



В. Ф. ЧЕХУН

*В. Ф. Чехун, академік НАН України, директор Інституту експериментальної патології, онкології і радіобіології імені Р. Є. Кавецького НАН України, завідувач відділу механізмів протипухлинної терапії, доктор медичних наук, професор*

*І. Л. Якименко, провідний науковий співробітник відділу мікрооточення пухлинних клітин Інституту експериментальної патології, онкології і радіобіології імені Р. Є. Кавецького НАН України, завідувач кафедри біофізики Білоцерківського національного аграрного університету, доктор біологічних наук, професор*

*Є. П. Сидорик, головний науковий співробітник відділу мікрооточення пухлинних клітин, керівник лабораторії біофізики Інституту експериментальної патології, онкології і радіобіології імені Р. Є. Кавецького НАН України, доктор медичних наук, професор*

*О. С. Цибулін, доцент кафедри біофізики Білоцерківського національного аграрного університету, кандидат біологічних наук*

## Сучасний стан міжнародних та національних стандартів безпеки населення щодо електромагнітного випромінювання радіодіапазону

### Вступ

Неіонізуюче електромагнітне випромінювання (ЕМВ), зокрема радіодіапазону, є невід'ємним фактором зовнішнього середовища в оточенні людини. Проте упродовж останніх десятиліть рівень цього фактора на планеті, особливо в індустріально розвинених країнах, драматично зріс. Так, рівень фонового радіовипромінювання у житлових приміщеннях Німеччини з 1985 по 2005 рр. зріс у 5000 разів (рис. 1) [29]. Вочевидь, це обумовлено розвитком бездротових технологій, і, в першу чергу, мобільного зв'язку. Отже, саме за останні два – три десятиліття комерційні мережі мобільного (стільникового) зв'язку пройшли стрімкий розвиток і зараз охоплюють майже все населення планети (рис. 2). Це призвело до суттєвого росту електромагнітного опромінення людини, що викликає закономірну стурбованість

щодо ризиків для здоров'я людини. Упродовж останніх років на сторінках провідних наукових часописів розгорнулася серйозна полеміка з цієї проблеми [7, 25, 32]. Вагомою віхою у цій полеміці стало рішення Всесвітньої організації охорони здоров'я у травні 2011 р. щодо визнання ЕМВ радіодіапазону потенційним канцерогеном для людини (група 2В) на підставі суттєвого зростання ризику розвитку гліом у користувачів мобільними телефонами після тривалого (понад 10 років) та інтенсивного (близько години щодоби) користування [6].

У даній статті ми коротко аналізуємо проблеми електромагнітної безпеки населення з огляду на сучасний стан міжнародних та національних стандартів безпеки.

*ЕМВ радіодіапазону* охоплює діапазон ЕМВ з частотою від декількох герц до 300 ГГц. При цьому мікрохвильове

випромінювання (мікрохвилі, ультракороткі хвилі) обмежене частотами 30 МГц – 300 ГГц. Наприклад, стільниковий зв'язок найбільш розповсюдженого стандарту — стандарту GSM — використовує електромагнітні хвилі з частотами в діапазоні 850–1900 МГц.

ЕМВ радіодіапазону відноситься до неіонізуючих видів випромінювання, бо енергії випромінювання недостатньо для іонізації атомів та молекул.

### Епідеміологічні дослідження

Ранні епідеміологічні докази ризиків для здоров'я людини від тривалої дії радіовипромінювання низької інтенсивності пов'язані з військовим застосуванням радіотехніки. Наприклад, є дані, що серед польських військовослужбовців віком 20–29 років, що під час служби в армії піддавалися дії радіовипромінювання, рівень онкозахворювань був у 5,5 разів

вищим, ніж серед тих, що не опромінювалися [43]. Проте упродовж останніх років увага дослідників сконцентрована на ризиках радіоопромінювання від систем мобільного зв'язку. Суттєвий внесок у виявлення ризиків від радіовипромінювання мобільних телефонів для розвитку пухлин головного мозку зробила група шведського онколога професора Л. Харделла. У серії епідеміологічних досліджень показано, що тривале (понад 10 років) користування мобільним телефоном суттєво збільшує ризики розвитку гліом головного мозку (до 3–5 разів) [20] та невриноми слухового нерву (майже у 3 рази) [19]. Ці дані були фактично підтверджені у масштабному міжнародному проекті INTERPHONE [23]. Попри те, що за ненапруженого використання мобільних телефонів (до 5 хв на добу) ризиків розвитку пухлин не було виявлено, при інтенсивному використанні (близько

