

Академік НАН України В. Ф. Чехун, І. Л. Якименко, О. С. Цибулін,
Є. П. Сидорик

Ризики тривалої дії мікрохвильового випромінювання засобів стільникового зв'язку на організм людини

Показано, що при жорстких національних санітарних нормах щодо неіонізуючого випромінювання інтенсивність мікрохвильового випромінювання комерційних моделей стільникових телефонів стандарту GSM на ринку України у ряді випадків на 1–2 порядки перевищує санітарні норми. Анкетування студентської молоді виявило надзвичайно інтенсивне користування стільниковим зв'язком та значний відсоток опитаних із суб'єктивним відчуттям фізичного дискомфорту чи болю у голові під час телефонних розмов. На моделі соматогенезу птаці показана виражена експозиційно-залежна біологічна активність певних режимів низькоінтенсивного мікрохвильового опромінення.

Стільниковий зв'язок протягом останніх років став невід'ємним атрибутом цивілізованого суспільства, принципово розширивши технологічні та комунікаційні можливості людства. Водночас засоби стільникового зв'язку стали новим потужним джерелом радіовипромінювання мікрохвильового діапазону в найближчому оточенні людини, збільшивши фон радіовипромінювання подекуди в тисячі разів. На середину 2010 р. на планеті налічувалося 5 млрд абонентів стільникового зв'язку і понад 1,5 млн базових станцій стільникового зв'язку. При цьому в розвинених країнах кількість абонентів стільникового зв'язку вже значно перевищила загальну кількість населення. (Це означає, що частина користувачів мають більше одного абонентського доступу до стільникових мереж.) Найбільш поширеним стандартом стільникового зв'язку на сьогодні є стандарт GSM (Global System for Mobile communication), послугами якого користуються близько 80% абонентів у світі. Стандарт використовує цифрове кодування радіосигналу на частотах 850; 900; 1800 та 1900 МГц. Стільниковий телефон являє собою радіоприймач/радіопередавач, який забезпечує бездротовий зв'язок абонента з мережею базових станцій стільникового зв'язку. Важливою особливістю технології є безпосередня близькість стільникового телефону до голови людини під час телефонних розмов, тобто саме тоді, коли телефон випромінює радіосигнал з максимальною потужністю.

Мікрохвильове випромінювання належить до неіонізуючих видів електромагнітного випромінювання і його використання підпадає під ряд міжнародних та національних нормативних документів. Базовим міжнародним документом, що регламентує використання мікрохвильового випромінювання як для цивільного населення, так і для виробничої діяльності, є Рекомендації Міжнародної комісії із захисту від неіонізуючого випромінювання (МКЗНВ) [1]. Як зазначено у тексті документа, Рекомендації базуються виключно на оцінці короткотермінових теплових ефектів неіонізуючого випромінювання щодо організму людини і не враховують можливі нетеплові ефекти довготривалої дії мікрохвиль. Основні обмеження, рекомендовані документом для мікрохвильового опромінення цивільного населення, що мають безпосереднє відношення до засобів стільникового зв'язку: 1) питома поглинута потужність випромінювання (SAR (specific absorption rate)) не повинна перевищувати 2 Вт на кг біологічної тканини голови чи тулуба людини; 2) інтенсивність падаючого випромінювання не повинна перевищувати 450 мкВт/см² (для частоти 900 МГц).

У той же час на момент прийняття Рекомендацій у окремих епідеміологічних та лабораторних дослідженнях було виявлено виражений негативний вплив довготривалої дії мікрохвильового випромінювання нетеплових інтенсивностей, зокрема імпульсного випромінювання радарних систем. Так, було відомо про вірогідне зростання рівня онкологічних захворювань як у обслуговуючого персоналу радарних систем [2, 3], так і у лабораторних тварин, що піддавалися довготривалому (до 24 місяців) мікрохвильовому опроміненню [4, 5].

