

**УДК 504.06:537.612**

## **СОЧЕТАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ И ИОНОВ СВИНЦА НА ЖИВОТНЫХ**

*Артамонова Ю.В.<sup>1</sup>, Розачева С.М.<sup>1</sup>, Бабаева М.И.<sup>1</sup>, Баулин С.И.<sup>2</sup>, Чуян Е.Н.<sup>3</sup>,  
Джелдубаева Э.Р.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Саратовский государственный технический университет, Саратов, Россия,  
e-mail: art-julia85@rambler.ru*

<sup>2</sup>*Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского, Саратов, Россия*

<sup>3</sup>*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина*

Исследовано изолированное и комбинированное с ЭМИ 65 ГГц (ППЭ 120 мкВт/см<sup>2</sup>) воздействие ацетата свинца на выносливость и массу белых беспородных мышей при пероральном введении раствора вещества в нелетальных дозах. Определено потенцирующее действие ЭМИ на токсический эффект свинца.

**Ключевые слова:** КВЧ ЭМИ, ацетат свинца, изолированное и комбинированное воздействие, лабораторные животные, выносливость

### **ВВЕДЕНИЕ**

В современном мире живые системы постоянно подвергаются комплексному воздействию различных химических токсикантов и физических факторов слабой интенсивности. Среди факторов, вызывающих значимые изменения функционального состояния организма, особая роль принадлежит крайне высокочастотному электромагнитному излучению (КВЧ ЭМИ) [1, 2].

Биоэффекты КВЧ-излучения регистрируются при плотности потока энергии (ППЭ) значительно ниже 10 мВт/см<sup>2</sup>, при которой практически отсутствует нагрев облучаемого объекта, поэтому данное излучение относят к нетепловым, «информационным» воздействиям [3]. Биологический отклик не зависит от мощности данного излучения, но зависит от его параметров: частоты, формы сигнала, экспозиции, а также локализации облучения, исходного состояния и индивидуальных особенностей биологического объекта.

Известно, что воздействие низкоинтенсивного КВЧ-излучения на живые системы носит универсальный характер: изменения биохимических и биологических процессов наблюдаются в системах различной степени сложности – от клетки до уровня многоклеточного организма. Молекулярный механизм действия электромагнитных волн окончательно не определен.

Поскольку нетепловое ЭМИ не может вносить существенные изменения в константы скорости биохимических реакций за счет температурных эффектов, некоторые авторы [4] предполагают, что эти поля воздействуют опосредованно,

изменяя концентрацию активных форм кислорода (АФК), вызывающих оксидативную модификацию (ОМ) макромолекул - белков, липидов, нуклеиновых кислот. Подтверждения образования АФК в водных растворах под влиянием КВЧ ЭМИ представлены в работах [5, 6].

Известно, что АФК и ОМ необходимы организму для реакций иммунитета и воспаления. Возможно, этим объясняется высокая эффективность КВЧ-терапии при лечении широкого спектра заболеваний, в том числе инфекционных [7]. С другой стороны, избыток АФК и ОМ повреждает клетки и может способствовать развитию патологических состояний.

В связи с этим большой интерес представляет изучение влияния КВЧ-излучения на организм, подвергающийся воздействию экотоксикантов, механизм токсического действия которых связан с окислительными процессами в клетке.

В группу наиболее опасных экотоксикантов входят тяжелые металлы, в частности, свинец. Соединения свинца вызывают значительные патологические изменения в нервной системе, крови и сосудах, активно влияют на синтез белка, энергетический баланс клетки и ее генетический аппарат [8, 9].

Главная роль в связывании металлов в организме, как внутри, так и вне клетки, принадлежит металлотионеинам (МТ) – низкомолекулярным белкам (6-7 кДа), в которых 20 из 60-68 аминокислотных остатков представлены цистеином. Помимо детоксикации металлов МТ осуществляют защиту клеточных структур от повреждающего действия АФК [10], принимают участие в регенерации нервных клеток и клеток печени [11], оказывают корректирующее влияние на гуморальный и клеточный иммунитет [12].

