

# GLUTATHION-DEPENDENT ANTIOXIDANT PROTECTION SYSTEM IN THE ANIMAL ORGANISM UNDER ELECTROMAGNETIC RADIATION

Tomashevskaya L.A., Kravchun T.E.

## ГЛУТАТИОНЗАЛЕЖНА СИСТЕМА АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ В ОРГАНІЗМІ ТВАРИН ЗА ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ



учасний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій з впровадженням їх у повсякденну життєдіяльність людини зумовлює підвищену ймовірність негативного впливу електромагнітних випромінювань (ЕМВ) на здоров'я населення.

Потенційно шкідлива дія ЕМВ на здоров'я людини є важливою проблемою, яка широко обговорюється у науковому суспільстві [1-3]. Згідно з Європейською директивою від 2013 року (2013/35/ЕС) рекомендовано оцінювати дію ЕМВ на основі дозиметричного контролю якості та часу експозиції [4, 5]. Разом з тим, існуючі на сьогодні світові державні стандарти, що регламентують ЕМВ, встановлені за статистичним аналізом експериментальних даних наявності узагальненого шкідливого ефекту дії і не мають достатнього біологічного обґрунтування залежності відгуку організму від особливостей електромагнітного навантаження [6, 7]. Нині стан

електромагнітного забруднення населених місць та його співвідношення з діючими гігієнічними регламентами вимагають розробки нових та удосконалення діючих нормативів на основі наукового обґрунтування допустимих рівнів безпечності для здоров'я. Дослідження, спрямовані на вивчення впливу ЕМВ на різних ієрархічних рівнях організму, дають підґрунтя для визначення тонких механізмів взаємодії фактора зі структурно-функціональними елементами клітин та організму загалом. Використання інформації, яка базується на експериментальному визначенні загальних закономірностей та механізмів фізіологічних перетворень за дії ЕМВ, забезпечує можливість більш точного визначення рівнів безпеки, встановлення мінімального ризику дії на організм людини.

Актуальними є дослідження у напрямку поглибленого вивчення метаболічних механізмів розвитку реакцій відповіді

**ТОМАШЕВСЬКА Л.А.,  
КРАВЧУН Т.Є.**

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеева НАМН України», м. Київ

614.7 : 613.648.2 : 577.152.1

<https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.004>

**ГЛУТАТИОНЗАВИСИМАЯ СИСТЕМА  
АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ В ОРГАНИЗМЕ  
ЖИВОТНЫХ ПРИ ДЕЙСТВИИ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Томашевская Л.А., Кравчун Т.Е.**

*ГУ «Институт общественного здоровья  
им. А.Н. Марзеева НАМН Украины», г. Киев*

**Целью работы** было экспериментальное изучение состояния глутатионзависимой системы антиоксидантной защиты при воздействии электромагнитных излучений.

Исследования проведены в условиях 4-месячного хронического эксперимента на белых беспородных крысах, поделенных на группы соответственно действующей интенсивности ЭМИ 900 МГц (10 мкВт/см<sup>2</sup>, 100 мкВт/см<sup>2</sup>, 1000 мкВт/см<sup>2</sup>).

Установлено усиление процессов ПОЛ в крови, печени и ткани головного мозга. Эти изменения проявлялись в зависимости от уровня интенсивности ЭМИ и времени действия.

Выявлено повышение активности антиоксидантных глутатионзависимых ферментов – глутатионпероксидазы, глутатионредуктазы, глутатионтрансферазы, а также снижение уровня глутатиона восстановленного, которые проявлялись по мере увеличения интенсивности (100 мкВ/см<sup>2</sup> и 1000 мкВ/см<sup>2</sup>) ЭМИ и времени (3-4 месяца облучения).

Кооперативная антиоксидантная активность глутатиона и ферментов недостаточна для нейтрализации иницированного ЭМИ процесса ПОЛ. Индукция ПОЛ и активация глутатионовых ферментов свидетельствуют об изменении про- и антиоксидантного равновесия, нарушение которого характеризует степень напряжения адаптационных возможностей организма под влиянием ЭМИ.

Выявленные сдвиги в соотношении интенсивности ПОЛ и активности ферментов глутатионовой системы как чувствительный биомаркер влияния может иметь прогностическое значение для обоснования безопасных регламентов ЭМИ.

© Томашевська Л.А., Кравчун Т.Є. СТАТТЯ, 2018.

функціональних систем організму на дію ЕМВ для оцінки безпеки і прогнозу несприятливого впливу на здоров'я населення.

Одним з провідних механізмів формування відповіді організму на несприятливий вплив є активація процесів вільнорадикального окислення. При цьому ефективність підтримки гомеостазу і формування мобілізаційних резервів організму зумовлена взаємодією між процесами перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) та реакціями антирадикальних ресурсів захисту, порушення балансу яких викликає оксидативний стрес.

