

КОМБИНИРОВАННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

УДК 591.1:577.1:57.084.1:599.323.4:537.86:546.214:57.042

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТОВ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРЫС ОЗОНА И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ УСТАНОВКИ

© 2022 г. Н. Н. Гавриш¹, И. Б. Ушаков², С. Г. Максимов¹, С. Ю. Перов^{3,*}, О. В. Белая³

¹ Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации, Сергиев Посад Московской обл., Россия

² Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА, Москва, Россия

³ Научно-исследовательский институт медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова, Москва, Россия

*E-mail: perov@irioh.ru

Поступила в редакцию 07.06.2021 г.

После доработки 11.02.2022 г.

Принята к публикации 02.03.2022 г.

Представлены результаты пилотного исследования биологических эффектов комбинированного воздействия импульсных ЭМП и озона на подопытных животных. В эксперименте у лабораторных крыс-самцов массой 260–280 г через 40 мин после воздействия факторов при работе электроразрядной установки (ЭРУ) в течение 100 мин оценивали общее состояние, ориентировочно-исследовательскую активность, патоморфологические и гематологические показатели, маркеры антиоксидантной системы крови. У животных опытной группы, которые подвергались комбинированному воздействию озона и ЭМП, после окончания экспозиции наблюдали угнетение поведения, выраженную пиломоторную реакцию, осветление окраски гематологических проб и увеличение более чем в 4 раза периода автоматизма деятельности препаратов сердца по сравнению с животными из группы “мнимого воздействия”. По уровням биохимических маркеров выявили тенденцию к активизации систем антиоксидантной защиты. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения комбинированного воздействия факторов, генерируемых в воздухе электрическими разрядами, в интересах разработки гигиенических нормативов и мероприятий по защите работающих от воздействия факторов, а также оценки перспективы совместного использования озона и широкополосных электромагнитных полей в терапевтических целях.

Ключевые слова: коронный разряд, широкополосные электромагнитные поля, озон, комбинированное действие на организм, электроразрядная установка

DOI: 10.31857/S0869803122030122

До настоящего времени остается актуальным вопрос оценки и регламентации воздействия широкополосных сложномодулированных электромагнитных полей (ЭМП) в широком диапазоне амплитудно-частотных характеристик, а также изучения биологических эффектов ЭМП специфичных режимов генерации. Отмечаются назревшие практическая необходимость и целесообразность разработки методического подхода для гигиенической регламентации комбинированного воздействия излучений при образовании коронных электрических разрядов как разновидностей источников немодулированных импульсных ЭМП [1].

Импульсный разряд (в частности, стримерный коронный разряд) возникает между двумя электродами при импульсном напряжении длительностью от сотен наносекунд до единиц микросе-

кунд. При этом в плазме газового разряда в окружающей воздушной среде образуются различные ионы. На важное значение этих аэроионов в жизнедеятельности живого организма сотрудники Центральной научно-исследовательской лаборатории ионификации во главе с А.Л. Чижевским обратили внимание еще в 20-х годах прошлого столетия. Терапевтическое действие отрицательно заряженных аэроионов выявили и начали активно использовать в различных сферах промышленности и медицине более полувека назад [2, 3]. В частности, Наркомздрав СССР, и позднее Минздрав СССР, в 1959 г. рекомендовали для широкого внедрения метод аэроионотерапии, разработанный А.Л. Чижевским, как один из способов физиотерапии [4]. Однако впоследствии при дальнейшей эксплуатации применяемых “электроэфлювиальных аэроионизаторов” бы-

ли выявлены и неблагоприятные эффекты воздействия аэроионов для здоровья человека. Это обусловило необходимость разработки гигиенических требований к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений, а также регламентации продолжительности указанного воздействия [5].

При работе электроразрядной установки (ЭРУ) происходит образование озона, который, в отличие от атомарного кислорода, является относительно устойчивым соединением и самопроизвольно разлагается при высоких концентрациях [6]. Таким образом, при эксплуатации подобных установок человек может подвергаться сочетанному воздействию факторов различной природы.

Изучение комбинированного воздействия факторов окружающей и производственной среды на организм человека является важной медико-биологической проблемой. Отмеченные в работе [7] объективные трудности изучения данной проблемы заключаются в недостаточной разработанности теории, описывающей основные принципы взаимодействия организма с комплексом факторов, действующих одновременно или последовательно. Это обуславливает приоритетность эмпирического пути изучения указанного эффекта, сопряженного с обоснованием комбинаций при планировании эксперимента.

