

НЕИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

УДК 591.18:591.51:57.084.1:599.323.4:537.8

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМИ
НА КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ ПОТОМСТВА ОБЛУЧЕННЫХ КРЫС**

© 2021 г. В. В. Панфилова^{1,*}, О. И. Колганова¹, О. Ф. Чибисова¹

¹ Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава РФ, Обнинск, Россия

*E-mail: whiskas04@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.06.2020 г.

После доработки 17.09.2020 г.

Принята к публикации 11.11.2020 г.

Представлены результаты экспериментальной работы по оценке психофизиологического статуса потомства первого поколения крыс Вистар, которые были подвергнуты длительному электромагнитному излучению диапазона мобильной связи. Условия облучения: несущая частота 1800 МГц, зона сформированной волны, ППЭ 85 мкВт/см², расстояние от источника излучения 1.3 м, 1 ч в день. Самцов и самок облучали 18 дней до спаривания, затем самок облучали с 5-го по 17-й дни беременности. Когнитивные (памятные) функции мозга потомства оценивали по способности к выработке и воспроизведению условного рефлекса активного избегания (УРАИ). У самцов первого поколения отклонений в условно-рефлекторной деятельности не выявлено. У самок первого поколения обнаружены снижение скорости обучения и нарушение долговременной памяти.

Ключевые слова: крысы Вистар, потомство, условно-рефлекторная деятельность, электромагнитное излучение, мобильная связь, безэховая камера

DOI: 10.31857/S0869803121010094

В наше время человека окружают различные изобретения, без которых нам трудно представить свою повседневную жизнь. Например, мобильный телефон. Уже сейчас в мире беспроводной связью пользуется большая часть населения, она стала неотъемлемой частью жизни многих людей [1]. В настоящее время появилось большое количество публикаций на тему воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ) от мобильных телефонов на здоровье людей, что позволяет нам говорить о безусловной актуальности и важности этой проблемы и необходимости ее обсуждения [2–9].

Все чаще встречаются работы в отечественной и зарубежной литературе об отклонениях со стороны центральной нервной системы (ЦНС) при использовании мобильных телефонов [10–12]. Это обусловлено тем, что ЦНС оказывается наиболее чувствительной к действию ЭМИ [12]. Было показано некоторое снижение показателей работоспособности, внимания и памяти у детей – пользователей мобильных телефонов, хотя показатели снижались лишь до нижних границ возрастной нормы [13]. Достаточно интересны исследования о влиянии ЭМИ на формирование памяти на модели импринтинга (запечатления) у цыплят. Результаты, полученные в ходе данной

работы, показали, что кратковременное воздействие ЭМИ, начиная с плотности потока энергии (ППЭ) 0.4 мВт/см², на эмбрионы цыплят в разные сроки развития вызывало потерю способности к запечатлению [14]. В экспериментальной работе, посвященной воздействию циклического облучения на животных, были получены данные о том, что хроническое облучение (4 мес., 2 ч в день, ср. ППЭ 500 мкВт/см²) приводило к нарушению памяти у крыс по тестам открытого поля и поведения в лабиринте [15]. Нами ранее были показаны снижение общей возбудимости и угнетение когнитивных функций у крыс Вистар после однократного (30 мин) воздействия низкоинтенсивным широкополосным импульсно-модулированным ЭМП [16], захватывающим диапазон частот мобильной связи.

Этим обусловлена актуальность продолжения экспериментального изучения влияния ЭМИ на психофизиологический статус потомства облученных животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В исследовании использовали 15 самцов крыс Вистар, 30 самок крыс Вистар и 107 особей первого поколения.

