

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Б.Г. Ємець,
О.Б. Алмазова

*Харківський національний
університет ім. В.Н. Каразіна*

До питання про підвищення радіорезистентності живих організмів за допомогою мікрохвиль

On improvement of radiation resistance
of living organisms using microwaves

У застосуванні засобів захисту від іонізуючої радіації (ІР) зацікавлені онкологічні (та інші) пацієнти, які отримують медичну допомогу з використанням променевих методик. Має потребу в систематичній профілактиці можливого променевого ураження і персонал, який за службовим обов'язком працює з джерелами іонізуючого випромінювання (ІВ), а також особи, що проживають у районах, які постраждали від забруднення радіонуклідами в результаті аварій на атомних електростанціях, наприклад, Чорнобиль та Фукусіма. За останні десятиліття синтезовано кілька тисяч хімічних препаратів, які захищають організм від уражувальної дії ІР [1–3]. З медичних причин багатьом людям протипоказане введення в організм певних видів ліків. Тому актуальним є пошук немедикаментозних засобів, які підвищують опірність організму до дії ІР, зокрема, електромагнітні хвилі діапазону надвисоких частот (НВЧ).

Позитивна, радіопротекторна дія електромагнітних хвиль НВЧ

Ще тоді, коли розпочалося серійне виробництво генераторів НВЧ, були зроблені перші спроби застосувати їх з медичною метою. У 1958 році С.І. Ваггон, А.А. Васяфф [4], а потім в 1960 р. В.В. Соколов, М.Н. Арієвич [5] повідомили, що систематичне опромінювання людей низькоінтенсивними хвилями НВЧ-діапазону приводить до збільшення кількості лейкоцитів — ефекту, протилежного дії іонізуючих випромінень (ІВ). Результати зазначених робіт спонукали О.С. Пресмана та І.А. Левітіну виконати в 1961 році дослідження з опромінювання щурів (нелінійні, маса тіла — (125 ± 5) грамів) безперервними мікрохвилями (довжина хвилі $\lambda = 12$ см; інтенсивність

10 мВт/см^2). Цій групі тварин (12 особин) провели 25 щоденних опромінювань по 30 хвилин; контрольну групу (12 тварин) не піддавали такому опромінюванню. Після цього обидві групи були піддані одноразовому впливу гамма-променів у дозі 600 рентген (летальна доза 50/30). Через тридцять днів у контрольній групі залишилися живими шість особин, тоді як серед щурів, що отримали і мікрохвильове, і іонізуюче опромінення — десять [6]. Аналогічні дослідження були проведені S. Michelson у США (1963 р.). Він встановив, що попереднє опромінення тварин електромагнітними хвилями сантиметрового діапазону низької інтенсивності в кілька разів зменшує смертність від подальшого іонізуючого опромінення [7].

Науковці під керівництвом Ю.Г. Григор'єва вивчали біологічну відповідь дії ІР на тварин, попередньо підданих опроміненню мікрохвилями сантиметрового діапазону [8, 9]. Дослідження проведено на 54 білих безпородних щурах-самицях з масою тіла (155 ± 16) грамів. Дослідну групу (18 тварин) щодня по 30 хвилин протягом 8 діб опромінювали електромагнітним полем (довжина хвилі $\lambda = 3,2$ см; інтенсивність $0,2 \text{ мВт/см}^2$). У подальшому, на 9-ту добу після початку опромінювання мікрохвилями, тварин дослідної та контрольної груп одноразово піддавали гамма-опроміненню в сумарній дозі 5,5 Гр (потужність дози $0,01 \text{ Гр/с}$). У щурів, раніше опромінених мікрохвилями, відзначалася виражена тенденція до підвищення виживаності порівняно з такою у контрольних, що зазнали тільки гамма-опромінення. Попередній мікрохвильовий вплив зменшив рівень смертності тварин дослідної групи (після впливу ІВ) більш ніж у 1,5 разу порівняно з контролем. Вста-

новлено, що середній ефективний час, за який загинуло 50% тварин дослідної групи, склав 26,6 доби, тоді як у контрольній — 15,4.