Низкою експериментальних робіт показано, що електромагнітні випромінювання проявляють ефект прооксидантного фактора, дія якого супроводжується генерацією перекисного окислення ліпідів і відповідно порушеннями у співвідношенні інтенсивності ПОЛ і активності антиоксидантної системи (АОС) [8-11]. У формуванні реактивності АОС антиоксидантним ферментам глутатионового ряду належить важлива роль передусім у нейтралізації пероксидів. Крім того, стан їхньої активності як чутливий біомаркер може характеризувати адаптаційні процеси у системі захисту від впливу електромагнітного фактора.

**Мета** даного експериментального дослідження – вивчення активності глутатионзалежних ферментів антиоксидантної системи захисту за дії електромагнітного випромінювання.

**Матеріали та методи.** Дослідження проведено в умовах хронічного експерименту на білих безпородних щурах, які поділені на групи відповідно до діючого навантаження ЕМВ 900 МГц: I група – 10 мкВт/см<sup>2</sup>, II група – 100 мкВт/см<sup>2</sup>, III група – 1000 мкВт/см<sup>2</sup>, IV група – контрольна. Режим опромінення – стохастичний по 8 годин на добу. Тривалість хронічного експерименту – 4 місяці. Біологічним матеріалом для досліджень були кров, печінка та головний мозок. У крові та органах визначали рівень малонового діальдегіду (МДА) – продукту перекисного



## ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

окислення ліпідів (ПОЛ), стан глутатионової антиоксидантної системи захисту: вміст відновленого глутатіону та активність ферментів – глутатионпероксидази (К.Ф.1.11.1.9), глутатионредуктази (К.Ф.1.6.4.2), глутатионтрансферази (К.Ф.2.5.1.18) [12, 13].

Експериментальні дослідження проведено відповідно до національних вимог з біоетики «Загальні етичні принципи експериментів на тваринах» та рекомендацій Європейської конвенції [14].

Статистичну обробку виконували методом варіаційного аналізу з визначенням t-критерію Ст'юдента [15].

**Результати та їх обговорення.** За даними літератури та власних досліджень, на дію ЕМВ організм відповідає генерацією перекисного окислення ліпідів та викликає деякі зміни процесів антиоксидантного захисту [16, 17]. Такий взаємозв'язок певною мірою характеризує стан оксидантної рівноваги гомеостазу та визначає ефективність впливу на організм. Результати експерименту свідчать, що три-

вала дія ЕМВ призводить до односпрямованих змін перекисного окислення ліпідів у крові, тканинах печінки та головного мозку (рис. 1).

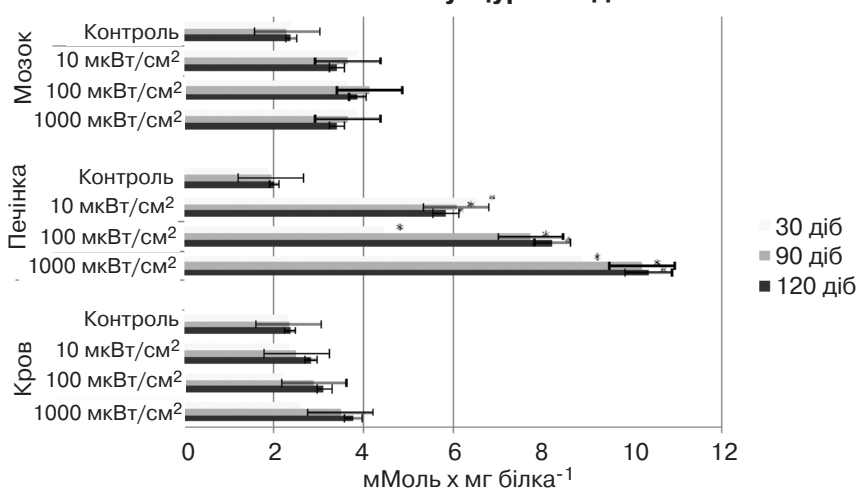
Достовірне підвищення малонового діальдегіду виявлено у крові тварин під час достатньо тривалої дії ЕМВ: з третього місяця за дії 100 мкВт/см<sup>2</sup> – на 15%, на 20-30% – на 3-му та 4-му місяцях за дії 1000 мкВт/см<sup>2</sup> щодо тварин контрольної групи.

Вміст малонового діальдегіду у тканині головного мозку тварин, які піддавалися дії ЕМВ, був дещо підвищеним (від 3,9 до 4,6 нМоль х мг білка<sup>-1</sup>) протягом усього експерименту за дії 10 мкВт/см<sup>2</sup>, 100 мкВт/см<sup>2</sup> і 1000 мкВт/см<sup>2</sup>.