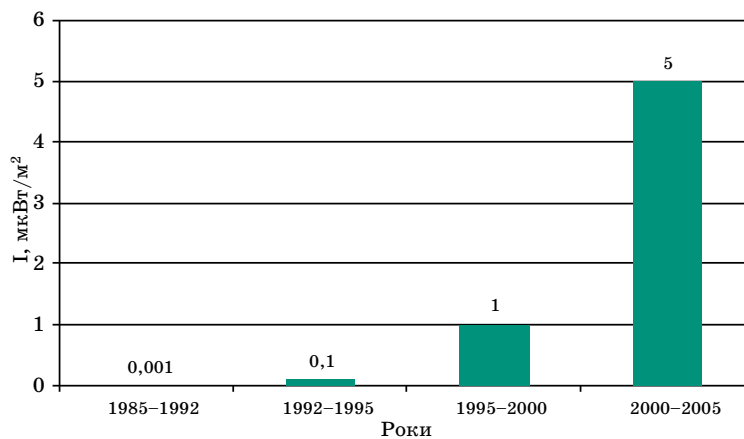


Рис. 1. Динаміка інтенсивності фонового ЕМВ радіодіапазону у житлових приміщеннях Німеччини упродовж 1985–2005 рр. [29]

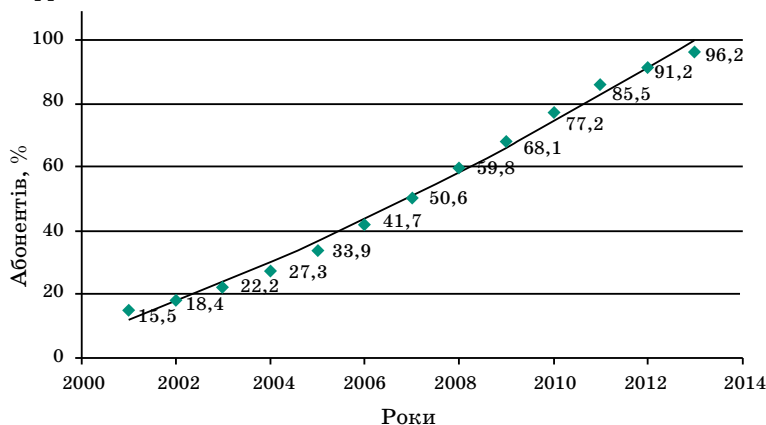


Рис. 2. Динаміка абонентів мобільного зв'язку у світі упродовж 2001–2013 рр., по осі ординат — відсоток від загального населення планети, за даними ІТУ (International Telecommunication Union, Mobile-cellular subscriptions 2001–2013; <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>)

1 год щодоби упродовж 4 років) ризик розвитку гліом у користувачів зростав у 3,8 рази, менінгіом — у 4,8 рази.

Ізраїльські науковці виявили достовірне зростання (у 2,3 рази) ризику розвитку пухлин привушної слинної залози (яка суттєво опромінюється під час користування мобільним телефоном) після 5 років користування мобільним зв'язком по 3 год щодоби [8]. Крім ризику розвитку пухлин, у користувачів мобільними телефонами виявляють біль у голові або вусі під час або після тривалих телефонних розмов [9, 37].

Радіовипромінювання від базових станцій мобільного зв'язку (у зоні до 300–400 м) спричиняло зростання рівня онкологічних захворювань у 3,1 рази через 10 років роботи станції [11], викликало суттєві зміни у гормональному статусі вже через перші 6 міс опромінення [5] та виражено погіршувало самопочуття людей [42, 44].

Виявлено, що відсоток людей, що пов'язують свої проблеми зі здоров'ям із дією електромагнітного випромінювання, упродовж останніх двох десятиліть зріс від сотих процента до 9–11 % від загальної кількості населення таких країн, як Німеччина, Швеція, Велика Британія [18].

### Експериментальні дослідження

Показано, що тривале, упродовж 18–24 міс, мікрохвильове опромінення лабораторних щурів та мишей призводило до вірогідного, у 2,1–3,6 рази, підвищення рівня злоякісних новоутворень у цих тварин порівняно з контролем [26, 28]. Тривала дія низькоінтенсивного радіовипромінювання мікрохвильового діапазону провокувала розвиток автоімунних процесів у лабораторних тварин [1, 2]. Усього 2 год опромінення молодих лабораторних щурів ЕМВ стандарту GSM 900 МГц призводило до ушкодження чи загибелі до 2 % нейронів головного мозку останніх [33]. А опромінення перепелиних ембріонів упродовж 158 год призводило до вираженого пригнічення ембріонального розвитку та ушкодження ДНК в ембріональних клітинах [17]. Радіовипромінювання призводило до вірогідного збільшення продукції активних форм кисню у живих клітинах у дослідженнях *in vivo* [24, 35, 36] та *in vitro* [30, 31]. Доведено виражену мутагенну дію низькоінтенсивного радіовипромінювання [38]. При цьому виявлено окисний

механізм ушкодження ДНК низькоінтенсивним радіовипромінюванням [31, 35].