У проведених експериментах [8, 9] оцінювали імунобіологічний статус водночас за двома показниками: реакціями бласттрансформації лімфоцитів у культурі цільної крові в мікромодифікації реакціями утворення автобляшок — за загальноприйнятими методиками. При комбінованому впливі мікрохвиль та ІВ мало місце значне збільшення індексу стимуляції в реакції бласттрансформації лімфоцитів (10,1) порівняно з індексом (5,42) у групі, в якій тварини не зазнавали жодних опромінь, а також порівняно з індексом (3,13) серед щурів, які підлягали лише дії іонізуючого випромінювання. Щодо кількості автобляшок, то величина цього показника при комбінованому опромінюванні збільшувалася (порівняно з неопроміненими тваринами) всього вдвічі, тоді як у підданих тільки дії ІР зросла у 5 разів. Відзначаючи добре відому радіочутливість Т-лімфоцитів, науковці вказують, що попереднє опромінення мікрохвилями підвищує стійкість останніх до впливу ІР. Як інтегральний тест у оцінці функціонального стану імунокомпетентних клітин, динаміка реакції бласттрансформації свідчить про властивість організму під впливом мікрохвиль набувати нової здатності до відповідної реакції на гамма-випромінювання, у чому дослідники вбачають певну специфічність біологічної дії мікрохвиль.

Вплив мікрохвиль на стійкість мишей до впливу ІВ вивчала Д. Ротковська зі співавт. [10]. Вони показали, що попереднє п'ятихвилинне опромінювання мишей електромагнітними хвилями $\lambda = 12,2$ см перед тим, як їх піддали дії ікс-променів, знижує смертність тварин порівняно з використанням лише ікс-променів, без застосування мікрохвиль.

Вплив низькоінтенсивних імпульсних електромагнітних полів НВЧ на характеристики перебігу променевої хвороби у мишей-самців (лінія СВА; вік 8–12 тижнів) досліджувала А. О. Цуцаєва зі співавт. [11]. Миші були розподілені на п'ять груп по 40 особин: групу N — нормальних тварин, що не одержували ніяких опромінь; групу R — летально опромінених (іонізуюча радіація, доза 7 Гр); групу N + НВЧ — нормальних тварин, що підлягали впливу імпульсного НВЧ-поля

протягом 16 годин; групу R + НВЧ — летально опромінених і підданих впливу імпульсного НВЧ-поля відразу ж після опромінення; групу R + 24 НВЧ — летально опромінених щурів, які підлягали дії імпульсного НВЧ-поля через 24 години після дії ІВ. Спостереження вели протягом 260 діб. За цей період у групах N і N + НВЧ тварини не загинули. У групі R їх загибель почалася через 3 доби після опромінення; середня тривалість життя становила 8 діб. У тварин груп R + НВЧ і R + 24 НВЧ середня тривалість життя становила 77 і 90 діб відповідно.

У дозі 8 Гр, що була летальною, И. Г. Акоев зі співавт. [12] опромінював гамма-квантами білих мишей. Вже в перші 5–10 діб після опромінення 50% особин контрольної групи загинули. У дослідній групі миші після такої самої дози ІР були піддані тривалому (близько 23 годин) опроміненню НВЧ-хвилями (інтенсивність 5 мкВт/см²) від генератора типу Я2Р-76, що працював у режимі змін частоти 8–18 ГГц (частота змін 12–14 Гц). У результаті тривалість життя цих тварин виявилася довшою на 2,5–7 діб (імовірність статистичної надійності — понад 0,95). У іншій праці И. Г. Акоев зі співавт. [13] перед дією гамма-променів у летальній дозі (5 Гр) піддавав білих мишей 23-годинному низькоінтенсивному (5 мкВт/см²) впливу мікрохвиль (2–8 ГГц) у режимі змін частоти від генератора типу Г4-194 (частота змін 12–14 Гц). У дослідній групі тривалість життя тварин виявилася більшою на 2,8–4,2 доби (імовірність статистичної надійності понад 0,95).

Група, яку очолювала Е. А. Губкіна [14], досліджувала ефекти комбінованого впливу випромінювання міліметрового діапазону дотеплової інтенсивності та ікс-променів на організм щурів. Джерелом НВЧ-хвиль був генератор типу Г4-141, що працює у режимі змін частоти у діапазоні 38–53 ГГц. Середня інтенсивність мікрохвиль складала 7 мВт/см². Ікс-промені генерувалися установкою РУМ-17. Тварин опромінювали протягом 8 днів; сумарна доза складала 24 рентгени. Опромінення міліметровими хвилями почали за 15 днів до початку впливу ікс-променів. У наступні 8 днів проводили комбіноване опромінювання в послідовності «міліметрові хвилі — ікс-промені». Оцінювали вміст гліального фібрилярного кислого білка (ГФКБ) у різних відділах мозку, а також концентрацію глюкози в сироватці крові. Вста-

новлено, що роздільна дія ікс-променів і НВЧ-хвиль знижує концентрацію ГФКБ. При комбінованому впливі (НВЧ плюс ікс-промені) концентрація цього білка збільшується по відношенню до такої при рентгенівському опроміненні і досягає величин, зареєстрованих у контролі. Збільшення концентрації глюкози реалізується тільки при дії винятково ікс-променів. Комбіноване ж опромінення приводить до нормалізації рівня глюкози в крові. Науковці роблять висновок, що при поєднанні дії ІВ з НВЧ згладжуються ефекти ІВ, як на клітинному, так і на системному рівнях.