Протягом останніх років з'явилися нові епідеміологічні свідчення щодо потенційних ризиків довготривалого мікрохвильового опромінення для здоров'я людини. Важливі дані були отримані при аналізі впливу довготривалого (понад 10 років) користування засобами стільникового зв'язку на розвиток пухлин головного мозку групою шведського онколога проф. Л. Харделла [6, 7]. Зокрема, показано, що після 10 років користування стільниковим телефоном ризик розвитку агресивних форм гліом або невриноми слухового нерва зростає в 3 рази. Ще більші ризики виявлено при іпіслатеральному користуванні стільниковим телефоном. При цьому найбільш чутливою до хронічної дії мікрохвиль, за даними групи Л. Харделла, виявилась наймолодша з підданих аналізу груп. Так, ризик розвитку пухлин головного мозку (усіх форм) зростав у молоді 20–29 років у 8 разів уже після 5 років користування стільниковим зв'язком іпіслатерально [8]. Ізраїльські дослідники виявили вірогідне зростання (у 2,3 раза) ризику розвитку пухлин заушної слинної залози у користувачів при інтенсивному користуванні стільниковим телефоном іпіслатерально протягом 5 років [9]. Вищенаведені дані фактично було підтверджено результатами масштабного міжнародного проекту Інтерфон, проведеного під егідою Всесвітньої організації охорони здоров'я, що виявив зростання ризиків розвитку менінгіом у 4,8 раза та розвитку гліом у 3,8 раза у користувачів стільниковими телефонами при інтенсивному користуванні зв'язком (не менше 1640 годин телефонних розмов за 4 роки, тобто близько години щодоби) [10].

Результати наведених епідеміологічних досліджень засвідчують неадекватність міжнародних норм безпеки щодо неіонізуючого випромінювання. У ряді країн Європи, Україні зокрема, національні стандарти електромагнітної безпеки є значно жорсткішими за рекомендації МКЗНВ. Так, Україна має чи не найсуворішу норму дозволеної інтенсивності мікрохвильового випромінювання для цивільного населення, регламентовану “Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань”, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.96 № 239. Для порівняння: ця норма у США та Німеччині становить 450 мкВт/см², у Швеції — 100 мкВт/см², в Італії та Росії — 10 мкВт/см², в Україні — 2,5 мкВт/см². Жорсткі санітарні норми в Україні щодо неіонізуючого випромінювання значною мірою пояснюються ґрунтовним науковим доробком вітчизняних вчених у галузі електромагнітної біології, що разом із колегами з інших країн колишнього Радянського Союзу мали багаторічний досвід вивчення біологічних ефектів неіонізуючого випромінювання. Проте стрімкий розвиток засобів стільникового зв'язку призвів у нашій країні до низки проблем у галузі електромагнітної безпеки. Не маючи вітчизняного виробничого забезпечення для систем стільникового зв'язку та зважаючи на вкрай обмежені апаратні можливості щодо належного санітарного контролю, країна ризикує увійти в поле правового нігілізму щодо власних національних норм електромагнітної безпеки.

Метою нашого дослідження було: 1) оцінити відповідність комерційних моделей стільникових телефонів національних абонентів санітарним нормам електромагнітної безпеки України; 2) визначити вплив довготривалої дії мікрохвильового випромінювання стільникових телефонів на психофізичні показники самопочуття абонентів стільникового зв'язку

(серед студентської молоді); 3) проаналізувати біологічну ефективність мікрохвильового випромінювання стандартного стільникового телефону GSM 900 МГц на модельній біологічній системі.

Інтенсивність випромінювання комерційних моделей стільникових телефонів було перевірено нами у абонентів київського регіону в аудиторних приміщеннях у режимі виклику абонента (у цьому режимі телефон випромінює найбільше). Інтенсивність випромінювання вимірювали у безпосередній близькості від антени стільникового телефона за допомогою вимірювача інтенсивності радіочастотного випромінювання “RF Field Strength Meter” (Альфалаб, США).

З метою визначення впливу випромінювання стільникових телефонів на психофізичні показники самопочуття абонентів було проанкетовано добровольців із числа студентської молоді київського регіону ($n = 173$, 54% дівчат, 46% хлопців, віком 17–19 років, термін користування стільниковим телефоном — від 3 до 6 років). Результати анкетування піддавали статистичній обробці, достовірність різниць між виокремленими групами абонентів оцінювали за критерієм Фішера.