Мінімальні рівні поглинутої енергії, за яких виявлено мутагенні ефекти на фібробластах людини, становили 0,3 Вт/кг для випромінювання стандарту GSM та 0,05 Вт/кг для випромінювання стандарту UMTS [13]. Мінімальні інтенсивності випромінювання стандарту GSM, за яких виявлено виражені мутагенні ефекти на модельних біологічних об'єктах, становили 0,25 мкВт/см<sup>2</sup> [17].

У ряді досліджень виявлено значимість модуляції випромінювання для вираженості біологічних ефектів [10, 14]. Крім того, переривчастий режим опромінення мав більш виражений мутагенний ефект, ніж безперервний [34].

### Міжнародні норми електромагнітної безпеки населення

Основним міжнародним документом, що регламентує норми ЕМВ радіодіапазону, є рекомендації Міжнародної комісії із захисту від неіонізуючого випромінювання (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection — ICNIRP), прийняті у 1998 р. [22]. У мікрохвильовому діапазоні регламентується енергія, поглинута біологічною тканиною на одиницю маси (specific absorption rate, SAR) та інтенсивність випромінювання. Перша величина для голови та тулубу людини (для цивільного населення) становить 2 Вт/кг, друга — 450–1000 мкВт/см<sup>2</sup> (залежно від частоти). У рекомендаціях чітко визнано, що запропоновані норми базуються виключно на оцінці теплових ефектів короткочасної (до 30 хв) дії випромінювання і не оцінюють довготривалі біологічні ефекти. Рекомендації не мають законодавчої сили і мали би переглядатися кожні 5 років по мірі накопичення нових даних щодо проблеми [16]. Рекомендації не нормують інтенсивність електромагнітного випромінювання залежно від часу опромінення людини і не враховують модуляцію чи імпульсний характер випромінювання. Крім того, рекомендації ICNIRP не враховують, що мозок дитини опромінюється значно (у 1,6–3,2 рази) сильніше, ніж мозок дорослої людини, від одного й того ж джерела випромінювання (рис. 3) [3].

У 1999 р. Рада Європи прийняла «Рекомендації щодо обмеження опромі-

нювання населення електромагнітним випромінюванням (0 Гц – 300 ГГц)», 1999/519/ЕС, які фактично повторили рекомендації ICNIRP [41].

### Національні норми електромагнітної безпеки населення

Національні законодавства різних країн у галузі електромагнітної безпеки умовно можна розділити на три категорії: 1) ті, що фактично не обмежують ЕМВ; 2) ті, що підтвердили на законодавчому рівні рекомендації ICNIRP; 3) ті, що ввели значно жорсткіші обмеження (рис. 4) [41].

Так, до країн першої категорії, які не мають законодавчо визначених обмежень для ЕМВ радіодіапазону, належать Австрія, Велика Британія, Латвія, Нідерланди, Південно-Африканська

Республіка, Швеція [16, 41]. При цьому, наприклад, у Великій Британії телекомунікаційні компанії підписали добровільні зобов'язання дотримуватись Рекомендацій 1999/519/ЕС.

Законодавства країн другої категорії закріпили рекомендації ICNIRP (з деякими модифікаціями) на національному рівні. Треба визнати, що значна частина розвинених країн, зокрема Німеччина, Франція, США, Канада, Австралія, Японія, Чеська Республіка, Фінляндія, Естонія належать саме до цієї категорії країн. У більшості країн цієї категорії дозволена інтенсивність радіовипромінювання мікрохвильового діапазону становить 450–1000 мкВт/см<sup>2</sup> (залежно від частоти) [41].