У роботі Э.М. Аминой і Э.Ш. Исмаилова [15] підтверджено можливість радіозахисного впливу електромагнітних випромінень НВЧ. Дослідники вважають доцільним використання мікрохвиль у практиці медичних радіологічних відділень для профілактики та лікування променевої реакції і ушкоджень. Вони повідомляють про виявлення радіопротекторних властивостей мікрохвиль $\lambda = 5,6$ мм при опроміненні насіння кукурудзи, коли згодом його було піддано дії порівняно великих доз гамма-радіації.

Г.И. Лавренчук та Я.И. Серкиз зі співавторів у роботі [16], виконаній на асинхронній культурі клітин лінії L929 (трансформовані метилхолантронном фібробласти мишей), клітинну популяцію опромінювали гамма-квантами в дозі 10 Гр. Вживаність їх зменшилася (на 6-ту добу культивування) до рівня 35% відносно неопроміненого контролю. Коли, після опромінення гамма-променями в тій же дозі, на клітини впливали мікрохвилями в діапазоні частот 37–44 ГГц (інтенсивність 1 мВт/см²), вживаність клітин зросла на 70% порівняно з випадком впливу гамма-випромінення.

У роботі [17] дослідник О.П. Резункова порівнювала швидкість відновлення гемопоезу у білих мишей, опромінених ікс-променями (доза 4 Гр), і після такої дії та впливу впродовж 1 години міліметрових хвиль ($\lambda = 7,1$ мм, інтенсивність 4 мВт/см²). Виявлено, що через 48 годин після пострадіаційного НВЧ-впливу швидкість відновлення гемопоезу виявилася вищою, ніж у контролі при оцінці за мієлоїдним паростком кісткового мозку на 25%, і на 15% — за кількістю лімфоцитів у тимусі і селезінці.

При дослідженні Н.В. Тордия [18] впливу ІР на вживаність диференційованих клітин вищої

водної рослини *Elodea canadensis* встановлено, що їх загибель при впливі гамма-квантів (джерело — ⁶⁰Со) відбувається за дози 4870 Гр. Якщо ж листочки рослини попередньо протягом 30 хвилин опромінювати імпульсами НВЧ в діапазоні 50–70 ГГц (частота повторювання імпульсів 100 Гц, інтенсивність опромінення 10⁻⁵ мВт/см²), то клітини гинуть при дозі 5460 Гр. Це дало науковцю підставу заявити про радіопротекторну дію НВЧ-енергії.

Випадки негативної дії мікрохвиль, що знижує радіорезистентність

Наведені результати свідчать, що НВЧ-опромінення підвищує радіорезистентність живих організмів. Проте є публікації, з яких випливає зовсім інший висновок. До них належить праця Б.И. Давыдова зі співавторів. [19] за результатами дослідів на 2560 нелінійних мишах-самицях. Три групи тварин підлягали НВЧ-опроміненню ($\lambda = 12,6$ см) з інтенсивністю 20, 40 і 100 мВт/см² з експозицією 20, 10 і 4 хвилини відповідно. Таким чином, добова інтегральна величина Pu всіх групах склала ($P =$ інтенсивність \cdot експозиція $= \text{const}$) 400 мВт \cdot хв \cdot см⁻². Тварин опромінювали впродовж 10 діб. Через 10 хвилин після останнього НВЧ-впливу на них впливали гамма-променями ізотопу ⁶⁰Со в дозах 400–900 рентген (потужність дози 25 р/хв) і 1000–20000 рентген (потужність дози 300 р/хв). Оцінювали ефект за середньою тривалістю життя (СТЖ) опроміненого організму, оскільки, як відомо, цей параметр відображує швидкість розвитку радіаційних процесів у тих чи інших біосистемах. Величину ефекту оцінювали за допомогою побудови кривої залежності СТЖ — доза опромінення (крива Б. Раєвського). Науковці встановили, що при комбінованій дії «мікрохвилі плюс гамма-кванти» середня тривалість життя тварин зменшується залежно від інтенсивності дії мікрохвиль: найбільше — при 100 мВт/см², найменше — при 20 мВт/см². Зі збільшенням дози гамма-опромінення ефект «мікрохвильового» впливу зменшувався. Отже, науковці роблять слушний висновок, що в умовах попереднього впливу НВЧ-поля має місце синергізм з гамма-опроміненням.