Тестову оцінку біологічної ефективності мікрохвильового випромінювання стільникових телефонів з рівнем випромінювання, що відповідає національним санітарним нормам, здійснювали на моделі перепелиного ембріона, що розвивається. Було проведено дві серії експериментів. У I — перепелині ембріони опромінювали *in ovo* протягом 38 год інкубації з відстані 3 см від антени стільникового телефона мікрохвильовим випромінюванням комерційної моделі стільникового телефона стандарту GSM 900 МГц у режимі безперервного автоматичного повтору виклику за допомогою комп’ютерної програми AutoRingUp.ru (Росія). Середня інтенсивність мікрохвильового випромінювання у безпосередній близькості біля антени стільникового телефона становила $0,21 \text{ мкВт/см}^2$, паспортне значення SAR — $0,79 \text{ Вт/кг}$. Інкубацію перепелиних яєць здійснювали за таких умов: температура інкубації — $38,3^\circ \text{C}$, відносна вологість — 60%, перевертання яєць — три рази на добу. У II серії експериментів перепелині ембріони *in ovo* опромінювали мікрохвильовим випромінюванням тих же параметрів протягом п’яти діб до інкубації та протягом 38 год під час інкубації (усього 158 год). В обох серіях експериментів формували групи-аналоги контрольних ембріонів, що інкубували в аналогічних з опроміненими ембріонами умовах, але не піддавали мікрохвильовому опроміненню. Через 38 год інкубації припиняли і аналізували інтенсивність розвитку ембріонів дослідних і контрольних груп за кількістю диференційованих пар сомітів як описано раніше [11]. Достовірність різниць між групами оцінювали за критерієм Стьюдента.

У результаті оцінки інтенсивності мікрохвильового випромінювання комерційних моделей стільникових телефонів GSM 900 МГц стандарту було виявлено, що значна частина телефонів (близько 60% з усіх перевірених) мала рівень випромінювання, що значно перевищував національну санітарну норму (табл. 1).

Анкетування студентів київського регіону виявило, що переважна частина молоді користується стільниковим зв’язком надзвичайно активно (рис. 1). Тільки близько 17% молоді користується стільниковим телефоном до 30 хв на добу, що умовно узгоджується з рекомендаціями МКЗНВ. Більша ж половина опитаних студентів користується стільниковим зв’язком понад 1–3 год щодоби. При цьому значна частина молоді відчуває фізичний дискомфорт та/або біль у голові під час користування стільниковим телефоном (рис. 2). Виявлена пряма кореляційна залежність між тривалістю користування стільниковим зв’язком щодня і відсотком скарг на біль у голові серед опитаних ($r = 0,88$; $p < 0,05$).



Рис. 1. Розподіл абонентів стільникового зв'язку серед опитаної студентської молоді за щоденним часом користування стільниковим телефоном

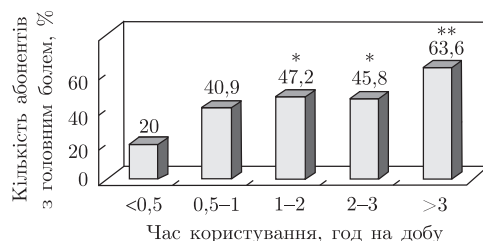


Рис. 2. Відсоток абонентів серед опитаної молоді, що відчували біль у голові під час розмов зі стільникового телефона залежно від щоденного часу користування ним (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ порівняно з “<0,5-годинною” групою)

Модельні досліди виявили, що опромінення перепелиних ембріонів *in ovo* мікрохвильовим випромінюванням GSM 900 МГц стандарту при середній інтенсивності $0,21 \text{ мкВт/см}^2$ протягом 38 год прискорювало темпи ембріонального розвитку, про що свідчить вірогідне збільшення кількості диференційованих пар сомітів у опромінених ембріонів порівняно з контролем (табл. 2). У той же час більш тривале, 158-годинне, опромінення перепелиних ембріонів випромінюванням тих же параметрів призводило до вірогідного пригнічення інтенсивності розвитку перепелиних ембріонів, про що свідчить істотне зменшення кількості пар диференційованих сомітів у 38-годинних ембріонів дослідних груп порівняно із відповідним контролем (див. табл. 2). При цьому дослідні групи були значно варіативніші за контрольні за темпами розвитку. Зауважимо, що використані в наших експериментах низька інтенсивність мікрохвильового випромінювання та контроль температури на