Таким образом, при сочетании действия КВЧ-излучения и солей свинца на организм можно ожидать усиление токсического эффекта свинца. Известно, что при хроническом воздействии свинца на организм человека снижается его работоспособность [9]. Поэтому целью данной работы явилось оценка уровня комбинированного действия ЭМИ КВЧ и свинца на организм по изменению выносливости животных в известном тесте «вынужденного плавания».

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Эксперименты проводились на белых беспородных мышках с массой тела  $20 \pm 2$  г. Водные растворы ацетата свинца  $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$  вводили животным перорально.

В качестве источника ЭМИ КВЧ использовался генератор Г4-142. Лабораторных животных, помещенных в стеклянный сосуд, облучали через отверстие с помощью пирамидальной рупорной антенны длиной 12 см при комнатной температуре ( $21 \pm 1,0$ )°С в течение 30 минут в режиме непрерывной генерации ЭМИ с частотой 65 ГГц, ППЭ = 120 мкВт/мин·см<sup>2</sup>. При облучении животных не фиксировали.

Изменение общей физической выносливости определялось по модифицированной стандартной методике вынужденного плавания животных в бассейне с температурой воды ( $20 \pm 0,5$ )°С [13]. Через 24 ч после воздействия животных помещали в бассейн, регистрировали время до прекращения активного движения и принятия животным характерной статичной позы.

Перед началом эксперимента животные были взвешены, протестированы по методике вынужденного плавания и разделены 4 группы по 6 особей в каждой. Животным 1-ой группы перорально вводили 0,18-0,22 мл (в зависимости от массы животного) дистиллированной воды. Введение раствора проводили через зонд в пищевод. Животные 2-ой группы подвергались воздействию ЭМИ КВЧ и затем им вводили аналогичный объем дистиллированной воды. Животным 3-ей группы вводили раствор ацетата свинца в дозе 0,24 мг/кг или 2,4 мг/кг через зонд. Животные 4-ой подвергались воздействию ЭМИ КВЧ и затем им вводили аналогичный объем раствора ацетата свинца в дозе 0,24 мг/кг и 2,4 мг/кг.

Математическую обработку полученных данных проводили с использованием компьютерной программы MS Excel 2000. Рассчитывали среднее арифметическое, стандартное отклонение, доверительный интервал при уровне значимости 0,05.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Проводилось исследование хронического воздействия свинца в сочетании с ЭМИ КВЧ на выносливость лабораторных животных. Так как одним из основных путей попадания свинца в организм человека является водно-пищевой, токсикант вводили лабораторным животным перорально. Эксперимент проводился поэтапно. Первоначально была выбрана доза ацетата свинца 0,24 мг/кг, соответствующая дозе свинца, попадающей в организм человека за сутки с водой, загрязненной ионами металла на уровне ПДК [14].

Животные были разделены на 4 группы. За 24 часа до помещения в бассейн животным первой и второй групп вводили дистиллированную воду, третьей и четвертой групп - раствор ацетата свинца в дозе 0,24 мг/кг. Вторая и четвертая группы подвергались воздействию ЭМИ. Раствор соли свинца вводился в течение десяти суток. Тест плавания проводился в течение 11 суток. Регистрировали продолжительность плавания животных до прекращения из активного движения и изменение массы животных. По результатам экспериментов рассчитывали изменение времени плавания  $\Delta t$ , с, и массы мышей  $\Delta m$ , г, по формулам:

$$\Delta t = t_i - t_n, \quad (1)$$

где  $t_i$  – время плавания на  $i$ -тый день эксперимента, с;  $t_n$  - время плавания в первый день эксперимента, с.

$$\Delta m = m_i - m_n, \quad (2)$$

где  $m_i$  – масса мышей на  $i$ -тый день эксперимента, г;  $m_n$  – масса мышей в первый день опыта, г.

Зависимости изменения времени плавания и массы животных от времени эксперимента при пероральном введении ацетата свинца в дозе 0,24 мг/кг представлены на рис. 1, 2.