У працях [20, 21] комбінована дія НВЧ-поля та ІР на тварин, за підсумками досліджень, оцінюється як адитивна або синергічна, спрямована на руйнування організмів.

Подібного висновку дійшли і Г. А. Шальнова, Н. Н. Клемпарская, Е. П. Сомова і співавт. [22], виконавши досліди на 933 мишах (СВА · С57В1/Ф1). На тварин впливали гамма-квантами від ізотопу ^{137}Cs у дозі 8 Гр (летальна доза 80/30). Для опромінення мікрохвилями (інтенсивність 150 мВт/см^2) використовували НВЧ-джерело лінійного прискорювача. Було встановлено, що при будь-яких варіантах чергування і послідовності одноразових впливів ІВ (у летальних дозах) і мікрохвиль перебіг променевої хвороби, викликаного гамма-квантами, обтягується.

Вплив величин інтенсивності мікрохвиль на зміну радіорезистентності — її підвищення чи зниження

Чому ж у працях [19–22] не виявлено профілактичного ефекту НВЧ, а навпаки, має місце адитивність деструктивної дії мікрохвиль та іонізуючої радіації? Для розгляду цього питання необхідно звернути увагу на величини інтенсивностей мікрохвиль, використовуваних дослідниками [4–22].

У роботах [4–18] застосовували НВЧ-коливання низького, так званого «дотеплового рівня» інтенсивності, що не перевищує 10 мВт/см^2 (встановлено, що електромагнітні хвилі інтенсивністю менше 10 мВт/см^2 не викликають навіть місцевого нагрівання тканин тіла вище $0,1\text{ }^\circ\text{C}$ [23]). Отже, хоч незначно, але при інтенсивностях понад 10 мВт/см^2 , починається істотне підвищення температури біорідини. А що ж відбувається при інтенсивностях, менших ніж «граничне» значення 10 мВт/см^2 ? Це питання вже було розглянуто [24]. За таких відносно низьких інтенсивностей повітряні бульбашки біорідини збільшують свої розміри і рухаються (підіймаються в гравітаційному полі (сила Архімеда), а також переміщуються в температурному полі до більш нагрітої ділянки (термокапілярна сила)). При цьому швидкість їх руху тим вища, чим більшим є радіус бульбашок [25]. Коли інтенсивність мікрохвиль невисока (менше 10 мВт/см^2), нагрівання рідини практично відсутнє, тому такий рівень інтенсивності називають «дотепловим». У рідині за інтенсивності мікрохвиль дотеплового рівня недостатньо умов для повноцінної конвекції, тому функцію «перемішувачів» рідини виконують повітряні бульбашки, що рухаються і поблизу клітинної мембрани — у примембранному водному шарі.

Цей водний дифузійний шар прилягає до мембрани (молекули води в ньому «упаковані» досить щільно, тому частинки, рухаючись з міжклітинної рідини в клітину (і в протилежному напрямку), проходять цей шар винятково за дифузійним механізмом. Оскільки товщина примембранного водного дифузійного шару у набагато разів більша товщини власне плазматичної мембрани (ліпідного бішару) [26], то частинка, дифундуючи з міжклітинної рідини в клітину (і в протилежному напрямку), витрачає у набагато разів більше часу на подолання цього шару, ніж на проходження крізь мембрану. Тому «ефективна» проникність плазматичної мембрани (для конкретної частинки) обернено пропорційна часу її дифузійного руху через систему «мембрана плюс примембранний водний дифузійний шар». Очевидно, інтенсивність обмінних процесів між клітиною і міжклітинним середовищем визначається величиною «ефективної» проникності мембрани. Повітряні бульбашки, рухаючись у примембранному водному шарі, «розпушують» його, тим самим зменшуючи «ефективну» товщину зазначеного шару.