До третьої категорії країн, законодавства яких у галузі електромагнітної

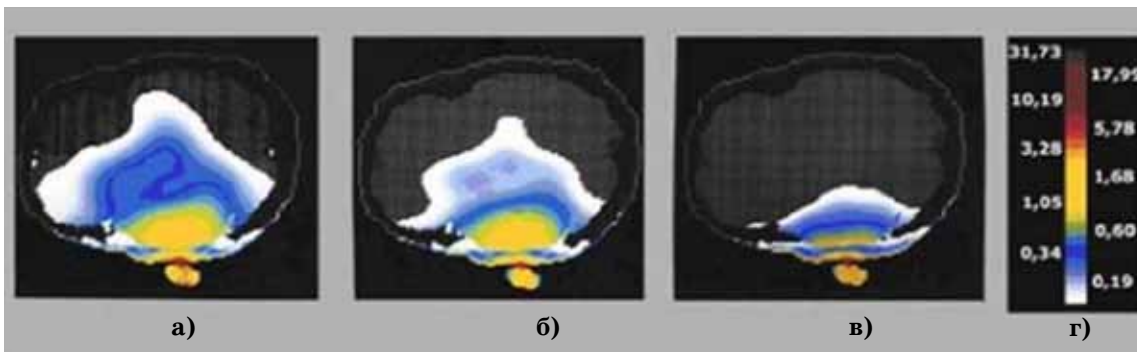


Рис. 3. Глибина проникнення ЕМВ радіодіапазону стандарту GSM 900 МГц у мозок 5-річної дитини (а), 10-річної дитини (б) та дорослої людини (в), праворуч (г) — шкала SAR [13]

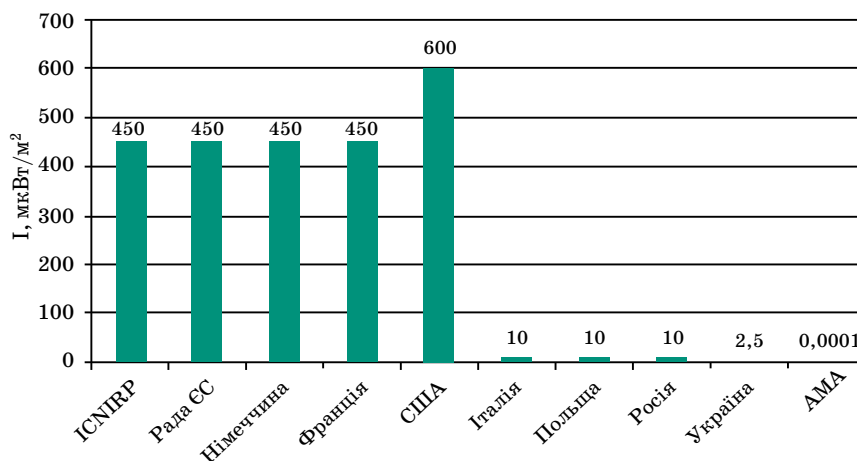


Рис. 4. Норми інтенсивності ЕМВ радіодіапазону на частоті 900 МГц згідно з рекомендаціями ICNIRP, Ради Європи, національних законодавств деяких країн та Австрійської медичної асоціації (АМА)

безпеки є значно жорсткішими і базуються на визнанні нетеплових біологічних ефектів радіовипромінювання або принципі упередження (precautionary principle), належать Болгарія, Італія, Литва, Польща, Росія, Китай. Дозволена інтенсивність радіовипромінювання у цих країнах становить 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Крім того, у нормативних документах цих країн часто регламентовано час перебування людини у зоні опромінення. Більшість із вищезазначених країн використали досвід СРСР у визнанні нетеплових ефектів радіовипромінювання (наприклад, [1]). У той же час законодавство Італії в галузі електромагнітної безпеки — яскравий приклад впровадження принципу упередження ризиків, що передбачає встановлення норм опромінення населення настільки малими, наскільки це технічно можливо, навіть попри недоведені ризики для здоров'я людини.

В Україні, яка теж відноситься до цієї категорії країн, дозволений рівень ЕМВ радіодіапазону регламентується «Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», затвердженими наказом МОЗ України № 239 від 01.08.1996 р. Норма становить 2,5 мкВт/см<sup>2</sup> для цивільного населення, тобто є однією з найжорсткіших у світі. Це обумовлено значним досвідом вітчизняних вчених у вивченні нетеплових ефектів радіовипромінювання (наприклад, [2]).

Крім регламентації санітарних норм електромагнітної безпеки, ряд країн ініціювали додаткові регуляторні акти щодо обмеження радіоопромінення певних категорій населення, в першу чергу, дітей. Яскравим прикладом є рішення парламенту Франції заборонити користування мобільними телефонами дітям та підліткам (до 14 років) під час перебування в громадських закладах освіти. Іншим прикладом є рішення міністерства освіти Ізраїлю з 2012 р. ввести жорсткі обмеження на використання Wi-Fi у школах країни [15]. Нещодавно Австрійська медична асоціація випустила рекомендації для медиків країни щодо діагностики та лікування хвороб та станів, пов'язаних з електромагнітним опроміненням [4]. У рекомендаціях пропонуються надзвичайно жорсткі обмеження щодо інтенсивності радіовипромінювання при

тривалому (понад 4 год на добу) перебуванні людини у зоні випромінювання — до 0,0001 мкВт/см<sup>2</sup>.