В ходе эксперимента неполовозрелых самцов и самок крыс Вистар (возраст 40–43 дня) подвергали хроническому воздействию ЭМИ, частота 1800 МГц, ППЭ 85 мкВт/см², 1 ч в день, 18 дней в безэховой камере. Источник ЭМИ – генератор сигналов E82257D (США). Измерение ППЭ проводили измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-31 (Россия). Животных из контрольной группы подвергали ложному облучению в безэховой камере по 1 ч в день в течение 18 дней. После этого облученных самок подсаживали к облученным самцам из расчета 2:1. Аналогичные действия производили и с контрольными животными. Начало беременности, ее первый день, определяли по наличию сперматозоидов во влагалищных мазках. Беременные самки были разделены на опытную и контрольную группы. Беременные самки из опытной группы подвергались хроническому ЭМИ в безэховой камере 1 ч в день, с 5-го по 17-й день беременности. Условия облучения: несущая частота 1800 МГц, зона сформированной волны, ППЭ 85 мкВт/см², расстояние от источника излучения 1.3 м. Самок из контрольной группы подвергали ложному облучению в безэховой камере. Самки опытной и контрольной группы принесли помет. В группы для дальнейшего тестирования условно-рефлекторной деятельности в возрасте 1 мес. отбирали внешне здоровых детенышей от каждой самки-матери и дорастивали их до 3-месячного возраста. Животных содержали в стандартных условиях вивария МРНЦ им. А.Ф. Цыба: по шесть животных в полипропиленовых клетках, с соблюдением санитарных правил содержания животных, на рационе, состоящем преимущественно из брикетированного корма, согласно нормативам лабораторного животноводства.

Когнитивные (памятные) функции мозга оценивали по способности к выработке и воспроизведению условного рефлекса активного избегания (УРАИ). Более подробно данная методика описана в работе [17]. В экспериментах использовали стандартную методику обучения крыс в челночной камере Шаттл-бокс. Выработка и закрепление рефлекса активного избегания наказания путем перебежки в другой отсек челночной камеры оценивались по комплексу показателей, адекватно отражающих конечную результативность и динамику нарастания обученности.

Фиксировали следующие количественные показатели: 1) число нанесенных током ударов до регистрации первой реакции избегания (РИ) – лаг-фаза обучения; 2) общее число РИ за сессию; 3) количество перебежек в другой отсек после удара током; 4) число отказов (отсутствии перебежек даже на электрокожное подкрепление); 5) наличие крыс, имеющих серии из пяти и более РИ подряд (критерий оценки состояния консо-

лидации памятного следа) и количество попыток до появления первой серии; 6) среднее по группе значение латентного периода РИ либо перебежки.

При анализе динамики обучения использовали расчет кривых линейной регрессии, при этом получали соответствующие уравнения с коэффициентами, отражающими наклон кривой, т.е. скорость обучения (коэффициент В), а также расчетные начальные параметры, характеризующие различия в сохранности выработанного навыка при повторных тестированиях (коэффициент А). Уравнение содержало стандартные ошибки коэффициентов, что давало возможность оценить статистически различия между кривыми. С помощью уравнений линейной регрессии оценивали: 1) динамику количества РИ в процентах к максимально возможному за интервал в десять попыток с шагом в две попытки индивидуально у каждой крысы и в целом по группе; 2) при использовании в качестве функции отношения числа РИ к числу совершенных попыток вычисляли критерий 50%-ной обученности (ОБ-50) с доверительным интервалом (число попыток до появления 50% РИ в среднем у каждой крысы в группе).

Тестирование проводили отдельно для групп самок и самцов. Повторное тестирование проводили через 2 сут.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием ряда методов параметрической (критерий *t* Стьюдента и дисперсионный критерий Фишера) и непараметрической (медианный критерий χ^2 , критерий Х – Ван дер Вардена, критерий *U* – Вилкоксона – Манна – Уитни) статистики. Значимость различий считалась достаточной, если $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами было показано, что хроническое немодулированное электромагнитное излучение не оказывает существенного влияния на течение и исход беременности самок и раннее постнатальное развитие их потомства первого поколения [18].

В табл. 1 приведены показатели условно-рефлекторной деятельности потомства первого поколения крыс, подвергнутых хроническому воздействию ЭМИ диапазона мобильной связи, по результатам первого и второго тестирования. Из данных, представленных в таблице, видно, что по всем показателям условно-рефлекторной деятельности самцы из подопытной группы не отличаются от контрольных животных. Это говорит о том, что способность к обучению, кратковременная и долговременная память у этих животных не нарушены и соответствуют уровню контроля. Статистически значимое различие с контрольными животными во втором тестировании по показате-

