost i dzet-potencial eritrocitov krovi / A. N. Belokon, M. P. Travkin, M. L. Popov, N. F. Golikova // V kn.: Vliyanie magnitnyh polej na biologicheskie obekty. M., 1969. – pp. 13-14.
57. Ismailov E. Sh. O vliyanii sverhchastotnogo elektromagnitnogo oblucheniya na elektroforeticheskuyu podvizhnost eritrocitov/ E. Sh. Ismailov // *Biofizika*, 1976. – Vol. 22, N 33. – pp. 493-498.
58. Stas I. E. Vliyanie vysokochastotnogo elektromagnitnogo polya na ustojchivost kompleksnyh ionov cinka / I. E. Stas, I. N. Pautova // *Polzunovskij vestnik*, 2006. – № 2, part 1. – pp. 56-61.
59. Atomashko N. A., Ivonina T. S., Stas I. E. Vliyanie vysokochastotnogo elektromagnitnogo polya na inversionno-voltamperometricheskoe opredelenie svinca na razlichnyh elektrodah // *Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2001. – № 3. – pp. 38-42.
60. Stas I. E., Ivonina T. S., Shipunov B. P. Vliyanie vysokochastotnogo elektromagnitnogo polya na velichinu adsorbicii ionov tetrabutylammoniya na poverhnosti rtutno-plenochnogo elektroda // *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 2005. – Vol. 308. № 5. – pp. 93-96.
61. Stas I. E. Issledovanie vliyaniya vysokochastotnogo elektromagnitnogo polya na elektrohimicheskoe povedenie ionov tyazhelyh metallov v prisutstvii butanola / I. E. Stas, T. S. Ivonina // *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta [Izvestiya TPU]*, 2007. – Vol. 310, № 1. – pp. 118-124.
62. Bolotovskij B. M., Serov A. V. Osobennosti dvizheniya chastic v elektromagnitnoj volne. Uspehi fizicheskikh nauk, 2003. – Vol. 173, №6. – pp. 667-678.
63. Shteller V. L. Izmenenie transporta  $K^+$  i  $Na^+$  v eritrocitah cheloveka pod vliyanie mikrovoln radiochastot / V. L. Shteller // V kn.: Gigiena truda i biologicheskoe dejstvie elektromagnitnyh voln radiochastot. M., 1972. – pp. 62-63.
64. Kinorita J. Voltage-induced pore formation and haemolysis of human erythrocytes / J. Kinorita, Kazuhiko, Low Tsong, Tian // *Biochem. et Biophys. acta*, 1977. – Vol. 471, k. 2. – pp. 227-242.
65. Adey W. R. Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields // *Physiol. Rev*, 1981. – V. 61, № 2. – P. 435-514.
66. Lednev V. V. Bioeffekty slabyh kombinirovannyh, postoyannyh i peremennyh magnitnyh polej / V. V. Lednev // *Biofizika*, 1996. – Vol. 41, N 1. – pp. 224-232.
67. Kurik M. V. O fraktalnosti pitevoj vody ("zhivaya voda") // *Fizika soznaniya i zhizn, kosmologiya i astrofizika*, 2001. – № 3. – pp. 45-48.
68. Frohlich H. *Theoretical Physics and Biology // Biological Coherence and Response to External Stimuli* / Ed. by Frohlich H. – New York: Springer-Verlag, 1988.
69. Apollonskij S. M., Kalyada T. V., Sindalovskij B. E. Bezopasnost zhiznedeyatelnosti cheloveka v elektromagnitnyh polyah: Ucheb. Posobie // SPb.: Politehnika, 2006. – 263 P.
70. Chovnyuk Yu. V., Ivanovskaya A. V., Ovsyannikova T. N., Rudko B. F. Analiz vzaimodejstviya elektromagnitnogo polya KVCh-diapazona s kozhej metodami nelinejnoj fizicheskoy akustiki. Part 1 // *Radioelektronika i informatika*, 2004. – № 2 (27). – pp. 149-154.
71. Chovnyuk Yu. V., Ivanovskaya A. V., Ovsyannikova T. N., Rudko B. F. Analiz vzaimodejstviya elektromagnitnogo polya KVCh-diapazona s kozhej metodami nelinejnoj fizicheskoy akustiki. Part 2 // *Radioelektronika i informatika*, 2004. – № 3 (28). – pp. 110-115.
72. Sitko S. P. Mikrovolnovaya rezonansnaya terapiya – bazovaya tehnologiya kvantovoj mediciny // 2004 14th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo '2004). 13-17 September, Sevastopol. Crimea, Ukraine. pp. 20-25.
73. Yanenko O. P. Doslidzhennya rezonansnogo poglinannya bioob'yektami mm-viprominyuvannya / O. P. Yanenko, Ye. T. Melnik, V. I. Zinchenko // *Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu Ukrayini "KPI". Seriya – Radiotekhnika. Radioaparotobuduvannya*, 2010. – № 41. – pp. 121-124.
74. Biofizicheskie efekty voln teragercovogo diapazona i perspektivy razvitiya novyh napravlenij v biomedicinskoj tehnologii: «Teragercovaya terapiya» i «Teragercovaya diagnostika» / O. V. Beckij, A. P. Krenickij, A. V. Majborodin i dr. // *Biomedicinskie tehnologii i radioelektronika*, 2003. – №12. – pp. 3-6.
75. Kolotilov N. N., Bakaj E. A. Elementy teorii mnogokanalnoj peredachi informacii v nervnyh voloknah // *Medicinskaya kibernetika*. Kiev, 1977. – pp. 53-61.
76. Perelman M. E., Rubinshtejn G. M. Ultrazvukovye kolebaniya, generiruemye v bihimicheskikh reakciyah, kak vozmozhnyj stimulyator dvizheniya zhidkosti po provodyashim putyam rastenij // *Dep. v VINITI* 11.12.1980. № 482-80.
77. Shnol S. E. Konformacionnye kolebaniya molekul // *Kolebatelnye processy v biologicheskikh i himicheskikh sistemah*. M., 1967. – pp. 22-41.
78. Bryuzginova N. V. Izmenenie elektrokineticheskikh pokazatelej yader kletok bukhalnogo epiteliya pod dejstviem elektromagnitnyh polej millimetrovogo diapazona / N. V. Bryuzginova, S. P. Sirenko, A. I. Fisun, O. I. Belous // *Radiofizika ta elektronika*, 2017. Vol. 22. № 4. – pp. 78-81. DOI: doi.org/10.15407/rej2017.04.078.
79. Beckij O. V., Lebedeva N. N. Sovremennye predstavleniya o mehanizmah vozdejstviya nizkointensivnyh voln na biologicheskie obekty // *Millimetrovye volny v biologii i medicine*, 2001. – № 3 (24). – pp. 5-19.