Одним из основных неблагоприятных физических факторов, возникающих при работе электроустановок, являются импульсные ЭМП, которые при разряде имеют широкополосный характер, включая как низкочастотные составляющие спектра, так и радиочастотные компоненты [8]. Медико-биологическое действие импульсных ЭМП, как широкополосных излучений, изучено слабо, что обусловлено как отсутствием тепловых эффектов, так и их кратковременным действием. Однако исследователи не исключают возможности возникновения эффектов на клеточном уровне, в частности, на процессы поляризации мембран [9], а также изменений активности нейронов при достаточно мощных импульсах ЭМП [10, 11].

Учитывая импульсный режим работы подобных установок, гигиеническая оценка факторов производственной среды должна проводиться в соответствии с установленными требованиями [12].

В Российской Федерации озон отнесен к первому классу опасности вредных веществ. Максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК) в атмосферном воздухе населенных мест 0.16 мг/м^3 . ПДК в воздухе рабочей зоны составляет 0.1 мг/м^3 , а среднесуточная ПДК не должна превышать 0.03 мг/м^3 [13]. При этом обонятельный порог концентрации восприятия человеком озона в воздухе около 0.01 мг/м^3 .

Исследования *in vitro* показали, что при взаимодействии с клетками организма озон окисляет

жиры и образует пероксиды. По действию озон можно сравнить с антибиотиками, с той разницей, что он не имеет побочного негативного влияния на органы пищеварительной системы [14].

Установлено, что при высоких концентрациях озона в воздухе проявляются стимуляция и реактивация кислородного метаболизма без нарушения окислительно-восстановительных систем, т.е. ферментативно нивелируются радикальные кислородные метаболиты или избыточно полученные пероксиды [15]. Озон в терапевтических дозах действует как иммуномодулирующее, противовоспалительное, бактерицидное, противогрибковое, фунгицидное, цитостатическое, антистрессовое и анальгезирующее средство [16]. Можно полагать, что актуальность исследования влияния кислородных соединений на метаболизм клеток определяется также важностью изучения протекающих при этом процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) клеточных субстратов и структур, а также оболочек вирусов нового поколения в целях разработки новых современных средств и способов профилактики и противовирусного лечения.

Целью настоящей работы была оценка в эксперименте на мелких лабораторных животных (крысах) биологических эффектов комбинированного воздействия импульсных ЭМП и озона, генерируемых при работе макета электроразрядной установки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В исследовании в качестве источника действующих факторов использовали макет малогабаритной лабораторной электроразрядной установки (разработан Всероссийским энергетическим институтом им. В.И. Ленина), конструкция которого включала подстилающую платформу из меди, укрепленные на изоляторах нихромовые тоководущие провода, соединенные через блок управления и модуляции с источником питания напряжением 70 кВ (рис. 1).

В рабочем режиме подобных установок при подаче высоковольтного модулированного электрического сигнала обычно генерируются импульсные ЭМП нетепловой интенсивности и слабое ультрафиолетовое излучение, сопровождающиеся ионизацией воздуха с образованием озона, изомеров кислорода и других ионов [17].

По данным исследований [18] при эксплуатации использованного макета ЭРУ на удалении 30–50 см от активной зоны (зоны коронного разряда) отмечалось широкополосное электромагнитное излучение в диапазоне частот 0.5–6 ГГц с ППЭ 3 мВт/см^2 ; две полосы ультрафиолетового (УФ) излучения с длинами волн в диапазонах