### Обговорення

Сучасний рівень знань про потенційні ризики від ЕМВ радіодіапазону для здоров'я людини вимагає суттєвої переоцінки колишнього статусу цього фізичного фактора як біологічно інертного та безпечного для здоров'я людини (поза межами теплових ефектів). Наукова полеміка з цього питання зараз вже перейшла у політичну та законодавчу площину. Так, у квітні 2009 р. Європейський парламент прийняв резолюцію А6-0089/2009 щодо ризиків для здоров'я, пов'язаних з електромагнітним випромінюванням. Резолюція, зокрема, закликає країни-члени ЄС забезпечити фінансування та активізувати дослідження з оцінки ризиків довготривалих ефектів радіовипромінювання від систем мобільного зв'язку та з оцінки негативних ефектів одночасної дії ЕМВ від різних джерел [12]. Очевидно, що провідна неурядова міжнародна інституція у галузі електромагнітної безпеки, ICNIRP, не встигає за вимогами часу. Її рекомендації, що базуються виключно на оцінці короткотермінової теплової дії ЕМВ на організм людини, не відповідають сучасному рівню знань щодо проблеми [13]. Адже експериментальні та епідеміологічні докази мутагенної та канцерогенної дії радіовипромінювання, виявлені упродовж останніх років, були отримані за рівнів інтенсивності, на декілька порядків менших, ніж рекомендовані ICNIRP як безпечні.

Звертає на себе увагу велика, у декілька порядків, різниця у рівнях санітарних норм електромагнітної безпеки різних країн. Те, що багато розвинених країн мають норми, що фактично закріплюють рекомендації ICNIRP, безумовно, в першу чергу, пояснюється економічними важелями, в тому числі потужними фінансовими інтересами індустрії бездротових технологій. Невідповідність цих норм безпеки вимогам часу засвідчується, до речі, введеннями додаткових регуляторних актів на користування засобами мобільної телефонії та бездротового Інтернету у деяких з цих країн. При цьому ні рекомендації ICNIRP, ні національні норми багатьох країн світу не враховують характер випромінювання,

зокрема, його модуляцію чи імпульсний характер. Проте це може бути критичним у випадку з цифровою модуляцією сигналу.

Цікаво, що серед країн ЄС сьогодні немає єдиної думки щодо норм електромагнітної безпеки радіодіапазону. Національні законодавства одних країн взагалі не обмежують рівні інтенсивності радіовипромінювання (Австрія, Велика Британія, Латвія, Швеція). Інші країни законодавчо закріпили норми ICNIRP (Німеччина, Франція, Чеська Республіка, Фінляндія, Естонія). Треті країни мають значно жорсткіші норми електромагнітної безпеки (Італія, Болгарія, Литва, Польща).

Нормативна база України в галузі електромагнітної безпеки населення виглядає доволі жорсткою, але треба визнати, що, по-перше, у наказі МОЗ № 239 від 1.08.1996 р. визначено тимчасовий характер норми  $2,5 \text{ мкВт/см}^2$ . По-друге, ця норма часто порушується на практиці. Так, згідно з нашими дослідженнями, близько 60 % перевірених у 2010 р. мобільних телефонів абонентів Київського регіону мали рівні випромінювання, що значно перевищували вищевказану норму [37].

На наше стійке переконання, Україна має формувати і витримувати жорстку національну політику щодо належного захисту населення від ризиків надмірного опромінення неіонізованим ЕМВ, пов'язаних сьогодні, в першу чергу, з практично неконтрольованим розвитком мобільної телефонії та бездротового Інтернету. Нинішнє покоління дітей та молоді є першим в історії людства, що зростає в умовах небувало інтенсивного опромінення мозку ЕМВ радіодіапазону з мінімальної відстані (від мобільних телефонів) часто по декілька годин на добу [37]. На жаль, епідеміологічні дані про

достовірне зростання ризиків розвитку пухлин головного мозку [21, 27] та значний відсоток молоді з больовими відчуттями в голові та/або вусі під час розмов з мобільного телефону [9, 37] говорять про те, що довготривалі наслідки таких впливів можуть бути вкрай небезпечними для здоров'я нації в цілому. Не можна забувати про важку спадщину чорнобильської катастрофи для багатьох регіонів країни. Адже частина нинішньої молоді несе на собі тягар хронічної дії низьких доз іонізуючого випромінювання. І не можна виключати ризиків синергічної дії цих двох факторів (іонізуючого та неіонізуючого випромінювання) для частини населення країни [39, 40].