Таблица 1. Интегративные и скоростные показатели условно-рефлекторной деятельности потомства первого поколения крыс после хронического воздействия ЭМИ**Table 1.** Integrative and speed indicators of conditioned reflex activity of the offspring of the first generation of rats after chronic exposure to EMR

Группа (число животных)	Лаг-фаза	Общее количество УРАИ	Количество отказов	Латентный период УРАИ, с	Латентный период перебежек, с	ОБ-50	Количество попыток до первой серии РИ
1-е тестирование							
Контроль ♂ (n = 27)	10.7 ± 1.5	16.0 ± 1.4	2.2 ± 0.4	2.40 ± 0.05	5.94 ± 0.06	74.6 ± 4.3	31.8 ± 6.0
Опыт ♂ (n = 29)	13.0 ± 1.8	17.6 ± 1.8	3.8 ± 1.0	2.28 ± 0.05	5.90 ± 0.06	68.6 ± 2.4	32.0 ± 3.8
Контроль ♀ (n = 23)	11.1 ± 2.2	23.1 ± 2.1	2.0 ± 0.5	1.86 ± 0.04	5.86 ± 0.07	52.2 ± 4.3	25.4 ± 3.8
Опыт ♀ (n = 28)	13.6 ± 1.2	19.3 ± 1.6	2.0 ± 0.4	2.24 ± 0.04	5.83 ± 0.06	60.8 ± 1.4*	32.4 ± 3.4
2-е тестирование							
Контроль ♂ (n = 27)	2.2 ± 0.7	34.3 ± 1.9	1.9 ± 1.0	2.36 ± 0.03	5.60 ± 0.09	20.4 ± 1.2	16.8 ± 2.7
Опыт ♂ (n = 29)	2.6 ± 0.5	34.5 ± 1.6	2.3 ± 0.9	2.24 ± 0.03*	5.37 ± 0.07	23.5 ± 1.2	19.1 ± 2.3
Контроль ♀ (n = 23)	2.0 ± 0.4	40.4 ± 1.0	0.3 ± 0.1	1.00 ± 0.03	5.34 ± 0.10	-13.6 ± 1.7	9.6 ± 1.3
Опыт ♀ (n = 28)	4.3 ± 1.0*	36.2 ± 1.6	1.0 ± 0.4	2.03 ± 0.03*	5.27 ± 0.06	15.5 ± 0.9*	15.6 ± 2.4*

* Статистически значимое различие с контролем при $p < 0.05$.

лю латентного периода условного рефлекса активного избегания (УРАИ) может свидетельствовать лишь о некотором повышении возбужденности подопытных животных, так как интервал между условным раздражителем и выполнением УРАИ у них несколько короче, чем у контрольных животных. На рис. 1 приведен график нарастания числа УРАИ по попыткам по результатам второго тестирования. И тут мы видим, что самцы подопытной группы “работают” на уровне контрольных животных.

При анализе показателей условно-рефлекторной деятельности самок подопытной группы удалось выявить статистически значимое различие с контролем по нескольким позициям. По результатам первого тестирования у самок подопытной группы показатель ОБ-50 выше, чем у контрольных животных, т.е. скорость обучения у этих животных снижена. Это говорит о том, что животным требуется большее количество предъявлений условного и безусловного раздражителей для формирования уровня обученности, равного контролю. Анализируя результаты второго тестирования, нужно обратить внимание на то, что в подопытной группе самок сохраняется снижение скорости обучения. Лаг-фаза (число попыток до

появления первой РИ) у самок подопытной группы выше, чем у контрольных животных, и значительно больше показатель ОБ-50. Следует также отметить, что при втором тестировании самкам подопытной группы требовалось значительно больше попыток для появления серий из пяти и более РИ подряд, т.е. у них хуже, чем у контрольных животных, запоминалась связь между условным и безусловным раздражителем.

Применение регрессионного анализа позволило выявить у подопытных самок статистически значимое различие с контролем по коэффициенту регрессии А при втором тестировании, что свидетельствует о нарушении у этих животных долговременной памяти, т.е. они хуже запомнили “урок” первого тестирования (коэффициент А у контроля равен 73.4 ± 1.7 , у подопытной группы = 51.9 ± 2.0). Но при этом к концу сессии результативность обучения животных из опытной и контрольной группы не различалась из-за более высокой скорости обучения у подопытных самок.