У печінці експериментальних тварин односпрямовані зміни МДА спостерігалися за дії усіх досліджених рівнів навантаження ЕМВ, однак ефект посилювався зі збільшенням діючої інтенсивності. Разом з тим, накопичення МДА у крові та органах показало залежність індукції перекисного окислення ліпідів не тільки від діючого

Рисунок 1

Рівень МДА у сироватці крові, тканинах печінки та головного мозку щурів за дії ЕМВ



рівня, а й від тривалості дії ЕМВ на організм. Найбільш вираженими були зміни на пізніх етапах опромінення. Тобто в організмі тварин виявлено підвищений фон вільнорадикальних процесів, які зумовлюють окислювальні пошкодження окисно-відновного метаболізму. Баланс останнього підтримують системи антиоксидантного захисту, насамперед глутатіонової комплексу, з характерними функціями відновлення вільних радикалів та продуктів ліпепероксидації.

В ендogenousному метаболізмі глутатіон бере участь у модуляції активності ферментів. Концентрація відновленого глутатіону у крові та органах тварин

за дії ЕМВ 100 мкВт/см<sup>2</sup> та 1000 мкВт/см<sup>2</sup> знижувалась щодо контрольних значень інтактної групи тварин (табл. 1-3).

Рівень відновленого глутатіону у тканинах мозку щурів поступово знижувався протягом експерименту в усіх дослідних групах тварин. Найбільше зниження зазначеного показника спостерігалось у групах тварин з навантаженням ЕМВ 100 і 1000 мкВт/см<sup>2</sup>. З часом впливу можна прослідкувати залежність змін рівня відновленого глутатіону у тканинах мозку щурів (табл. 2).

Найбільш значущі результати виявлено у печінці. Рівень відновленого глутатіону був зниженим в усі строки спостере-

жень з першого по четвертий місяць у групах тварин з навантаженням ЕМВ 100 мкВт/см<sup>2</sup> і 1000 мкВт/см<sup>2</sup> (табл. 3).

На тлі впливу ЕМВ на внутрішньоклітинний окисний метаболізм зниження глутатіону відновленого відбувається за рахунок зв'язування сульфгідрильних груп і посиленого утворення окисних форм глутатіону.

Накопиченню дисульфідних глутатіонів протидіє глутатіонредуктаза, яка за високої специфічності до глутатіону підтримує редокс-рівновагу. Підвищений рівень активності цього ферменту визначається і у крові, і в органах у взаємозв'язку з параметрами діючого ЕМВ. Насамперед активація глутатіонредуктази збільшується залежно від діючого навантаження (рис. 2-4).

Рівень глутатіонредуктази у сироватці крові щурів був підвищеним в усіх групах тварин з 90-ї доби досліду, що вказує на залежність від терміну експозиції (рис. 2).

У тканинах мозку щурів рівень глутатіонредуктази поступово підвищувався протягом експерименту в усіх дослідних групах тварин. Також прослідковується часова залежність змін рівня глутатіонредуктази у тканинах мозку щурів за дії ЕМВ (рис. 3).

Аналогічний характер змін спостерігався і щодо рівня глутатіонредуктази у тканинах печінки щурів, тобто поступове підвищення протягом 4-х місяців. Найвиразніші зміни спостерігались у групах тварин з навантаженням ЕМВ 100 мкВт/см<sup>2</sup> і 1000 мкВт/см<sup>2</sup>, що підтверджує «дозо-часову» залежність змін рівня глутатіонредуктази у тканинах печінки щурів за дії ЕМВ (рис. 4).

Слід зауважити, що також довгострокова дія навіть найменшої інтенсивності ЕМВ 10 мкВт/см<sup>2</sup> викликала у тканині печінки достовірне підвищення глутатіонредуктази. Однак такої активації глутатіонредуктази виявилось недостатньо для стабілізації оптимального рівня відновленого глутатіону за умов дії ЕМВ.

Разом з тим, мобілізація глутатіонових антиоксидантних

**Таблиця 1**  
**Рівень відновленого глутатіону у сироватці крові щурів, мкМоль GSSG x хв<sup>-1</sup> x мг білка<sup>-1</sup> за дії ЕМВ**

Група тварин	1 місяць	3 місяці	4 місяці
10 мкВт/см <sup>2</sup>	0,182±0,02	0,184±0,01	0,162±0,01
100 мкВт/см <sup>2</sup>	0,190±0,02	0,154±0,01*	0,130±0,01*
1000 мкВт/см <sup>2</sup>	0,162±0,02	0,132±0,01*	0,084±0,007*
Контроль	0,191±0,02	0,202±0,01	0,184±0,01

**Таблиця 2**

**Рівень відновленого глутатіону у тканинах мозку щурів, мкМоль GSSG x хв<sup>-1</sup> x мг білка<sup>-1</sup> за дії ЕМВ**

Група тварин	1 місяць	3 місяці	4 місяці
10 мкВт/см <sup>2</sup>	0,188±0,02	0,184±0,02	0,148±0,01
100 мкВт/см <sup>2</sup>	0,170±0,01	0,142±0,01*	0,117±0,01*
1000 мкВт/см <sup>2</sup>	0,187±0,01	0,124±0,01*	0,084±0,01*
Контроль	0,208±0,02	0,211±0,02	0,194±0,02