Електромагнітна хвиля НВЧ дотеплової інтенсивності, поширюючись у біорідині, забезпечує збільшення радіусів повітряних бульбашок, які через це сильніше «розпушують» примембранний водний шар, ніж за відсутності електромагнітної хвилі. Отже, практично без зміни температури «ефективна» проникність мембрани зростає. В [24] зазначено, що 30-хвилинне опромінення крові людини (*in vitro*) низькоінтенсивними (4 мВт/см^2) мікрохвилями ($\lambda = 6\text{ мм}$) на 11% збільшує «ефективну» проникність еритроцитарних мембран.

У [27, 28] викладено загальноприйняті уявлення про неспецифічні реакції клітин на зовнішні впливи. Швидкість біохімічних процесів у клітинах визначається рядом параметрів, зокрема, рівнем ферментативної активності, яка, в свою чергу, залежить і від присутності в біосередовищах низькомолекулярних органічних речовин. Зі зростанням концентрації останніх зазначена активність знижується, і навпаки. Причина такої залежності полягає в наявності оборотної адсорбції лігандів на білкових молекулах ферментів, що ускладнює їх конформаційну рухливість, необхідну для здійснення ферментативного акту.

В нормі активність усіх ферментів доволі знижена, оскільки залежить від складу лігандів, які оточують їх молекули. Збільшення проникності системи «плазматична мембрана плюс примембранний водний шар» (спричинене фактом низькоінтенсивного НВЧ-опромінення клітини) тягне за собою вихід із клітини і зниження внутріклітинної концентрації частини органічних субстратів. У результаті підвищується активність ферментів у клітині, що прискорює низку процесів, включаючи стимуляцію проліферації. Якщо тепер на клітину впливати ІР, то наявні радіаційні пошкодження будуть успішніше (і швидше) репаровані, ніж за відсутності попереднього опромінення НВЧ-хвилями. У працях [4–18] використовували електромагнітні хвилі дотеплової інтенсивності, які забезпечували збільшення «ефективної» проникності мембран практично без підвищення температури.

У працях [19–22], навпаки, застосовували мікрохвилі, інтенсивність яких перевищувала «граничну» величину 10 мВт/см^2 . Температура біооб'єктів при цьому істотно підвищувалася: наприклад, у [22] ректальна температура у мишей за 2 хв опромінення зросла з 37 до 41°C . Відомо, що при підвищенні температури одночасно діють два різних фактори: з одного боку — збільшення істинної каталітичної активності ферменту, з іншого — прискорення процесу його деструкції [29]. Остання обставина забезпечує безперервне зменшення концентрації активних ферментів у клітинах. Зрозуміло, що наявність теплової інактивації ферментів (реалізується через розрив слабких зв'язків у молекулі білка і порушення третинної і вторинної структур, специфічних для активного ферменту), унаслідок НВЧ-нагрівання, створює серйозну небезпеку для організму. Подальший вплив ІР, якого зазнає тварина, тільки додає руйнівного ефекту у розпочатий потужними мікрохвилями процес деградації біологічних клітин. У результаті знижується радіорезистентність організму, що й підтверджено у працях [19–22].

Не можна обминути слушне питання про причини відсутності впровадження в медичну практику електромагнітних хвиль НВЧ для протидії наслідкам променевого ураження. Це, на нашу думку, пояснюється тим, що кількість відповідних публікацій, які демонструють позитивні результа-

ти, не є приголомшливо великою порівняно з кількістю праць, де отримано негативні висновки. Ми сподіваємося, що наша публікація, вказавши на застосування електромагнітних хвиль інтенсивністю понад 10 мВт/см^2 як на основну причину одержання негативних результатів, спонукає читачів «Українського радіологічного журналу» продовжити досліди з підвищення радіорезистентності за допомогою впливу низькоінтенсивних мікрохвиль. Ми впевнені, що мікрохвилі з інтенсивністю менше 10 мВт/см^2 суттєво можуть зменшити наслідки променевого ураження організму людини.

Таким чином, по-перше, дія мікрохвиль дотеплового рівня інтенсивності (менше 10 мВт/см^2) підвищує радіаційну стійкість клітин і організмів. А по-друге, вплив мікрохвиль із рівнем інтенсивності вище 10 мВт/см^2 знижує їх радіаційну стійкість.

Ми щиро вдячні завідувачу лабораторії протирадіаційних препаратів ДУ «Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва НАМН України» кандидату біологічних наук старшому науковому співробітнику Є.М. Мамотюку за проведені плідні дискусії та отримані від нього цінні поради. Висловлюємо глибокі співчуття колективу інституту у зв'язку зі смертю цього талановитого вченого.