Из данных, представленных на рис. 1, видно, что у животных контрольной, 2-ой и 3-ей групп в первые дни опыта увеличивается время плавания. Это свидетельствует о том, что животные обучаются плаванию. Исключение составляет 4-ая группа мышей, подвергшихся комбинированному воздействию свинца и ЭМИ, у этих животных уже в первый день опыта выносливость уменьшается и не

восстанавливается в течение эксперимента. На 4-е сутки наблюдается снижение выносливости животных, подвергающихся воздействию свинца, и в последующие дни работоспособность животных не изменяется. В течение 10-и суток постепенно увеличивается работоспособность животных, на которых воздействуют ЭМИ.

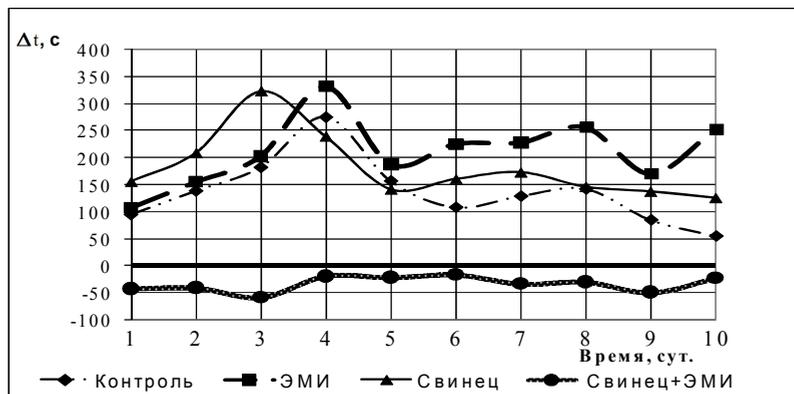


Рис. 1. Зависимость изменения времени плавания мышей при изолированном и комбинированном воздействии ацетата свинца в дозе 0,24 мг/кг и ЭМИ 65 ГГц от времени опыта.

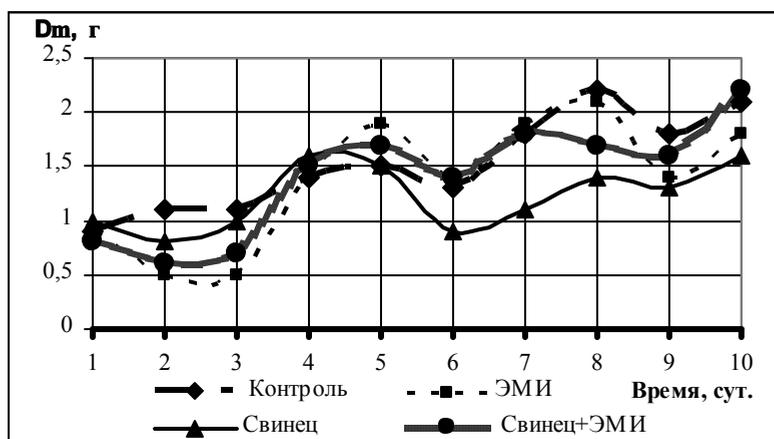


Рис. 2. Зависимость изменения массы мышей при изолированном и комбинированном воздействии ацетата свинца в дозе 0,24 мг/кг и ЭМИ 65 ГГц от времени опыта.

Из рис. 2 видно, что масса мышей постепенно растет во всех опытных группах, но для животных, принимающих раствор ацетата свинца, медленнее.

Для сравнения состояния животных после 10-и дневного опыта были проведены расчеты следующих показателей:

- относительного изменения времени плавания ( $\Delta t_{\text{отн}}$ , %):

$$\Delta t_{\text{отн}} = \left( \frac{t_{\text{к}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{н}}} \right) * 100\%, \quad (3)$$

где  $t_k$  - время плавания в последний день эксперимента, с.

- относительного изменения массы мышей ( $\Delta m_{отн}$ , %):

$$\Delta m_{отн} = ((m_k - m_n) / m_n) * 100\%, \quad (4)$$

где  $m_k$  – масса мышей в последний день эксперимента, г.