Таким чином, упродовж останніх десятиліть рівень фонового ЕМВ радіодіапазону у розвинених країнах зріс у тисячі разів, що призвело до суттєвого збільшення рівня хронічного опромінення населення. Епідеміологічні та експериментальні дослідження останніх років засвідчують суттєві ризики для здоров'я людини від тривалої дії ЕМВ радіодіапазону навіть за незначної інтенсивності. Національні законодавства різних країн у галузі безпеки населення щодо ЕМВ радіодіапазону варіюють від відсутності обмежень та обмеження теплової дії випромінювання (лімітована інтенсивність у  $450\text{--}1000 \text{ мкВт/см}^2$ ) до обмеження нетеплової дії випромінювання та впровадження принципу упередження (лімітована інтенсивність у  $2,5\text{--}10 \text{ мкВт/см}^2$ ). Сучасний рівень знань щодо проблеми біологічних ризиків дії ЕМВ радіодіапазону свідчить на користь національних законодавств із максимальним обмеженням дозволених рівнів інтенсивності ЕМВ радіодіапазону.

## Список літератури

1. Аутоиммунные процессы после пролонгированного воздействия электромагнитных полей малой интенсивности (результаты эксперимента). Сообщение 4. Проявление оксидативных внутриклеточных стресс реакций после хронического воздействия ЭМП РЧ низкой интенсивности на крыс / Ю. Г. Григорьев, В. Ф. Михайлов, А. А. Иванов [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2010. — № 1. — С. 22–27.
2. Виноградов Г. И. Изменение антигенных свойств тканей и аутоаллергические процессы при воздействии СВЧ-энергии / Г. И. Виноградов, Ю. Д. Думанский // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. — 1974. — № 8. — С. 76–79.
3. Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users / A. Christ, M. C. Gosselin, M. Christopoulou [et al.] // Phys. Med. Biol. — 2010. — Vol. 55, N 7. — P. 1767–1783.
4. Austrian Medical Association. Guideline of the Austrian Medical Association for the diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses (EMF syndrome) ; [Consensus paper of the Austrian Medical Association's EMF Working Group]. — Vienna, 2012. — 17 p.
5. Buchner K. Changes of clinically important neurotransmitters under the influence of modulated RF fields — A long-term study under real-life conditions / K. Buchner, H. Eger // Umwelt-Medizin-Gesellschaft. — 2011. — Vol. 24, N 1. — P. 44–57.
6. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields / R. Ban, Y. Grosse, B. Lauby-Secretan [et al.] // Lancet Oncol. — 2011. — Vol. 12, N 7. — P. 624–626.
7. Cardis E. Indications of possible brain-tumour risk in mobile-phone studies: should we be concerned? / E. Cardis, S. Sadetzki // Occup. Environ. Med. — 2011. — Vol. 68, N 3. — P. 169–171.
8. Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors — a nationwide case-control study / S. Sadetzki, A. Chetrit, A. Jarus-Hakak [et al.] // Am. J. Epidemiol. — 2008. — Vol. 167, N 4. — P. 457–467.
9. Clinical features of headache associated with mobile phone use: a cross-sectional study in university students [Electronic publication] / M. K. Chu, H. G. Song, C. Kim, B. C. Lee // BMC Neurol. — 2011. — N 1. — P. 115. — Mode of access : <http://www.biomedcentral.com/1471-2377/11/115> — Name from the screen.
10. DNA damage in Molt-4 T-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency fields in vitro / J. L. Phillips, O. Ivaschuk, T. Ishida-Jones [et al.] // Bioelectrochemistry and Bioenergetics. — 1998. — Vol. 45, N 1. — P. 103–110.
11. Eger H. Influence of the proximity of mobile phone base stations on the incidence of cancer / H. Eger, K. U. Hagen, B. Lucas [et al.] // Umwelt-Medizin-Gesellschaft — 2004. — N 17. — P. 326–332.
12. European Parliament resolution of 2 April 2009 on health concerns associated with electromagnetic fields A6-0089/2009 [Electronic resource] / European Parliament, 2013. — Mode of access : <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2009-0216+0+DOC+XML+V0//EN> — Name from the screen.
13. Exposure limits: the underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children / O. P. Gandhi, L. L. Morgan, A. A. de Salles [et al.] // Electromagn. Biol. Med. — 2012. — Vol. 31, N 1. — P. 34–51.
14. Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells / R. R. Tice, G. G. Hook, M. Donner [et al.] // Bioelectromagnetics. — 2002. — Vol. 23, N 2. — P. 113–126.
15. Governments and organizations that ban or warn against wireless technology, 2013 [Electronic resource] / The Cellular Phone Task Force, Santa Fe, USA, 2013 — Mode of access : [http://www.cellphonetaskforce.org/?page\\_id=128](http://www.cellphonetaskforce.org/?page_id=128) — Name from the screen.
16. Grandolfo M. Worldwide standards on exposure to electromagnetic fields: an overview / M. Grandolfo // Environmentalist. — 2009. — Vol. 29, N 2. — P. 109–117.
17. GSM 900 MHz cellular phone radiation can either stimulate or depress early embryogenesis in Japanese quails depending on the duration of exposure / O. Tsybulin, E. Sidorik, O. Brieieva [et al.] // Int. J. Radiat. Biol. — 2013. — Vol. 89, N 9. — P. 756–763.
18. Hallberg O. Letter to the editor: will we all become electrosensitive? / O. Hallberg, G. Oberfeld // Electromagn. Biol. Med. — 2006. — Vol. 25, N 3. — P. 189–191.
19. Hardell L. Case-control study on cellular and cordless telephones and the risk for acoustic neuroma or meningioma in patients diagnosed 2000–2003 / L. Hardell, M. Carlberg, K. H. Mild // Neuroepidemiology. — 2005. — Vol. 25, N 3. — P. 120–128.
20. Hardell L. Case-control study of the association between the use of cellular and cordless telephones and malignant brain tumors diagnosed during 2000–2003 / L. Hardell, M. Carlberg, K. H. Mild // Environ. Res. — 2006. — Vol. 100, N 2. — P. 232–241.
21. Hardell L. Carlberg M. Mobile phones, cordless phones and the risk for brain tumours / L. Hardell, M. Carlberg // Int. J. Oncol. — 2009. — Vol. 35, N 1. — P. 5–17.
22. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) / ICNIRP // Health Phys. — 1998. — Vol. 74, N 4. — P. 494–522.
23. INTERPHONE Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study / E. Cardis, I. Deltour, M. Vrijheid [et al.] ; INTERPHONE Study Group // Int. J. Epidemiol. — 2010. — Vol. 39, N 3. — P. 675–694.
24. Kesari K. K. 900-MHz microwave radiation promotes oxidation in rat brain / K. K. Kesari, S. Kumar, J. Behari // Electromagn. Biol. Med. — 2011. — Vol. 30, N 4. — P. 219–234.
25. Long-term exposure to microwave radiation provokes cancer growth: evidences from radars and mobile communication systems / I. Yakymenko, E. Sidorik, S. Kyrylenko, V. Chekhun // Exp. Oncol. — 2011. — Vol. 33, N 2. — P. 62–70.
26. Long-term, low-level microwave irradiation of rats / C. K. Chou, A. W. Guy, L. L. Kunz [et al.] // Bioelectromagnetics. — 1992. — Vol. 13, N 6. — P. 469–496.
27. Long-term use of cellular phones and brain tumours: increased risk associated with use for > or =10 years / L. Hardell, M. Carlberg, F. Söderqvist [et al.] // Occup. Environ. Med. — 2007. — Vol. 64, N 9. — P. 626–632.
28. Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields / M. H. Repacholi, A. Basten, V. Gebiski [et al.] // Radiat. Res. — 1997. — Vol. 147, N 5. — P. 631–640.
29. Maes W. Stress caused by electromagnetic fields and radiation / W. Maes. — Institut für Baubiologie + Ökologie (IBN), Neubeuern, Germany, 2005. — P. 572.
30. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies / J. Friedman, S. Kraus, Y. Hauptman [et al.] // Biochem. J. — 2007. — Vol. 405, N 3. — P. 559–568.
31. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro / G. N. De Iulius, R. J. Newey, B. V. King, R. J. Aitken // PLoS One. — 2009. — Vol. 4, N 7. — P. e6446.
32. Morgan L. L. Estimating the risk of brain tumors from cellphone use: Published case-control studies / L. L. Morgan // Pathophysiology. — 2009. — Vol. 16, N 2–3. — P. 137–147.
33. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones / L. G. Salford, A. E. Brun, J. L. Eberhardt [et al.] // Environ. Health Perspect. — 2003. — Vol. 111, N 7. — P. 881–883.
34. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GF5H-R17 rat granulosa cells in vitro / E. Diem, C. Schwarz, F. Adlkofer [et al.] // Mutat. Res. — 2005. — Vol. 583, N 2. — P. 178–183.
35. Overproduction of free radical species in embryonal cells exposed to low intensity radiofrequency radiation / A. Burlaka, O. Tsybulin, E. Sidorik [et al.] // Exp. Oncol. — 2013. — Vol. 35, N 3. — P. 219–225.