Література

1. Абрамова Л.С., Деев Л.И., Кудряшов Ю.Б. и др. // *Радиаци. биол. Радиоэкол.* – 2011. – Т. 51, № 4. – С. 457–463.
2. Бурлакова Е.Б., Духович Ф.С., Горбатова Е.Н. и др. // *Там же.* – № 6. – С. 660–669.
3. Васин М.В., Антипов В.В., Комарова С.Н. и др. // *Там же.* – № 2. – С. 243–246.
4. Barron C.I., Vaccuff A.A. // *J. Amer. Med. Assoc.* – 1958. – Vol. 168. – P. 1104–1107.
5. Соколов А.А., Ариевич М.Н. // *Труды Ин-та гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР* – 1960. – Т. 1. – С. 43–45.
6. Пресман А.С., Левитина И.А. // *Радиобиол.* – 1962. – Т. 2, № 1. – С. 170–171.
7. Michaelson S. // *Aerospace Med.* – 1963. – Vol. 34, № 2. – P. 111–115.
8. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Батанов Г.В. и др. // *Радиобиол.* – 1981. – Т. 21, № 2. – С. 289–293.
9. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Батанов Г.В. и др. // *Космич. биол. и авиакосм. мед.* – 1987. – Т. 21. – С. 4–9.
10. Ротковска Д., Вацек А., Бартоничкова А. // *Радиобиол.* – 1981. – Т. 21, № 4. – С. 558–562.
11. Цуцаева А.А., Макаренко Б.И., Симонова Н.Я. и др. // *Материалы 3-й Крымской конференции «СВЧ техника и спутниковый прием»* // Под ред. П.П. Ермолова. – Севастополь: Вебер, 1993. – С. 563–566.
12. Акоев И.Г., Мельников В.М., Усачев А.В., Кожокару А.Ф. // *Радиаци. биол. Радиоэкол.* – 1994. – Т. 34, № 4–5. – С. 671–674.

-
13. Акоев И.Г., Кожокару А.Ф., Мельников В.М. и др. // Там же. – 1994. – Т. 34, № 4–5. – С. 675–676.
 14. Губкина Е.А., Кушнир А.Е., Березюк С.К. и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т. 36, № 5. – С. 722–726.
 15. Аминова Э.М., Исмаилов Э.Ш. // Там же. – 1999. – Т. 39, № 2–3. – С. 345–348.
 16. Лавренчук Г.И., Серкиз Я.И., Рябченко Н.Н. и др. // Там же. – 2001. – Т. 41, № 1. – С. 73–77.
 17. Резункова О.П., Резунков А.Г. // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2003. – № 2. – С. 60–63.
 18. Гордия Н.В. // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля. – 2005. – № 3 (2). – С. 150–153.
 19. Давыдов Б.И., Антипов В.В., Тихончук В.С. // Космические исследования. – 1974. – Т. 12, № 1. – С. 129–133.
 20. Thomson R., Michaelson S., Howland J. // *Aerospace Med.* – 1967. – Vol. 38. – P. 252–260.
 21. Murrey R.H., McCally M. // *Bioastronom. Book Date, NASA.* – 1972. – P. 881–889.
 22. Шальнова Г.А., Клемпарская Н.Н., Сомова Е.П. и др. // Радиобиология. – 1993. – Т. 33, № 1. – С. 128–132.
 23. Обухан К.І. Оцінка порогових рівнів біологічної дії випромінювання на клітинні системи. – К.: Правда Ярославичів, 1998. – 168 с.
 24. Ємець Б.Г. Ефекти взаємодії низькоінтенсивних електромагнітних хвиль з нанорозмірними газовими включеннями в рідких середовищах: Автореф. дис. ... д-ра фіз.-мат. наук / Харків. нац. ун-т. – Харків, 2004. – 33 с.
 25. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: Физматгиз, 1959. – 699 с.
 26. Котык А., Яначек К. Мембранный транспорт. – М.: Мир, 1980. – 341 с.
 27. Эйдус Л.Х. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т. 36, № 6. – С. 874–882.
 28. Эйдус Л.Х. Мембранный механизм биологического действия малых доз. Новый взгляд на проблему. – Пушкино: ИТЭБ РАН, 2001. – 191 с.
 29. Диксон М., Уэбб Э. Ферменты. – М.: Мир, 1982. – Т. 1. – 195 с.

Надходження до редакції 24.07.2012.

Прийнято 14.09.2012.

Адреса для листування:
Ємець Борис Григорович,
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, Харків, 61022, Україна