Таблиця 1. Максимальні значення інтенсивності мікрохвильового випромінювання деяких моделей стільникових телефонів стандарту GSM 900 МГц абонентів київського регіону (травень 2010 р.)*

Модель телефона	I , мкВт/см ²	SAR**, Вт/кг	Оператор
Nokia 7200	170	0,73	Life
Nokia N72	160	0,76	Life
Sony Ericsson W350i	160	1,48	Life
Nokia 5230	140	1,1	Life
Sony Ericsson K850i	114	0,76	MTC
Nokia 1661	69	0,91	Life
Sony Ericsson W810i	65	1,04	MTC
Nokia 3100	62	0,76	MTC
Sony Ericsson T650	32,8	1,45	MTC
Nokia 6303	27,9	1,15	Beeline

*Санітарна норма дозволеної інтенсивності мікрохвильового випромінювання в Україні — $2,5 \text{ мкВт/см}^2$.

**Значення SAR наводяться згідно з паспортними даними відповідних моделей стільникових телефонів.

поверхні інкубаційних яєць під час опромінення виключають тепловий механізм виявлених ефектів.

Отже, проведений аналіз засвідчує, що при жорсткій національній нормативній базі щодо неіонізуючого випромінювання комерційні моделі стільникових телефонів GSM стандарту, наявні на ринку України, у ряді випадків перевищують за рівнем випромінювання дозволіні санітарні норми на 1–2 порядки. При цьому населення, зокрема студентська молодь, надзвичайно активно використовує засоби стільникового зв'язку, що автоматично збільшує ризики негативного впливу мікрохвильового випромінювання на здоров'я. За даними нашого опитування, значна частина молоді з числа тих, хто розмовляє зі стільникового телефона понад годину на добу, відчують біль у голові під час телефонних розмов. Модельні дослідження на ембріонах птиці свідчать про те, що навіть низькі значення інтенсивності мікрохвиль, які відповідають жорстким національним санітарним нормам, виявляють виражену біологічну активність.

Треба зазначити, що протягом останніх років досягнуто значного прогресу в розумінні молекулярних механізмів можливої нетеплової дії мікрохвильового випромінювання на біологічні об'єкти (див., наприклад, [12, 13]). Зокрема, показано причетність радикальних форм кисню до біологічних ефектів низькоінтенсивного мікрохвильового випромінювання, можливість ушкодження ДНК, гіперпродукцію білків теплового шоку та індукцію апоптозу за певних режимів опромінення клітин. Встановлено виражений вплив мікрохвильового випромінювання GSM стандарту на енергетичний метаболізм опромінених ділянок мозку людини одразу після одноразового опромінення [14]. Крім того, виявлено ураження головного мозку із загибеллю частки нейронів за механізмом порушення гематоенцефалічного бар'єру при довготривалій дії низькоінтенсивного мікрохвильового випромінювання на організм молодих щурів [15].

У цілому виявлені особливості використання стільникового зв'язку в країні та специфіка біологічних ефектів при довготривалих впливах низькоінтенсивного мікрохвильового випромінювання на модельні системи та організм людини засвідчують необхідність ретельної оцінки ризиків довготривалого мікрохвильового опромінення населення. При цьому не можна виключати небезпеки синергічних ефектів мікрохвильового опромінення з іншими екологічними факторами ризику, зокрема іонізуючим випромінюванням чи хімічним забрудненням середовища. Очевидно, розвиток технологій з часом повинен забезпечити нові, більш прийнятні стандарти стільникового зв'язку, але сьогодні потрібно розробити жорсткі науково обґрунтовані обмежувальні рекомендації та заходи щодо користування техноло-

Таблиця 2. Вплив мікрохвильового випромінювання стільникових телефонів стандарту GSM 900 МГц на ранній ембріональний розвиток перепелів (на 38 год інкубації)

Режим опромінення		Доза опромінення, мДж/см ²	Кількість пар диференційованих сомітів, шт.
Час опромінення, год	Інтенсивність випромінювання, мкВт/см ²		
38	0,21	28,73	13,11 ± 0,3***
Контроль	—	—	11,41 ± 0,3
158	0,21	119,45	8,82 ± 0,9*
Контроль	—	—	11,16 ± 0,28

* $p < 0,05$ порівняно з контролем.