По результатам расчетов построена диаграмма, представленная на рис. 3.

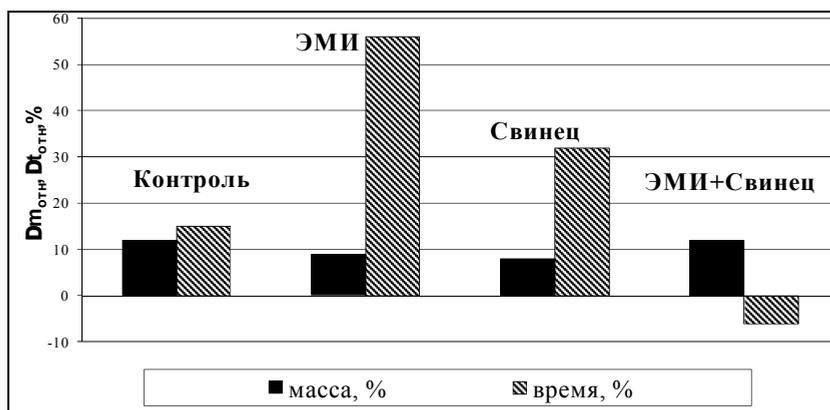


Рис. 3. Относительные значения изменения массы мышей и времени плавания при 10-ти дневном изолированном и комбинированном воздействии ацетата свинца в дозе 0,24 мг/кг и ЭМИ 65 ГГц.

Из диаграммы видно, что через 10 суток эксперимента масса мышей во всех опытных группах практически не изменяется по сравнению с контролем. Выносливость уменьшается только у животных 4 группы, на которых оказывали комбинированное воздействие, снижение продолжительности плавания происходит в среднем на 22 % относительно контрольной группы.

В группе животных, подвергаемых только воздействию ЭМИ КВЧ, наблюдается значительное увеличение продолжительности плавания – на 40 %. В группе мышей, подвергавшихся воздействию свинца, выносливость также выше контроля. Вероятно, доза ацетата свинца недостаточна для показательного изменения функционального состояния организма животных. Тем не менее, нами отмечено усиливающее токсичность свинца действие ЭМИ низкой интенсивности с частотой 65 ГГц.

Далее доза вводимого ацетата свинца была увеличена в 10 раз, до 2,4 мг/кг, и после двухдневного перерыва эксперимент был продолжен. Кроме того, были добавлены две новые группы животных (5-я-Свинец\*, 6-я-Свинец+ЭМИ\*) которым раствор ацетата свинца сразу вводился в дозе 2,4 мг/кг. Опыт проводился по аналогичной схеме. Раствор соли свинца вводился в течение пяти суток. Тест плавания и взвешивание животных проводились в течение шести суток. По результатам эксперимента были также проведены расчеты согласно приведенным выше формулам, и построены графики зависимостей. В данных расчетах первым днем эксперимента считался 12 день, когда после перерыва стали вновь вводить раствор ацетата свинца.

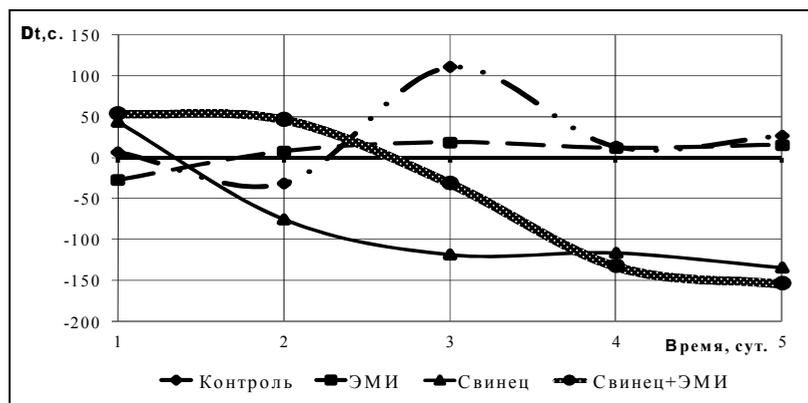


Рис. 4. Зависимость изменения времени плавания мышей при изолированном и комбинированном воздействии ацетата свинца в дозе 2,4 мг/кг (продолжение опыта) и ЭМИ 65 ГГц от времени опыта