**Таблиця 3**

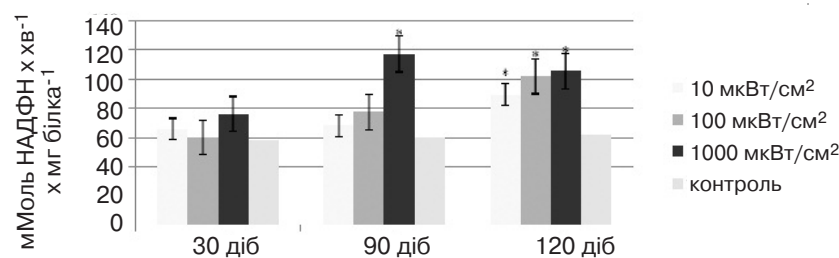
**Рівень відновленого глутатіону у печінці щурів, мкМоль GSSG x хв<sup>-1</sup> x мг білка<sup>-1</sup>**

Група тварин	1 місяць	3 місяці	4 місяці
10 мкВт/см <sup>2</sup>	0,594±0,05	0,525±0,05	0,528±0,04
100 мкВт/см <sup>2</sup>	0,492±0,03*	0,501±0,05*	0,470±0,03*
1000 мкВт/см <sup>2</sup>	0,478±0,04*	0,417±0,04*	0,237±0,02*
Контроль	0,647±0,06	0,682±0,04	0,652±0,04

Примітка до таблиць 1-6: \* –  $p < 0,05$ .

**Рисунок 2**

**Рівень глутатіонредуктази у сироватці крові щурів за дії ЕМВ**



Примітка до рисунків 2-6: \* –  $p < 0,05$ .

**GLUTATHION-DEPENDENT ANTIOXIDANT PROTECTION SYSTEM IN THE ANIMAL ORGANISM UNDER ELECTROMAGNETIC RADIATION**

**Tomashevska L.A., Kravchun T.E.**

*SI «O.M. Marzиеv Institute for Public Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv*

The aim of the work was an experimental study of the state of the glutathione-dependent antioxidant defense system when exposed to electromagnetic radiation.

The studies were carried out under conditions of a 4-months chronic experiment on white unbillied rats, which are divided into groups according to the current intensity of the EMP 900 MHz (10  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 10  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 10  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ).

Established enhancement of lipid peroxidation processes in the blood, liver and brain tissue.

These changes were manifested depending on the level of intensity of electromagnetic radiation

and the time of action. An increase in the activity of antioxidant glutathione-dependent enzymes – glutathioneperoxidase, glutathionereductase, glutathionetransferase, as well as a decrease in the level of reduced glutathione, which manifested as the intensity (100  $\text{W}/\text{cm}^2$  and 1000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) of EMR and time (3-4 months of irradiation) were detected. The cooperative antioxidant activity of glutathione and enzymes is insufficient to neutralize the lipid peroxidation process initiated by EMR. Induction of lipid peroxidation and activation of glutathione enzymes indicate a change in pro- and antioxidant balance, a violation of which characterizes the degree of stress on the adaptive capabilities of the organism under the influence of EMR.

The identified shifts in the ratio of the intensity of lipid peroxidation and the activity of enzymes of the glutathione system as a sensitive biomarker of influence can have prognostic significance for the substantiation of safe EMR regulations.

ресурсів для погашення пероксидних реакцій проявлялася приростом активності глутатіонпероксидази (табл. 4-6).

Рівень глутатіонпероксидази у сироватці крові щурів поступово підвищувався протягом експерименту в усіх дослідних групах тварин. Найвиразніша різниця з показниками контрольної групи спостерігалась у групі тварин, що зазнавала максимального впливу (1000  $\text{мкВт}/\text{см}^2$ ) ЕМП (майже у 3 рази). Можна прослідкувати тенденцію залежності рівня глутатіонпероксидази від величини діючого фактора – рівня ЕМВ та залежність від терміну експозиції (табл. 4).

Активність глутатіонпероксидази у тканинах мозку щурів також поступово зростала протягом 4-х місяців дослідження у групах щурів, що зазнавали впливу ЕМВ на рівні 100  $\text{мкВт}/\text{см}^2$  та 1000  $\text{мкВт}/\text{см}^2$ . У групі щурів, що піддавалися дії ЕМВ мінімального рівня (10  $\text{мкВт}/\text{см}^2$ ), спостерігалось підвищення рівня глутатіонпероксидази на 30-ту добу дослідження (1 місяць) з подальшим поступовим його зниженням, що може свідчити про адаптативний характер змін показника за таких умов впливу (табл. 5).

У тканинах печінки щурів рівень глутатіонпероксидази поступово підвищувався протягом експерименту в усіх дослідних групах тварин. Найвиразніша різниця з показниками контрольної групи спостерігалась на 160-ту добу експери-

менту (4 місяці) в усіх дослідних групах тварин, особливо у групі тварин, що зазнавала максимального впливу ЕМВ (1000  $\text{мкВт}/\text{см}^2$ ). З подовженням часу дії досліджуваного фактора різниця з показниками контрольної групи стає більш вираженою. В усіх групах тварин зна-

чення показника на усіх етапах дослідження сягали достовірного підвищення ( $p < 0,05$ ) (табл. 6).