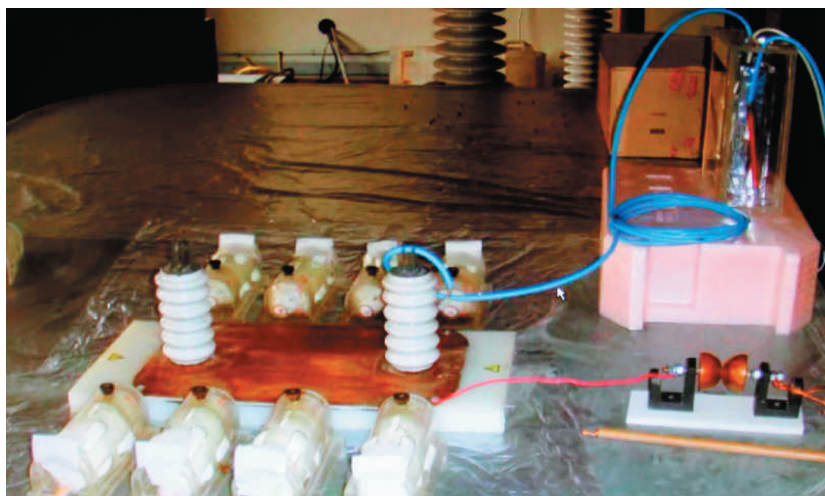


Рис. 1. Вид макета лабораторной ЭРУ и расположенных рядом с ней пеналов с лабораторными крысами.
Fig. 1. Exposure electric discharge setup with laboratory rats.

0.24–0.28 мкм и 0.34–0.38 мкм; озон O_3 с уровнем концентрации ~ 0.1 мг/м³.

Исследования были проведены на белых лабораторных беспородных крысах-самцах массой тела 260–280 г, которые содержались в условиях вивария на стандартном пищевом рационе при искусственном освещении с 12-часовым световым режимом. Лабораторные животные были разделены на основную и контрольную группы, по восемь особей в каждой. Животных размещали на диэлектрической платформе индивидуально в радиопрозрачных пеналах. Крысы опытной группы были ориентированы головой по направлению к ЭРУ на расстоянии 3 см от токоведущего провода источника излучения, как представлено на рис. 1. Животных контрольной группы размещали аналогично и подвергали мнимому воздействию в идентичных условиях. Подопытных животных подвергали острому однократному воздействию факторов в течение 100 мин, а после окончания экспозиции крысы поили для исключения влияния питьевой депривации на гематологические и биохимические показатели.

Через 40 мин после окончания воздействия в соответствии с рекомендациями [19, 20] у лабораторных животных производили визуальное клиническое наблюдение по качественным показателям. Оценивали общее состояние и индивидуальное поведение животного (подвижность, угнетение или возбуждение, агрессивность, пугливость, походку, наличие атаксии), а также групповое поведение по спонтанному перемещению и наличию ротации биообъектов в контейнере размещения. Исследовали состояние шерстного покрова и кожи – наличие piloмоторной реакции (взъерошенность), блеск или матовый оттенок, наличие отеков, воспалительных явлений, кровоизлия-

ний и пр. Изучали состояние видимых слизистых оболочек полости рта и глаз – бледность, покраснение, синюшность, набухание, наличие кровоизлияний или эрозий и пр.

После регистрации показателей проводили декапитацию животных и последующий отбор крови. В плазме крови у крыс оценивали содержание продуктов ПОЛ – диеновых конъюгатов, кетодиенов, карбониллов по методу Плацера [21], Креховой и Чехрановой [22]. Кроме того, определяли активность функционирования антиокислительной системы по реакции восстановления антиоксидантами свободного радикала дифенилпикрилгидразила [23, 24].

Осуществляли выделение органов, критических к воздействию факторов: сердца, головного мозга и семенников лабораторных животных [25]. При патоморфологическом исследовании визуально оценивали наличие и выраженность кровоизлияний сосудов, кровоснабжающих указанные органы, а также с помощью ручного электронного хронометра ET-K9318 (“Ewttto”, КНР) определяли продолжительность автоматизма макропрепаратов сердца после декапитации животного. Все манипуляции с лабораторными крысами проводили в соответствии с этическими принципами и нормативами ГОСТ 33215-2014 [26].

Оценку достоверности различий показателей биологических эффектов у животных контрольной и основной групп проводили с использованием методов вариационной статистики для малых выборок [27]. Рассчитывали следующие параметрические критерии: *t*-критерий Стьюдента для независимых выборок и *T*-критерий Вилкоксона. Уровень статистической значимости отличий величин показателей в экспериментальных группах принимали соответствующим $p \leq 0.05$.