*** $p < 0,001$ порівняно з контролем.

гією стільникового зв'язку, адекватні потенційним ризикам для здоров'я людей, особливо дітей та молоді.

1. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) // Health Phys. – 1998. – **74**, No 4. – P. 494–522.
2. Szmigielski S. Polish epidemiological study links RF/MW exposures to cancer // Microwave news. – 1985. – **5**, No 2. – P. 1–2.
3. Goldsmith J. R. Epidemiological evidence relevant to radar (microwave) effects // Environ. Health Perspect. – 1997. – **105**, No 6. – P. 1579–1587.
4. Chou C. K., Guy A. W., Kunz L. L. et al. Long-term, low-level microwave irradiation of rats // Bioelectromagnetics. – 1992. – **13**, No 6. – P. 469–496.
5. Repacholi M. H., Basten A., Gebiski V. et al. Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields // Radiat. Res. – 1997. – **147**, No 5. – P. 631–640.
6. Hardell L., Carlberg M., Mild K. H. Case-control study of the association between the use of cellular and cordless telephones and malignant brain tumors diagnosed during 2000–2003 // Environ. Res. – 2006. – **100**, No 2. – P. 232–241.
7. Hardell L., Mild K. H. Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the interphone case-control study in five North European countries // Brit. J. Cancer. – 2006. – **94**, No 9. – P. 1348–1349; author reply 1352–1343.
8. Hardell L., Mild K. H., Carlberg M. et al. Cellular and cordless telephone use and the association with brain tumors in different age groups // Arch. Environ. Health. – 2004. – **59**, No 3. – P. 132–137.
9. Sadetzki S., Chetrit A., Jarus-Hakak A. et al. Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors—a nationwide case-control study // Amer. J. Epidemiol. – 2008. – **167**, No 4. – P. 457–467.
10. Cardis E., Deltour I., Vrijheid M. et al. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study // Int. J. Epidemiol. – 2010. – **39**, No 3. – P. 675–694.
11. Якименко І. Л., Цибулін О. С. Регуляторна дія низькоінтенсивного видимого світла на сомітогенез птиці // Доп. НАН України. – 2007. – № 2. – С. 163–168.
12. Blank M., Goodman R. Electromagnetic fields stress living cells // Pathophysiology. – 2009. – **16**, No 2–3. – P. 71–78.
13. Yakymenko I., Sidorik E. Risks of carcinogenesis from electromagnetic radiation of mobile telephony devices // Exp. Oncol. – 2010. – **32**, No 2. – P. 54–60.
14. Volkow N. D., Tomasi D., Wang G. J. et al. Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism // J. Amer. Med. Assoc. – 2011. – **305**, No 8. – P. 808–813.
15. Salford L. G., Brun A. E., Eberhardt J. L. et al. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones // Environ. Health Perspect. – 2003. – **111**, No 7. – P. 881–883; discussion A408.

Інститут експериментальної патології, онкології
і радіобіології ім. Р. Є. Кавецького НАН України, Київ
Білоцерківський національний аграрний університет

Надійшло до редакції 08.04.2011

Academician of the NAS of Ukraine **V. F. Chekhun, I. L. Yakymenko,
O. S. Tsybulin, E. P. Sidorik**

Risks of long-term effect of microwave radiation from mobile communication systems on human organism

It has been detected that commercial models of cell phones on the market of Ukraine sometimes emit microwaves in intensity by 1–2 orders of magnitude higher than the national safety limit for non-ionizing radiation. The survey of Ukrainian students has revealed an active usage of cell phones and a high percent of youth with the subjective feeling of physical discomfort and/or pain in head during cell phone talks. A significant time-dependent biological activity of the certain modes of low-intensity microwave radiation on the model of bird somitogenesis has been demonstrated.