Активність глутатіонпероксидази у крові та органах тварин збільшується у відповідь на накопичення продуктів ліпопероксидації, надлишок яких ініціює участь глутатіон-

Рисунок 3

**Рівень глутатіонредуктази у тканинах головного мозку щурів за дії ЕМВ**

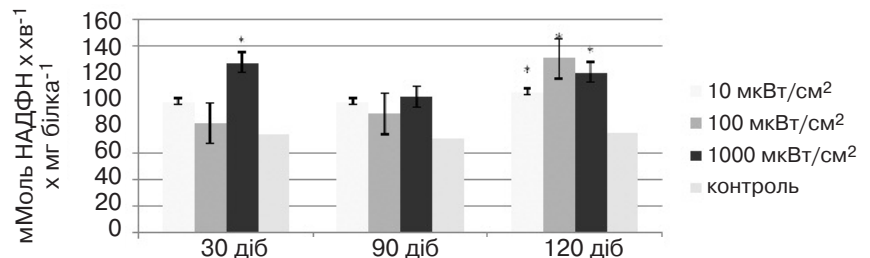
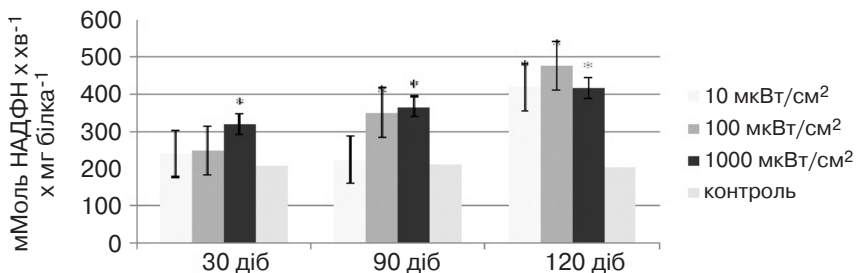


Рисунок 4

**Рівень глутатіонредуктази у тканинах печінки щурів за дії ЕМВ**



Таблиця 4

**Рівень глутатіонпероксидази у сироватці крові щурів,  $\text{мкМоль GSSG x h}^{-1} \text{ x мг білка}^{-1}$  за дії ЕМВ**

Група тварин	1 місяць	3 місяці	4 місяці
10 $\text{мкВт}/\text{см}^2$	0,565 $\pm$ 0,051	0,627 $\pm$ 0,60	0,710 $\pm$ 0,037*
100 $\text{мкВт}/\text{см}^2$	0,595 $\pm$ 0,045	0,738 $\pm$ 0,053*	1,027 $\pm$ 0,079*
1000 $\text{мкВт}/\text{см}^2$	0,764 $\pm$ 0,042*	1,095 $\pm$ 0,098*	1,512 $\pm$ 0,127*
Контроль	0,545 $\pm$ 0,051	0,567 $\pm$ 0,047	0,522 $\pm$ 0,042

трансферази у метаболізмі захисту клітин.

Рівень глутатіонтрансферази у сироватці крові щурів протягом 3-х місяців досліджуваного фактора зберігалася вищезазначена тенденція до підвищення рівня глутатіонтрансферази та набувала достовірних значень ( $p < 0,05$ ) в усіх дослідних групах тварин. Спостерігається тенденція за-

лежності рівня глутатіонтрансферази від величини діючого фактора та від терміну його дії (рис. 5).

Односпрямований характер змін, разом з рівнем глутатіонпероксидази у сироватці крові, спостерігався і щодо активності глутатіонтрансферази у тканинах мозку щурів: поступове вірогідне підвищення ( $p < 0,05$ ) протягом 4-х місяців досліджуваного фактора залежність від рівня навантаження – найвиразніші зміни у тварин, що зазнавали максимального впливу ЕМВ (1000 мкВт/см<sup>2</sup>). У всіх групах тварин мала місце залежність вираженості ефекту від терміну дії фактора (рис. 6).

Рівень глутатіонтрансферази у тканинах печінки щурів поступово підвищувався протягом експерименту в усіх дослідних групах тварин. Найвиразніша різниця з показниками контрольної групи спостерігалась у групі тварин, що зазнавала впливу ЕМП на рівні 100 мкВт/см<sup>2</sup>. З подовженням часу

дії досліджуваного фактора різниця з показниками контрольної групи стає більш вираженою. В усіх групах тварин значення показника на усіх етапах досліджуваного фактора достовірного підвищення ( $p < 0,05$ ) (рис. 7).

Слід зазначити кооперативну односпрямованість активності глутатіонових ферментів під впливом ЕМВ, яка показує, що функціональна роль тіол-дісульфідної системи певною мірою обмежує інтенсивність ПОЛ за несприятливих умов дії ЕМВ.