Таблица 1. Показатели перекисного окисления липидов у крыс контрольной и основной групп через 40 мин, абс. ед., $M \pm m$

Table 1. Lipid peroxidation of exposed and sham-exposed rats 40 minutes after exposure, abs.values, $M \pm m$

Группа (число животных)	Показатели ПОЛ			
	диеновые конъюгаты, мкмоль/л	кетодиены, мкмоль/л	карбонилы, мкмоль/л	антиокислительная активность, мЭКВ
Контрольная (8)	1.00 ± 0.17	0.38 ± 0.13	124.68 ± 3.57	1.34 ± 0.24
Опытная (8)	1.21 ± 0.2	0.49 ± 0.15	123.25 ± 3.21	1.76 ± 0.33

Данные оценки биологических эффектов представлены в виде среднего арифметического (M) с ошибкой среднего (m) в абсолютных значениях, а также в процентах исходного уровня зарегистрированных значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным осмотра у животных контрольной группы, подвергавшихся мнимому воздействию, не было выявлено изменений показателей функционального состояния, индивидуальных и групповых особенностей поведения лабораторных крыс. В отличие от контрольной группы, у животных, подвергшихся воздействию комплекса исследуемых факторов, визуально отмечалась выраженная пиломоторная реакция (100% особей), мышечная дрожь (75%), угнетение поведенческих реакций в виде резкого снижения (подавления) спонтанной двигательной активности (100%), шаткость походки крысы в контейнере (100%), акты громкой вокализации (75%), отсутствие ротации (перемещения крыс снаружи внутрь группы).

Указанные клинические проявления изменения функционального состояния организма животных указывали о сверхсильном раздражении центральной и вегетативной нервной системы, обуславливающей подавление поведенческих стереотипов, и активизацию адаптационных механизмов, направленных на преодоление стрессового воздействия комплекса физических и химических факторов, генерируемых при работе экспериментального макета ЭРУ. Можно полагать, что наблюдаемое состояние животных было сходно с эффектами у подопытных крыс при остром воздействии летальных доз ионизирующего излучения [28]. Предполагается, что содержащийся в воздухе рабочей зоны озон в высокой концентрации усугубил негативное влияние на организм подопытных животных импульсных ЭМП, генерируемых при электрических разрядах макета ЭРУ.

При визуальном сравнении пробирок с кровью подопытных животных в опытной группе отмечен ярко-алый цвет, тогда как в группе контроля кровь была темно-бурого цвета. Такой цвет

крови у животных, подвергавшихся воздействию, характерен, в частности, при оксигенации (повышении парциального напряжения кислорода) крови после насыщения гемоглобина эритроцитов соединениями кислорода в легочных капиллярах.

В табл. 1 представлены данные показателей ПОЛ и общей антиокислительной активности в плазме крыс, оценка которых проводилась через 40 мин после окончания истинного/мнимого воздействия комплекса факторов, генерируемых макетом ЭРУ.

Представленные в табл. 1 данные иллюстрируют тенденцию к увеличению на 20–30% концентрации первичных продуктов ПОЛ (диеновых конъюгатов и кетодиенов) в крови у подопытных животных, подвергшихся исследуемому воздействию, по сравнению с контрольной группой. Отмеченная тенденция к повышению концентрации в крови (плазме и эритроцитах) диеновых конъюгатов и кетодиенов полиненасыщенных жирных кислот свидетельствует об усилении процессов ПОЛ в организме и развитии эндотоксикоза продуктами ПОЛ.

Из представленных в табл. 1 данных можно видеть тенденцию к повышению (до 30%) общей антиокислительной активности в крови у подопытных животных, связанной с усилением свободнорадикальных процессов ПОЛ. Об активации антиоксидантных процессов после воздействия комплекса факторов при работе ЭРУ свидетельствует отсутствие изменений уровня карбониллов в крови опытной группы.

Результаты оценки длительности автоматизма сердечной деятельности после декапитации у крыс, подвергшихся воздействию исследуемой комбинации факторов, представлены в табл. 2. Полученные данные иллюстрируют достоверное более чем в 4 раза увеличение периода времени автоматизма деятельности препарата сердца у крыс опытной группы (527 ± 35 с) по сравнению с контрольной (120 ± 12 с). При оценке автоматизма сердечной деятельности у животных контрольной группы не было выявлено значимых отличий от видовой нормы.