Через 21 день после первого тестирования нами было проведено третье тестирование у самок, чтобы оценить, насколько долго сохраняется эффект ЭМИ. Все показатели, кроме ОБ-50 и коли-

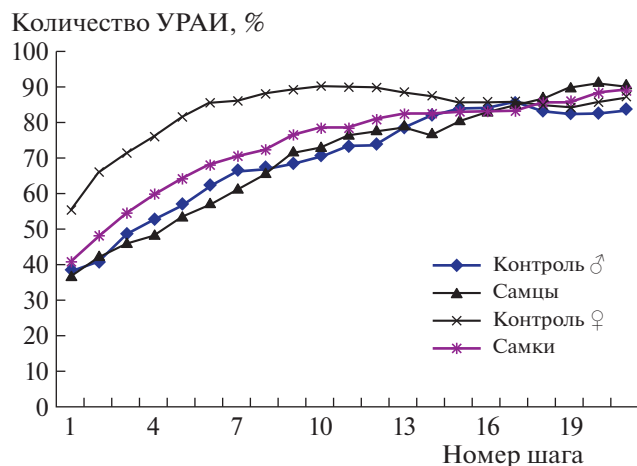


Рис. 1. Нарастание процента УРАИ по попыткам по результатам второго тестирования потомства первого поколения облученных крыс.

Fig. 1. The increase in the percentage of URAI by attempts according to the results of the second testing of the offspring of the first generation of irradiated rats.

чества попыток до первой серии РИ, соответствовали показателям контроля. Однако ОБ-50 у самок подопытной группы был достоверно выше, чем у самок контрольной группы (-21.1 ± 3.6 у контрольных крыс против 4.6 ± 0.3 у подопытных крыс). Подопытным крысам также требовалось больше сочетаний условного и безусловного стимулов для появления серийности в ответах (9.0 ± 1.8 попыток у контрольных крыс до появления первой серии РИ против 14.9 ± 2.7 у подопытных). Таким образом, эффект ЭМИ сохранялся у облученных самок, по крайней мере, в течение трех недель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе мы попытались оценить влияние длительного воздействия немодулированного ЭМИ на условно-рефлекторную деятельность потомства облученных родителей-крыс. Ранее в нашей лаборатории оценивали влияние импульсно-модулированного ЭМИ на различные аспекты поведения антенатально облученных животных. Так, было показано, что у потомства первого поколения, облученного *in utero*, снижена физическая выносливость то тесту бега в тредбане до полного утомления, снижена двигательная активность по тесту “открытое поле”, нарушена выработка условных рефлексов [19]. Другие авторы при использовании различных способов тестирования когнитивных функций также продемонстрировали негативные эффекты импульсного ЭМИ на двигательную активность, обучаемость, память, электрофизиологические показатели деятельности мозга [20, 21].

Однако выявленные нами нарушения проявляются только у самок первого поколения. У самцов первого поколения отклонений от контрольных животных по показателям условно-рефлекторной деятельности в наших экспериментах выявлено не было. Гендерные различия в эффектах ЭМИ были отмечены и другими авторами. Так, у крыс негативные последствия ЭМИ были более выражены у внутриутробно облученных самок [19], тогда как у мышей сильнее на воздействии ЭМИ реагировали самцы [20].

В результате проведенной работы можно сделать вывод о том, что длительное воздействие немодулированного ЭМИ, близкого по несущей частоте к параметрам мобильной связи, может негативно сказываться на функциональном состоянии ЦНС потомства облученных животных, что выражается, в данном случае, в нарушении условно-рефлекторной деятельности и нарушении кратковременной и долговременной памяти животных.