Під впливом хронічної дії ЕМВ досить високих рівнів конкурентний взаємозв'язок про- та антиоксидантних систем проявляється у зсувах їхньої рівноваги. У свою чергу, розбалансованість цих процесів мобілізує розвиток напруження адаптаційно-приспосувальних механізмів у системі оксидоредукції.

Проведені дослідження демонструють основну концепцію проблеми біологічної активності ЕМВ, що полягає в ініціації вільнорадикального процесу ПОЛ та напруженні реакції захисних функцій антирадикальної системи організму. Співвідношення активності окислювальних процесів і процесів антирадикального захисту відображає баланс між каталітичними реакціями глутатіонових ферментів і згасанням ліпопероксидації, порушення якого визначає адаптаційні можливості організму при ризику формування окисного стресу.

Отримані результати свідчать, що встановлення порушень стану балансу про- та антиоксидантних систем за дії інтегральних рівнів опромінення у часі експозиції може бути визначальним під час обґрунтування безпечних регламентів впливу ЕМВ як одного з несприятливих факторів навколишнього середовища.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Сердюк А.М., Думанський Ю.Д. Електромагнітна безпека – сучасна гігієнічна проблема, шляхи її вирішення // Гігієнічна наука і практика на рубежі століть: матеріали XVI з'їзду гігієністів України / А.М. Сердюк, Ю.Д. Думанський. Дніпропетровськ, 2004. С. 251-254.

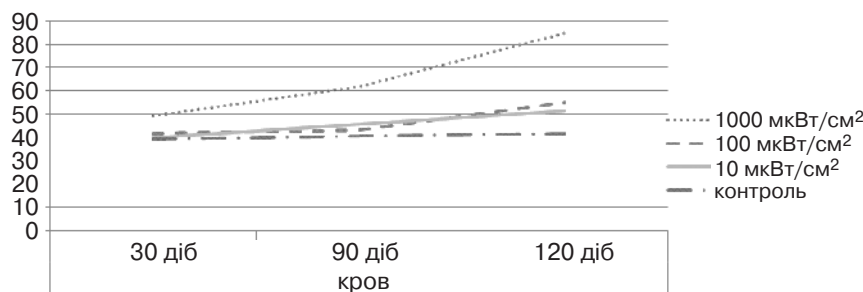
**Таблиця 5**  
**Рівень глутатіонпероксидази у тканинах мозку щурів, мкМоль GSSG x хв<sup>-1</sup> x мг білка<sup>-1</sup> за дії ЕМВ**

Група тварин	1 місяць	3 місяці	4 місяці
10 мкВт/см <sup>2</sup>	0,937±0,076*	0,82±0,063*	0,791±0,06*
100 мкВт/см <sup>2</sup>	0,748±0,04*	0,948±0,069*	1,022±0,099*
1000 мкВт/см <sup>2</sup>	0,861±0,078*	1,261±0,095*	0,921±0,076*
Контроль	0,528±0,036	0,595±0,043	0,56±0,038

**Таблиця 6**  
**Рівень глутатіонпероксидази у тканинах печінки щурів, мкМоль GSSG x хв<sup>-1</sup> x мг білка<sup>-1</sup> за дії ЕМВ**

Група тварин	1 місяць	3 місяці	4 місяці
10 мкВт/см <sup>2</sup>	1,218±0,103	1,574±0,096*	3,58±0,261*
100 мкВт/см <sup>2</sup>	1,484±0,081*	2,008±0,178*	3,665±0,266*
1000 мкВт/см <sup>2</sup>	1,551±0,14*	2,45±0,201*	4,375±0,307*
Контроль	1,05±0,096	1,128±0,091	1,065±0,065

**Рисунок 5**  
**Рівень глутатіонтрансферази у сироватці крові щурів, мкМоль GSSG x хв<sup>-1</sup> x мг білка<sup>-1</sup> за дії ЕМВ**



2. Думанский В.Ю., Биткин С.В., Сердюк Е.А., Томашевская Л.А. Электромагнитное загрязнение окружающей среды и защита населения от его влияния // *Гігієна населених місць : зб. наук. пр.* Київ, 2011. Вип. 58. С. 184-189.

3. Maes A. Verschaeve L. Genetic damage in humans exposed to extremely low-frequency electromagnetic fields. *Arch. Toxicol.* 2016. Vol. 90. № 10. P. 2337-2348.

4. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields).

5. Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und -anwendung / Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 221. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21/22. Februar 2008. P. 31.

6. Dimbylow P.J. The calculation of SAR from limb current in the female voxel phantom, NAOMI / *Radiat Prot Dosimetry.* 2006, № 121 (3). P. 236-239.

7. Berlana T. Occupational exposure of NMR spectrometrists to static and radiofre-

quency fields / T. Berlana, A. Ubeda. *Radiat Prot Dosimetry.* 2017, № 177 (4). P. 397-406.

8. Глушков С.И. Состояние системы глутатиона и процессов перекисного окисления липидов в эритроцитах пациентов в клинике острых отравлений веществами седативно-гипнотического действия / С.И. Глушков, С.А. Куценко, А.И. Карпищенко, Т.М. Новикова. *Токсикологический вестник.* М., 2003. Вып. 5. С. 6-12.