80. J.A. Elder, C.K. Chou. Auditory Response to Pulsed Radio-frequency Energy. Motorola Florida Research Laboratories, Ft. Lauderdale, FL, USA. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.10163/pdf>.
81. Tigranyan R. E. Fizicheskie osnovy sluhovogo efekta SVCh / R. E. Tigranyan, V. V. Shorohov // Pushino: ONTI Pushinskogo nauchnogo centra AN SSSR, 1990. – 131 P.
82. Tigranyan R. E. Fizicheskie osnovy bionicheskogo kanala svyazi na SVCh / R. E. Tinranyan // M.: IP RadioSoft, 2012. – 332 P.

*В статье исследуется актуальная задача по механизмам влияния низкоэнергетического радиочастотного излучения на биологические объекты. Механизм воздействия высокоэнергетического радиочастотного излучения объясняется поглощением энергии биологическими тканями, их нагревом и последующим влиянием на рецепторы организма или термическим изменением физико-химической структуры и физико-биологических функций. Экспериментально подтверждается чувствительность человеческого организма к низкоэнергетическому радиочастотному излучению, что активно используется в медицинской практике. Эффекты реакции на низкоэнергетическое радиочастотное воздействие наиболее естественно объясняются изменением функциональной активности белков, но энергия квантов низкоинтенсивного излучения гораздо меньше тепловой энергии среды, поэтому некоторые исследователи отрицают взаимодействие низкоинтенсивного электромагнитного излучения с биологическими тканями. Сторонники же теории информационного воздействия обосновывают возможные механизмы накопления энергии, механизмы многофотонных процессов или другие принципы рецепции излучения. В статье проведен анализ биофизических предпосылок реакции биологических объектов на воздействие низкоэнергетического радиочастотного излучения. Рассмотрены основные гипотезы рецепции радиочастотного излучения различными биологическими образованиями в составе организма. Взгляды на возможные механизмы низкоэнергетического радиочастотного воздействия условно разделены на четыре основных класса: резонанс многоосциляторных систем, влияние на электродинамические процессы организма, возбуждение механических колебаний и теория микролокальных тепловых эффектов. Результаты многочисленных исследований показывают, что отдельные параметры низкоинтенсивного электромагнитного излучения, которое взаимодействует с биологическими рецепторами, несут биологически значимую информацию и вызывают изменения в информационно-управленческой деятельности подсистем организма. Поэтому воздействие на организм радиочастотного излучения низкой интенсивности при определенных параметрах, которые вызывают отклик, называют информационным воздействием.*

**Ключевые слова:** радиочастотное излучение, поверхностная плотность потока, биологический объект, реакция на воздействие излучения, механизм воздействия.

*The paper considers the urgent task of the mechanisms of the influence of low-energy radio frequency radiation on biological objects. The mechanism of exposure to high-energy radio-frequency radiation is explained by the absorption of energy by biological tissues, their heating and subsequent influence on the receptors of the body, or by a thermal change in the physicochemical structure and physics biological functions. The experiment confirms the sensitivity of the human body to low-energy radio frequency radiation, which is actively used in medical practice. The effects of the reaction on low-energy radiofrequency exposure are most naturally explained by a change in the functional activity of proteins, but the energy of low-intensity radiation quanta is much less than the thermal energy of the medium, so some researchers deny the interaction of low-intensity electromagnetic radiation with biological tissues. Supporters of the information impact theory justify possible mechanisms of energy storage, mechanisms of multiphoton processes, or other principles of radiation reception. The article analyzes the biophysical prerequisites for the reaction of biological objects to the effect of low-energy radio frequency radiation. The main hypotheses of the reception of radio-frequency radiation by various biological entities in the body are considered. The views on the possible mechanisms of low-energy radiofrequency exposure are conventionally divided into four main classes: resonance of multi-oscillatory systems, influence on the electrodynamic processes of the body, excitation of mechanical vibrations, and the theory of micro-local thermal effects. The results of numerous studies show that certain parameters of low-intensity electromagnetic radiation, which interacts with biological receptors, carry biologically significant information and cause changes in the information-management activity of the body's subsystems. Therefore, the effect on the body of low-frequency radio frequency radiation at certain parameters that cause a response is called information exposure.*

**Keywords:** radiofrequency radiation, surface flux density, biological object, reaction to radiation exposure, exposure mechanism.