Из рис. 4 видно, что у животных, которым продолжали вводить ацетат свинца в увеличенной дозе (2,4 мг/кг), наблюдается значимое снижение времени плавания, как при изолированном воздействии свинца, так и в сочетании с ЭМИ КВЧ. А время плавания животных, подвергаемых только воздействию ЭМИ КВЧ, стабильно. В эксперименте наблюдается также значительное уменьшение массы животных, подвергаемых изолированному и комбинированному с ЭМИ воздействию свинца (рис. 5).

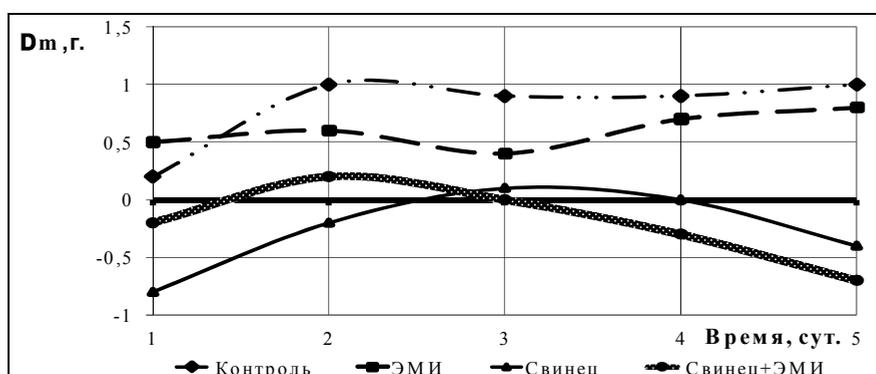


Рис. 5. Зависимость изменения массы мышей при изолированном и комбинированном воздействии ацетата свинца в дозе 2,4 мг/кг (продолжение опыта) и ЭМИ 65 ГГц от времени опыта.

В двух группах животных, которым сразу вводился раствор ацетата свинца в дозе 2,4 мг/кг, наблюдается резкое снижение выносливости (рис. 6). Масса животных начинает снижаться на третий день опыта, но это изменение незначительно (рис. 7).

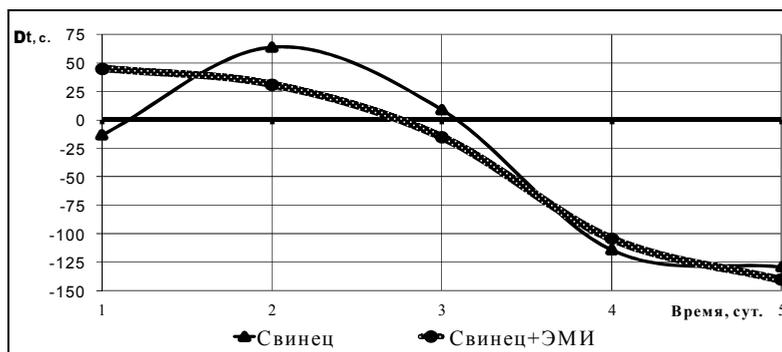


Рис. 6. Зависимость изменения времени плавания мышей при изолированном и комбинированном воздействии ацетата свинца в дозе 2,4 мг/кг и ЭМИ от времени опыта.