Таблица 2. Период времени автоматизма сердечной деятельности у крыс контрольной и основной групп после эвтаназии, с**Table 2.** The cardiac automatism time period of exposed and sham-exposed rats after euthanasia, s

Группа крыс	№ крысы	Период сердечного автоматизма, с	<i>t</i> -критерий Стьюдента для независимых выборок	<i>T</i> -критерий Вилкоксона
Контрольная	1	85	$n = 8$ $v = 7$ $t = -9.6$ $p = 0.000028$	$n = 8$ $T = 0$ $Z = 2.5$ $p = 0.011$
	2	154		
	3	55		
	4	123		
	5	118		
	6	129		
	7	168		
	8	131		
Опытная	1	446	$p \leq 0.01$	$p \leq 0.05$
	2	397		
	3	680		
	4	643		
	5	428		
	6	562		
	7	541		
	8	524		

При макроскопическом исследовании семенников крыс в опытной группе была выявлена умеренная кровенаполненность сосудов половых желез в отличие от контрольной группы. Патологоанатомических изменений в головном мозге у крыс, подвергшихся воздействию исследованного комплекса факторов, обнаружено не было.

Можно предположить, что выявленные изменения обусловлены стресс-активизацией энергетического метаболизма клеток миокарда и кишечника, а также чрезмерной активацией систем тканевого дыхания, приведшей к выраженной оксигенации крови, и, по-видимому, к стимулированию процессов перекисного окисления липидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты пилотных экспериментальных исследований эффектов сочетанного действия физического (импульсных ЭМП) и химического (озона) факторов, генерируемых в течение 100 мин эксплуатации ЭРУ, свидетельствовали о развитии у подопытных животных оксидативного стресса [29]. Установлена тенденция к увеличению продуктов ПОЛ и маркеров антиоксидантной защиты, свидетельствующих о напряжении антиокислительных систем в организме крыс после воздействия комплекса указанных факторов.

На основании анализа и обобщения собственных и литературных данных можно полагать, что увеличение “суммарной дозы” воздействия комплекса факторов при работе ЭРУ выше потенциального порогового уровня приведет к истощению компенсаторных возможностей антиоксидантной защиты и развитию неблагоприятных последствий (с накоплением недоокисленных продуктов ПОЛ) для организма вследствие оксидативного и психоэмоционального стресса.

Установленное в опыте видимое повышение оксигенации крови, отразившееся в изменении окраски (осветлении) гематологических проб, увеличении автоматизма работы препаратов сердца и кишечника у животных опытной группы по сравнению с группой контроля, свидетельствуют о принципиальной возможности применения изотопов кислорода в присутствии ЭМП в задачах экстренной терапии, а также профилактики осложнений при угрожающих жизни состояниях (например, у пострадавших при пожаре, в условиях развивающейся пневмонии и т.п. состояниях с выраженной гипоксией). В пользу этого свидетельствуют данные об увеличении сосудистой проницаемости для различных химических соединений в условиях электромагнитного воздействия [30].

Для изучения механизмов развития выявленных в настоящей пилотной работе биологических эффектов, а также количественной гигиенической оценки и прикладной терапевтической значимо-