36. Oxidative stress induced by 1.8 GHz radio frequency electromagnetic radiation and effects of garlic extract in rats / B. Avci, A. Akar, B. Bilgici, Ö. K. Tunçel // *Int. J. Radiat. Biol.* — 2012. — Vol. 88, N 11. — P. 799–805.
37. Potential risks of microwaves from mobile phones for youth health / I. Yakymenko, E. Sidorik, O. Tsybulin, V. Chekhun // *Environment and Health.* — 2011. — N 1. — P. 48–51.
38. Ruediger H. W. Genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields / H. W. Ruediger // *Pathophysiology.* — 2009. — Vol. 16, N 2–3. — P. 89–102.
39. Sidorik E. A brief review on animal research and human health effects following the Chernobyl accident / E. Sidorik, I. Yakymenko // *Radiation emergency medicine.* — 2013. — N 1. — P. 5–13.
40. Sidorik E. Free radical mechanisms of biological effects of ionizing radiation due to the Chernobyl accident with possible aggravation by permanent influence of electromagnetic fields / E. Sidorik, I. Yakymenko // *Proceedings of International symposium on the natural radiation exposures and low dose radiation epidemiological studies (Hirosaki, 2012).* — Hirosaki, Japan, 2012. — P. 43.
41. Stam R. Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields). RIVM rapport 118 / R. Stam. — National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, 2011. — p. 13.
42. Study of the health of people living in the vicinity of mobile phone base stations: 1. Influences of distance and sex / R. Santini, P. Santini, J. M. Danze [et al.] // *Pathol. Biol.* — 2002. — N 1. — P. 369–373.
43. Szmigielski S. Polish epidemiological study links RF/MW exposures to cancer / S. Szmigielski // *Microwave news.* — 1985. — N 2. — P. 1–2.
44. The microwave syndrome: a preliminary study in Spain / E. A. Navarro, J. Segura, M. Portoles, C. Gomez-Perretta // *Electromagn. Biol. Med.* — 2003. — Vol. 22, N 2–3. — P. 161–169.

## Резюме

### Сучасний стан міжнародних та національних стандартів безпеки населення щодо електромагнітного випромінювання радіодіапазону

*В. Ф. Чехун,  
І. Л. Якименко,  
Є. П. Сидорик,  
О. С. Цибулін*

Суттєве, у тисячі разів, зростання фоновому рівня електромагнітного випромінювання радіодіапазону у безпосередньому оточенні людини упродовж останніх десятиліть виявило потенційні ризики від дії цього фактора на здоров'я людини. Епідеміологічні та експериментальні дані останніх років засвідчують можливість розвитку патологій, включно з розвитком онкопатологій, внаслідок тривалого опромінення людей радіовипромінюванням навіть за незначного рівня інтенсивності. Широкий, у три порядки, діапазон санітарних норм щодо неіонізуючого випромінювання у різних країнах, очевидно, свідчить про необхідність їх гармонізації. Сучасний рівень знань щодо проблеми свідчить на користь національних законодавств із максимальним обмеженням дозволених рівнів інтенсивності електромагнітного випромінювання радіодіапазону.

**Ключові слова:** радіовипромінювання, норми біологічної безпеки, ризики для здоров'я, канцероген, принцип упредження.

### Current state of international and national public safety limits for radiofrequency radiation

*V. F. Chekhun,  
I. L. Yakymenko,  
E. P. Sidorik,  
O. S. Tsybulin*

Significantly, thousands times, increased background level of radiofrequency radiation in the human environment during the last decades has led to a significant manifestation of risks of this factor for human health. Epidemiologic and experimental data of the last years confirm a reality of development of different pathologies, including cancer, caused by long-term exposure to low intensity radiofrequency radiation. Wide, three orders of magnitude, variety of public safety limits for radiofrequency radiation in different countries needs to be harmonized. Current knowledge on the problem leads to a conclusion on a necessity of maximum restriction of public exposure to radiofrequency radiation.

**Key words:** radiofrequency, safety limits, risks for health, carcinogen, precautionary principle.

## Summary

### Современное состояние международных и национальных стандартов безопасности населения для электромагнитного излучения радиодиапазона

*В. Ф. Чехун,  
И. Л. Якименко,  
Е. П. Сидорик,  
А. С. Цибулин*

Существенное, в тысячи раз, возрастание фоновому уровню электромагнитного излучения радиодиапазона в непосредственном окружении человека в течение последних десятилетий выявило потенциальные риски действия этого фактора на здоровье человека. Эпидемиологические и экспериментальные данные последних лет свидетельствуют о возможности развития патологий, включая онкопатологии, вследствие длительного облучения человека радиоизлучением даже незначительного уровня интенсивности. Широкий, в три порядка, диапазон санитарных норм для неионизирующего излучения в разных странах, очевидно, свидетельствует о необходимости их гармонизации. Современный уровень знаний по проблеме свидетельствует в пользу национальных законодательств с максимальным ограничением разрешенных уровней интенсивности электромагнитного излучения радиодиапазона.

**Ключевые слова:** радиоизлучение, нормы биологической безопасности, риски для здоровья, канцероген, принцип предупредительности.