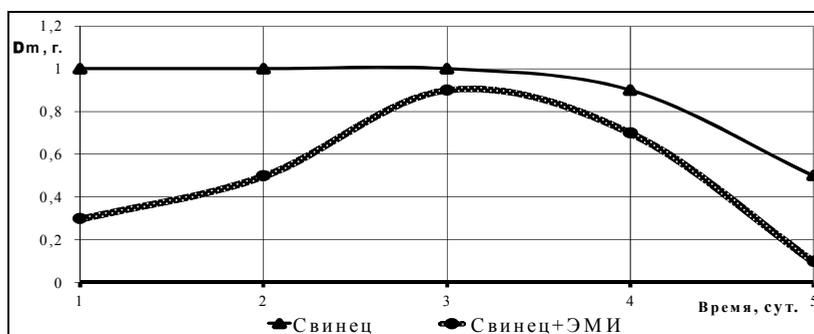


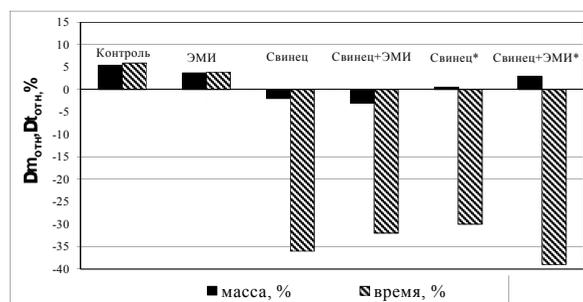
Рис. 7. Зависимость изменения массы мышей при изолированном и комбинированном воздействии ацетата свинца в дозе 2,4 мг/кг и ЭМИ от времени опыта.

Для сравнения состояния животных были проведены расчеты относительных показателей изменения выносливости и массы животных за 5 суток эксперимента (рис. 8).

На рис. 8 отчетливо видно резкое снижение времени плавания: на 42% в группе, подвергаемой длительному воздействию свинца, и на 38% в группе, подвергаемой воздействию свинца в сочетании с ЭМИ. Кроме того, в этих же двух группах наблюдается снижение массы мышей. У животных из новой группы масса практически не изменилась. Зато отчетливо видно резкое уменьшение времени плавания. В группе животных, подвергающихся изолированному действию ионов свинца, время уменьшилось на 36%, а при сочетании с ЭМИ КВЧ на 45% по сравнению с контрольной группой. На основании этих данных можно предположить, что масса уменьшается только при длительном накоплении свинца в организме. Тем временем выносливость падает в обоих случаях.

Известно, что повышенная утомляемость является проявлением астенического синдрома, который характерен как для начальной стадии интоксикации организма свинцом, так и для проявления оксидативного стресса. Потенцирующий эффект ЭМИ КВЧ на токсическое действие свинца, в действительности, может быть обусловлен увеличением АФК в организме и снижением активности МТ по

обезвреживанию тяжелых металлов. Для выяснения механизма обнаруженного нами эффекта КВЧ-излучения необходимы биохимические исследования.



\* - новая группа животных, которым сразу вводился ацетат свинца в дозе 2,4 мг/кг.

Рис. 8. Относительное изменение массы мышей и времени плавания при 5-ти дневном введении ацетата свинца в дозе 2,4 мг/кг, %.

### ВЫВОДЫ

1. При пероральном введении ацетата свинца в течение 10-ти суток в суточной дозе 0,24 мг/кг выносливость животных практически не изменяется, при комбинированном воздействии ацетата свинца и ЭМИ КВЧ она уменьшается на 22 %, относительно контрольной группы. Продолжение введения ацетата свинца в течение 5 суток в увеличенной дозе (2,4 мг/кг) приводит к значительному снижению, в среднем на 40 %, выносливости животных, как при изолированном, так и при сочетанном воздействии с ЭМИ КВЧ.
2. При пероральном введении ацетата свинца в течение 5-ти суток в суточной дозе 2,4 мг/кг выносливость животных уменьшается в среднем на 36%, а при сочетании с ЭМИ КВЧ - на 45% по сравнению с контрольной группой.
3. Масса животных уменьшается только при длительном накоплении свинца в организме.
4. В свете потенцирующего действия КВЧ-излучения на токсический эффект свинца лежит развитие оксидативного стресса организма.

### Список литературы

1. Бецкий О.В. Миллиметровые волны и живые системы / Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. – М.: Сайнс-пресс, 2004. – 272 с.
2. Чуян Е.Н. Механизмы антиноцицептивного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения / Чуян Е.Н., Джелдубаева Э.Р. – Симферополь : ДИАЙПИ, 2006. – 458 с.
3. Девятков Н.Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. – М.: Радио и связь, 1991. – 168 с.