сти необходимы дальнейшие целевые многоплановые исследования с использованием нескольких видов подопытных животных, использованием более широкого спектра экспериментальных методов оценки биологических эффектов, а также корректной дозиметрии физических факторов и химических веществ, генерируемых при работе действующих и перспективных ЭРУ, применяемых в исследовательских целях и промышленности. Это свидетельствует о необходимости углубленного исследования комбинированного влияния озона и импульсных ЭМП в интересах разработки подходов к гигиеническому нормированию их воздействия как вредных и потенциально опасных производственных факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю. Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов. М.: Наука, 2010. 870 с. [Misri Khanov M.Sh., Rubtsova N.B., Tokarskii A.Yu. Obespechenie elektromagnitnoi bezopasnosti elektrossetevykh ob"ektov. M.: Nauka; 2010. 870 p. (In Russ.)]
2. Чижевский А.Л. Аэроионификация в народном хозяйстве / Под ред. А.Г. Погосова и Ф.Т. Садовского. М.: Госпланиздат, 1960. 758 с. [Chizhevskii A.L. Aeroionifikatsiya v narodnom khozyaistve / Pod red. A.G. Pogosova i F.T. Sadovskogo. M.: Gosplanizdat, 1960. 758 p. (In Russ.)]
3. Чижевский А.Л. Руководство по применению ионизированного воздуха в промышленности, сельском хозяйстве и медицине. М.: Госпланиздат, 1959. 56 с. [Chizhevskii A.L. Rukovodstvo po primeneniyu ionizirovannogo vozdukha v promyshlennosti, sel'skom khozyaistve i meditsine. M.: Gosplanizdat, 1959. 56 p. (In Russ.)]
4. Скипетров В.П. Аэроионы и жизнь. Саранск: Тип. "Красный Октябрь", 2011. 136 с. [Skipetrov V.P. Aeroiony i zhizn'. Saransk: Tip. "Krasnyi Oktyabr", 2011. 136 p. (In Russ.)]
5. СанПиН 2.2.4.1294–03. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений. Санитарно-эпидемиологические правила и гигиенические нормативы. [SanPiN 2.2.4.1294–03. Gigienicheskie trebovaniya k aeroionnomu sostavu vozdukha proizvodstvennykh i obshchestvennykh pomeshchenii. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i gigienicheskie normativy. (In Russ.)]
6. Галиева Н.В., Фазылов В.Х., Чижова М.А. Физико-химические свойства озона и его применение в медицине (клинико-экспериментальное обоснование) // Вестн. технол. ун-та. 2016. Т.19. № 17. С. 172–175. [Galieva N.V., Fazyllov V.Kh., Chizhova M.A. Fizikokhimicheskie svoystva ozona i ego primenenie v meditsine (kliniko-eksperimental'noe obosnovanie) // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. V. 19. № 17. P. 172–175. (In Russ.)]
7. Ушаков И.Б. Комбинированные воздействия в экологии человека в экстремальной медицине. М.: ИПЦ "Издатцентр", 2003. 442 с. [Ushakov I.B. Kombinirovannye vozdeistviya v ekologii cheloveka v ekstremal'noi meditsine. M.: IPTs "Izdattsentr", 2003. 442 p. (In Russ.)]
8. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 207 с. [Kharlov N.N. Elektromagnitnaya sovместimost' v elektroenergetike: Uchebnoe posobie. Tomsk: Izd-vo TPU; 2007. 207 p. (In Russ.)]
9. Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Павлова Л.Н. и др. Влияние широкополосного импульсно-модулированного поля низкой интенсивности на общую возбудимость // Радиация и риск. 2011. Т. 20. № 2. С. 64–74. [Zavoronkov L.P., Dubovick B.V., Pavlova L.N. et al. The influence of wideband pulsed-modulated electromagnetic field of low intensity on the whole excitability of the central nervous system // Radiation and Risk. 2011. V. 20. № 2. P. 64–74. (In Russ.)]
10. Cobb B.L., Jachem J.R., Mason P.A. et al. Neural and behavioral teratological evaluation of rats exposured to ultra-wide-band electromagnetic fields // Bioelectromagnetics. 2000. V. 21. № 7. P. 524–537. [https://doi.org/10.1002/1521-186x\(200010\)21:7<524::aid-bem6>3.0.co;2-j](https://doi.org/10.1002/1521-186x(200010)21:7<524::aid-bem6>3.0.co;2-j)
11. Jauchem J.R., Seaman R.L., Lehnert H.M. et al. Ultra-wideband electromagnetic pulses: Lack effects on heart rate and blood pressure during two-minute exposure of rats // Bioelectromagnetics. 1998. V. 19. № 5. P. 330–333. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-186x\(1998\)19:5<330::aid-bem7>3.0.co;2-j](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-186x(1998)19:5<330::aid-bem7>3.0.co;2-j)
12. Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. [R 2.2.2006–05. Rukovodstvo po gigienicheskoi otsenke faktorov rabochei sredy i trudovogo protsesssa. Kriterii i klassifikatsiya uslovii truda. (In Russ.)]
13. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2. [Ob utverzhdenii sanitarnykh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 "Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya". Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28 yanvarya 2021 g. № 2. (In Russ.)]
14. Андосова Л.Д., Контрощикова К.Н., Качалина О.В. и др. Характеристика биоценоза урогенитального тракта у женщин репродуктивного возраста // Клини. лаб. диагностика. 2013. №1. С. 51–53. [Andosova L.D., Kontorschikova K.N., Katchalina O.V. et al. The characteristic of biocenosis of urogenital tract in women // Russian Clinical Laboratory Diagnostics. 2013. № 1. P. 51–53. (In Russ.)]
15. Озон в биологии и медицине // Сб. трудов VI Всерос. науч.- практ. конф. Н. Новгород, 2005. 250 с. [Ozon v biologii i meditsine // Sb. trudov VI Vserossi-

- iskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. N. Novgorod, 2005. 250 p. (In Russ.)]
16. *Биткина О.А., Копытова Т.В., Конторщикова К.Н. и др.* Уровень окислительного стресса у больных розацеа и обоснование терапевтического применения озono-кислородной смеси // Клини. лаб. диагностика. 2010. № 4. С. 13–16. [*Bitkina O.A., Kopytova T.V., Kontorschikova K.N. et al.* Uroven' okislitel'nogo stressa u bol'nykh rozatsea i obosnovanie terapevticheskogo primeneniya ozono-kislorodnoi smesi // Russian Clinical Laboratory Diagnostics. 2010. № 4. P. 13–16 (In Russ.)]
 17. *Гордееня Е.А.* Исследование влияния параметров импульса напряжения на эффективность генерации озона в стримерном коронном разряде: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., ВЭИ им. В.И. Ленина, 2005. 25 с. [*Gordeenya E.A.* Issledovanie vliyaniya parametrov impul'sa napryazheniya na effektivnost' generatsii ozona v strimernom koronnom razryade. [dissertation] Moskva, VEI im. V.I. Lenina, 2005. 25 p. (In Russ.)]
 18. *Шишкин А.Л., Баранов В.А., Виноградова А.В. и др.* Исследование характеристик магнетотороэлектрических излучений с помощью фотопленочных детекторов. Доступно по: <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0231/004a/02311041.htm>. Ссылка активна на 07.05.2021.
 19. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / Под общ. Ред. чл.-корр. РАМН, проф. Р.У. Хабриева. 2-е изд., перераб и доп. М.: ОАО "Изд-во "Медицина", 2005. 832 с. [Rukovodstvo po eksperimental'nomu (doklinicheskomu) izucheniyu novykh farmakologicheskikh veshchestv / Pod obshchei redaktsiei chl.-korr. RAMN, prof. R.U. Khabrieva. 2-e izd., pererab i dop. M.: OAO "Izdatel'stvo "Meditsina", 2005. 832 p. (In Russ.)]
 20. Методические указания по отбору лекарственных средств и разработке на их основе новых методов лечения комбинированных радиационных поражений / Под ред. А.Ф. Цыба. М.: Обнинск, 1991. 13 с. [Metodicheskie ukazaniya po otboru lekarstvennykh sredstv i razrabotke na ih osnove novykh metodov lecheniya kombinirovannykh radiatsionnykh porazhenij / Pod red. AF Cyba. M.: Obninsk, 1991. 13 p. (In Russ.)]
 21. *Платцер З., Видлакова М., Купила Л.* Определение диеновых конъюгатов и общих гидроперекисей в биологических материалах // Чехосл. мед. обзор. 1970. Т. 16. № 1. С. 30–34. [*Platser Z., Vidlakova M., Kupila L.* Opredelenie dienovykh kon'yugatov i obshchikh gidroperekisei v biologicheskikh materialakh // Chekhsosl. med. obzor. 1970. V. 16. № 1. P. 30–34. (In Russ.)]
 22. *Крехова М.А., Чехранова М.К.* Фракционное определение эфиров холестерина в крови и тканях с помощью хроматографии в тонком слое // Вопр. мед. химии. 1971. Т. 17. № 1. С. 93–98. [*Krehova M.A., Chekhranova M.K.* Fraktsionnoe opredelenie efirov kholesterina v krovi i tkanyakh s pomoshch'yu khromatografii v tonkom sloe // Problems of Medical Chemistry. 1971. V. 17. № 1. P. 93–98. (In Russ.)]
 23. *Величковский Б.Т.* Экологическая пульмонология (роль свободнорадикальных процессов). Екатеринбург: ЕМНЦ ПОЗРПП Минздрава России, 2003. 141 с. [*Velichkovskii B.T.* Ekologicheskaya pul'monologiya (rol' svobodnoradikal'nykh protsessov). Ekaterinburg: EMNTs POZRPP Minzdrava Rossii, 2003. 141 p. (In Russ.)]
 24. *Glavind J.* Antioxidants in animal tissue // Acta Chemica Scandinavica. 1963. V. 17. № 6. P. 1635–1640. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.17-1635>
 25. *Питенин И.В.* Патологоанатомические изменения в органах и тканях животных при воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты // Вопросы биологического действия сверхвысоко-частотного электромагнитного поля: Тез. докл. Ленинград, 1962. С. 36–38. [*Pitenin I.V.* Patologoanatomicheskie izmeneniya v organakh i tkanyakh zhivotnykh pri vozdeistvii elektromagnitnogo polya sverkhvysokochastotnogo elektromagnitnogo polya: Tezisy dokladov. Leningrad, 1962. P. 36–38. (In Russ.)]
 26. ГОСТ 33215-2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур. М.: Стандартинформ. 2016. 12 с. [GOST 33215-2014. Guidelines for accommodation and care of animals. Environment, housing and management. M.: Standartinform, 2016. 12 p. (In Russ.)]
 27. *Гланц С.М.* Медико-биологическая статистика: Пер. с англ. М.: Практика, 1988. 459 с. [*Glanc S.M.* Mediko-biologicheskaja statistika: Per. s angl. M.: Praktika, 1988. 459 p. (In Russ.)]
 28. *Иванов И.В.* Исходная реактивность организма и радиационные воздействия: Лечебно-профилактические аспекты проблемы. Научно-практическое руководство / Под ред. проф. Н.Г. Даренской. М.: Изд-во РМАПО, 2005. 395 с. [*Ivanov I.V.* Iskhodnaya reaktivnost' organizma i radiatsionnye vozdeistviya: Lechebno-profilakticheskie aspekty problemy. Nauchno-prakticheskoe rukovodstvo / Pod red. prof. N.G. Darenskoi. M.: Izd-vo RMAPO, 2005. 395 p. (In Russ.)]
 29. *Зенков Н.К., Ланкин В.З., Меньшикова Е.Б.* Окислительный стресс. Биохимические и патофизиологические аспекты. М.: Наука: Интерпериодика, 2001. 343 с. [*Zenkov N.K., Lankin V.Z., Men'shikova E.B.* Okislitel'nyi stress. Biokhimicheskie i patofiziologicheskie aspekty. M.: Nauka: Interperiodika, 2001. 343 p. (In Russ.)]
 30. *Логвинов С.В., Зуев В.Г., Ушаков И.Б. и др.* Очерки неионизирующей радионейробиологии: Структурно-функциональный анализ. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1994. 208 с. [*Logvinov S.V., Zuev V.G., Ushakov I.B. et al.* Ocherki neioniziruyushchei radioneirobiologii: Strukturno-funktsional'nyi analiz. Tomsk: Izd-vo Tomsk. un-ta; 1994. 208 p. (In Russ.)]