9. Худницкий С.С. К вопросу воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой связи, на пользователей и население / С.С. Худницкий. *Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр.* Минск, 2008. Вып. 11. С. 266-269.

10. Томашевська Л.А., Кравчун Т.Є., Бугаєнко О.О. Вплив короткострокової дії електромагнітних випромінювань на стан оксидантної системи в організмі щурів / *Гігієна населених місць : зб. наук. пр.* Київ, 2011. Вип. 57. С. 259-264.

11. Завгородній І.В. Досвід експериментального вивчення ефектів сполученої дії хімічних та фізичних чинників / І.В. Завгородній, Р.О. Бачинський, О.Л. Литовченко. *Актуальні проблеми*

профілактичної медицини. Львів, 2017. Вип. 1 (14). С. 50-58.

12. Данилова Л.А. Справочник по лабораторным методам исследования / Л.А. Данилова. СПб. : Питер, 2003. 736 с.

13. Камышников В.С. Справочник по клинико-биохимическим исследованиям и лабораторной диагностике / В.С. Камышников. 3-е изд. М. : МЕДпресс информ, 2009. 896 с.

14. OECD. Principles of Good Laboratory Practice. 1996.

15. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных / М.Ю. Антомонов. 2-е изд. К. : МИЦ «Мединформ», 2017. 579 с.

16. Шарапова О.М. Структурні зміни у селезінці щурів після опромінення електромагнітним полем і наступного введення розчину ехінацеї / О.М. Шарапова. *Медичні перспективи.* 2012. Т. XVII (4). С. 17-21.

17. Думанський В.Ю., Біткін С.В., Думанський Ю.Д., Нікітіна Н.Г., Сердюк Е.А., Полька Н.С., Безверха А.П., Платонова А.Г., Галак С.С., Томашевська Л.А., Зотов С.В., Дідик Н.В., Лемешко Л.П. Гігієнічна оцінка електромагнітного випромінювання, що створюється сучасною комп'ютерною технікою / *Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України (результати наукових розробок 2014 р.).* Київ, 2015. С. 111-160.

#### REFERENCES

1. Serdyuk A.M., Dumanskiy Yu.D. Электромагнитная безопасность – современная гигиеническая проблема, пути її вирішення // *Gigienichna nauka i praktika na rubezi stolit.* 2004 : 251-254 (in Ukrainian).

2. Dumanskiy Yu.D., Bitkin S.V., Serdyuk E.A., Tomashevskaya L.A. *Gigiena naselenuh mist : zbirka naukovykh prats.* 2011 ; 58 : 184-189 (in Ukrainian).

3. Maes A. Verschaeve L. Genetic damage in humans exposed to extremely low-frequency electromagnetic fields. *Arch. Toxicol.* 2016. Vol. 90. № 10. P. 2337-2348.

4. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the

Рисунок 6  
Рівень глутатіонтрансферази у тканинах мозку щурів,  
мкМоль GSSG x хв<sup>-1</sup> x мг білка<sup>-1</sup> за дії ЕМВ

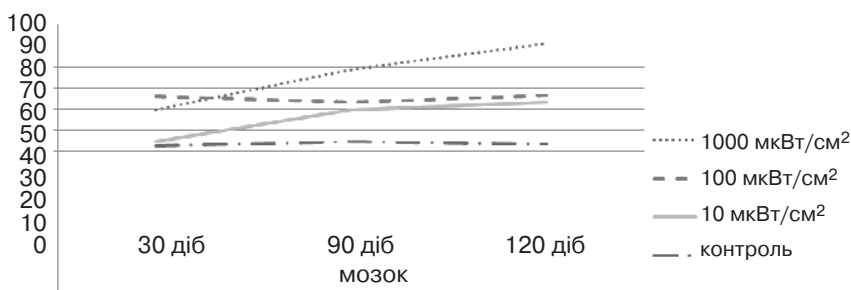
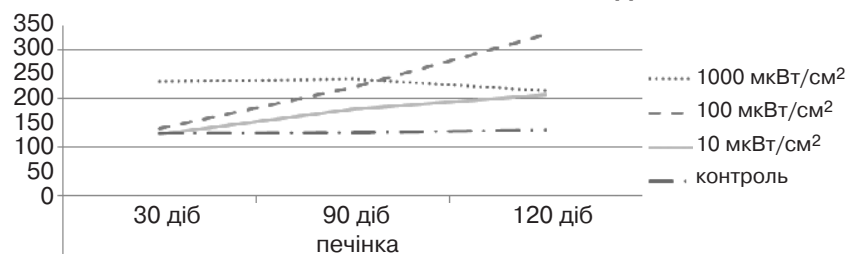


Рисунок 7  
Рівень глутатіонтрансферази у тканинах печінки щурів,  
мкМоль GSSG x хв<sup>-1</sup> x мг білка<sup>-1</sup> за дії ЕМВ



Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields).

5. Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und –anwendung / Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 221.

Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22. Februar 2008. P. 31.

6. Dimbylow P.J. The calculation of SAR from limb current in the female voxel phantom, NAOMI / Radiat Prot Dosimetry. – 2006, № 121(3). – P. 236-239.

7. Berlana T. Occupational exposure of NMR spectrometrists to static and radiofrequency fields. / T. Berlana, A. Ubeda. Radiat Prot Dosimetry. 2017. № 177 (4). P. 397-406.

8. Glushkov S.I. *Toksikologicheskiiy vestnik*. 2003 ; 5 : 6-12 (in Russian).

9. Hudnitskiy S.S. Zdorovia i okruzhayuchaya sreda. 2008 ; 11 : 266-269 (in Belarus).

10. Tomashevskaya L.A., Kravchun T.E. *Gigiena naselenykh mist : zbirka naukovykh prats*. 2011 ; 58 : 259-264

(in Ukrainian).

11. Zavgorodnyi I.V. Aktualni problemy profilakticheskoy medicyny. 2017 ; 1 (14) : 50-58 (in Ukrainian).

12. Danilova N.A. Handbook of laboratory research methods. 2003 : 736 (in Russian).

13. Kamishnikov V.S. Handbook of clinical and biochemical studies and laboratory diagnostics. 2009 : 896 (in Russian).

14. OECD. Principles of Good Laboratory Practice. 1996.

15. Antomonov M.Yu. Mathematical processing and analysis of biomedical data. 2017 : 579 (in Ukrainian).

16. Sharapova O.M. *Medichni perspektivy*. 2012 ; XVII (4) : 17-21 (in Ukrainian).

17. Dumanskyi V.Yu. Dumanskyi Yu.D., Bitkin S.V. Topical issues of environmental protection and health of the population of Ukraine. 2015 : 111-160 (in Ukrainian).

Надійшла до редакції 18.10.2018

## DRINKING WATER TREATMENT FOR RADON REMOVAL. REVIEW OF THE METHODS ACCORDING TO THE EUROPEAN PROJECT

Buzynny M.G., Mykhailova L.L.

### ОБРОБКА ПИТНОЇ ВОДИ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ РАДОНУ. ОГЛЯД МЕТОДІВ ЗА ЄВРОПЕЙСЬКИМ ПРОЕКТОМ



**БУЗИННИЙ М.Г.,  
МИХАЙЛОВА Л.Л.**

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України»

УДК 614.777:546.79 : 628.16

<https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.010>

**Ключові слова : питна вода, радон, методи видалення.**

Проаналізовано методи обробки для видалення радону із питної води за матеріалами заключного звіту європейського проекту TENAWA. Необхідність здійснення проекту була зумовлена тим, що більшість наявних ресурсів підземних вод у багатьох країнах містить значну кількість природних радіонуклідів, зокрема радону. Розглянуто результати лабораторних і польових досліджень щодо можливості застосування різного устаткування і методів видалення радону із питної води для індивідуальних та колективних водопроводів.

**Мета.** Проаналізувати ефективність різних методів видалення радону із питної артезіанської води за умов індивідуального та колективного водокористування. Оцінити можливості застосування методів в Україні та з'ясувати практичні аспекти їх реалізації.

**Матеріали.** Проведено аналіз заключного звіту європейського про-

**ОБРАБОТКА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ РАДОНА.  
ОБЗОР МЕТОДОВ ПО ЕВРОПЕЙСКОМУ ПРОЕКТУ**

**Бузинный М.Г., Михайлова Л.Л.**

ГУ «Институт общественного здоровья им. А.Н. Марзеева НАМН Украины», г. Киев

Проанализированы методы обработки для удаления радона из питьевой воды по материалам заключительного отчета европейского проекта TENAWA. Необходимость осуществления проекта была обусловлена тем, что большинство имеющихся ресурсов подземных вод во многих странах содержит значительное количество природных радионуклидов, в частности радона.

Рассмотрены результаты лабораторных и полевых исследований относительно возможности применения различного оборудования и методов удаления радона из питьевой воды в Украине для индивидуальных и коллективных водопроводов.

**Цель.** Проанализировать эффективность различных методов извлечения радона из питьевой артезианской воды в условиях индивидуального и коллективного водопользования. Оценить возможности применения методов в Украине и выяснить практические аспекты их реализации.

**Материалы.** Проведен анализ заключительного отчета европейского проекта TENAWA по эффективности методов очистки артезианской питьевой воды от радона. Исследованы способы реализации систем очистки питьевых вод от радона с использованием процессов аэрации или фильтрации на гранулированном активированном угле, результаты их испытаний, эффективность, улучшение качества воды из приповерхностных и подземных источников относительно содержания радона.

**Методы:** библиографические, физико-химические, санитарно-гигиенические и экспертной оценки.

**Ключевые слова :** питьевая вода, радон, методы удаления.

© Бузинний М.Г., Михайлова Л.Л. СТАТТЯ, 2018.