4. Влияние слабого электромагнитного поля на скорость производства перекиси водорода в водных растворах / В.О. Пономарев, В.В. Новиков, А.В. Карнаухов [и др.] // Биофизика. – 2008. – Т.53, вып. 2. – С.197–204.
5. Образование реактивных форм кислорода в водных растворах под действием электромагнитного излучения КВЧ-диапазона / М.М. Поцелуева, А.В. Пустовидко, Ю.В. Евтодиенко [и др.] // Доклады РАН. – 1998. Т.359, №3. – 415–418.
6. Влияние примесей на снижение в воде [O<sub>2</sub>] под действием миллиметрового излучения / В.Н. Казаченко, О.Н. Дерюгина, К.В. Кочетков [и др.] // Биофизика. – 1999. – Т.44, №5. – С.796–805.
7. Голант М.Б. Об успехах в КВЧ-медицине // Сб. докладов 10-го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН, 1997. – С. 8.
8. Лазарев Н.Г. Вредные вещества в промышленности./ Лазарев Н.Г. //Справочник для химиков, инженеров и врачей. В 3-х т. – Л.: Химия, 1977. – Т.3. – 608 с.
9. Куценко С.А. Основы токсикологии. / Куценко С.А. – Санкт-Петербург, 2002. – 395 с.
10. Kang Y.J. Metallotionein redox cycle and function / Y.J. Kang // Exp. Biol. Med. – 2006. – Vol. 231. – P. 1459–467.
11. Protective role of metallotionein in the injured mammalian brain / A.K. West, M.I. Chuah, J.C. Vickers [et al.] // Rev. Neurosci. – 2004. –Vol.15. – P.157–166.
12. Immunomodulatory activities of extracellular metallotionein. I. Metallotionein effects on antibody production / M.A. Lynes, L.A. Borghesi, J. Youn, [et al.] // Toxicology. – 1993. – Vol.85. – P.161–177.
13. Андреева Н.И. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. М. : Медицина. 2000.
14. Давыдова С.Л. Ртуть, олово, свинец и их органические производные в окружающей среде: Моногр. / Астрахан. гос. техн. ун-т. Астрахань / Давыдова С.Л., Тимянов Ю.Т., Милаева Е.Р. // Астрахань: Изд-во АГТУ. – 2001. – 148 с.

**Артамонова Ю.В. Сочетаний вплив електромагнітного випромінювання низької інтенсивності та іонів свинцю на тварин / Ю.В. Артамонова, С.М. Рогачева, М.І. Бабаєва, С.І. Баулін, О.М. Чуян, Е.Р. Джелдубаєва // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2009. – Т. 22 (61). – № 4. – С. 9-17.**

Досліджен ізольований та комбінований з ЕМВ 65 ГГц (120 мкВт /см<sup>2</sup>) вплив ацетату свинцю на витривалість та масу білих безпородних мишей при пероральнім уведенні розчину речовини в нелетальних дозах. Визначена дія низькоінтенсивного ЕМВ на токсичний ефект свинцю.  
**Ключові слова:** НВЧ ЕМІ, ацетат свинцю, ізольований і комбінований вплив, лабораторні тварини, витривалість

**Artamonova Y.V. Combinative effect of low intensive electromagnetic radiation and lead ions at the animals / Y.V. Artamonova, S.M. Rogacheva, M.I. Babaeva, S.I. Baulin, E.N. Chuyan, E.R. Dzheldubaeva // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2009. – V.22 (61). – № 4. – P. 9-17.**

The isolated and combined with low intensive electromagnetic radiation 65 GHz effect of lead acetate at the mice physical endurance and mass was studied. Lead acetate was introduced orally in non lethal doses. The potential action of EMR at the toxicity of lead was discovered.

**Keywords:** electromagnetic radiation of extremely high frequency, lead acetate, isolated and combined effect, laboratory animals, physical endurance.

*Поступила в редакцию 04.12.2009 г.*