Biological Effects Evaluation of Ozone and Electromagnetic Pulses Combined Exposure from Electric discharge Unit

N. N. Gavrish^a, I. B. Ushakov^b, S. G. Maksimov^a, S. Yu. Perov^{c, #}, and O. V. Belaya^c

^a *Central Scientific Research Institute of the Ministry of Defense, Sergiev Posad, Russia*

^b *A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia*

^c *Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: perov@irioh.ru*

The pilot research results of the biological effects of pulsed EMF and ozone combined exposure in the acute experiment are presented. The combined exposure conditions were produced by the electric discharge unit operation during 100 minutes. The biological objects were laboratory male rats with body weight of 200–280 g. The clinical condition of laboratory animals, their orientating-exploratory activity, pathomorphological and hematological parameters, the antioxidant system markers were assessed 40 minutes after the end of exposure. The behavior inhibition, pronounced pilomotor reaction, lightening of hematological samples color as well as the increase the of the heart and intestines macropreparations activity automatism period were observed in experimental group rats in comparison with the sham exposure group rats. The antioxidant defense system activation was also observed in the dynamics of biochemical markers. The obtained results indicated need to following research of electric discharge factors combined exposure effects for occupational hygienic and therapeutic purposes.

Keywords: corona discharge, broadband electromagnetic fields, ozone, combined effect on the body, electric discharge installation