Результаты данной работы обобщены и зарегистрированы в реестре баз данных Роспатент [22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Web Canapé. Статистика интернета 2017–2018 годов в мире и в России. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.web-canape.ru/business/internet-2017-2018-v-mire-i-v-rossii-statistika-i-trendy/> Дата обращения 16.04.2020 г.
2. Рыбалко С.Ю., Грецкий И.А., Бобрик Ю.В. и др. Медико-биологические аспекты воздействия электромагнитного излучения мобильного телефона // Крымский журн. эксперим. и клин. медицины. 2011. № 1–1. С. 118–124. [Rybalco S.Yu., Greckij I.A., Bobrik Yu.V. et al. Mediko-biologicheskie aspekty vozdejstviya elektromagnitnogo izlucheniya mobil'nogo telefona // Krymskij zhurnal eksperimental'noj i klinicheskoy mediciny. 2011. № 1–1. S. 118–124. (In Russian)]
3. Семенова Н.В., Денисов А.П., Денисова О.А. и др. Влияние электромагнитного излучения от сотовых телефонов на здоровье детей и подростков (обзор литературы) // Междунар. журн. прикл. и фундамент. исследований. 2016. № 6. Ч. 4. С. 701–705. [Semenova N.V., Denisov A.P., Denisova O.A. et al. Vliyanie elektromagnitnogo izlucheniya ot sotovyh telefonov na zdorov'e detej i podrostkov (obzor literatury) // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2016. № 6. Ch. 4. S. 701–705. (In Russian)]
4. Вершинин А.В., Авдонина Л.А. Влияние сотовых телефонов на здоровье человека // Вестн. Пензенского гос. ун-та. 2015. № 3 (11). С. 175–179. [Verшинin A.V., Avdonina L.A. Vliyanie sotovyh telefonov na zdorov'e cheloveka // Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. № 3 (11). S. 175–179. (In Russian)]
5. Прохорова А.И. Влияние мобильного телефона на здоровье человека // Междунар. науч. журн. “Инновационная наука”. 2018. № 1. С. 16–17. [Prohorova A.I.

- Vliyanie mobil'nogo telefona na zdorov'e cheloveka // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal "Innovacionnaya nauka". 2018. № 1. S. 16–17. (In Russian)]
6. Мясникова О.С. Социально-экологические риски от электромагнитного воздействия сотовой связи на детей // Вестн. Саратовского гос. соц.-экон. ун-та. 2009. № 3 (27). С. 118–121. [Myasnikova O.S. Social'no-ekologicheskie riski ot elektromagnitnogo vozdeystviya sotovoj svyazi na detej // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo social'no-ekonomicheskogo universiteta. 2009. № 3 (27). S. 118–121. (In Russian)]
 7. Васильева Т.И., Сарокваша О.Ю. Влияние электромагнитного поля сотового телефона на организм человека в зависимости от возраста // Вестн. Самарского гос. ун-та. 2012. № 3/2 (94). С. 29–36. [Vasil'eva T.I., Sarokvasha O.Yu. Vliyanie elektromagnitnogo polya sotovogo telefona na organizm cheloveka v zavisimosti ot vozrasta // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. № 3/2 (94). S. 29–36. (In Russian)]
 8. Чуешова Н.В., Висмонт Ф.И. Влияние длительного воздействия электромагнитного излучения частоты мобильного телефона на морфофункциональное состояние репродуктивной системы крыс-самцов и их потомства // Докл. Нац. академии наук Беларуси. 2019. Т. 63. № 2. С. 198–206. [Chuyeshova N.V., Vismont F.I. Vliyaniye dlitel'nogo vozdeystviya elektromagnitnogo izlucheniya chastoty mobil'nogo telefona na morfofunktsional'noye sostoyaniye reproduktivnoy sistemy krys-samtsov i ikh potomstva // Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi. 2019. T. 63. № 2. S. 198–206. (In Russian)]
 9. Овчинникова А.В., Шилкова Т.В., Шибкова Д.З. Воздействие электромагнитного излучения на репродуктивную функцию экспериментальных животных и их потомство // Сб. тр. конф. "Актуальные проблемы экологии и природопользования". 2014. Вып. 16. С. 352–355. [Ovchinnikova A.V., Shilkova T.V., Shibkova D.Z. Vozdeystvie elektromagnitnogo izlucheniya na reproduktivnyuyu funktsiyu eksperimental'nykh zhivotnykh i ikh potomstvo // Sbornik trudov konferencii "Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya". 2014. Vyp. 16. S. 352–355. (In Russian)]
 10. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности. М.: Экономика, 2016. 567 с. [Grigor'ev Yu.G., Grigor'ev O.A. Sotovaya svyaz' i zdorov'e: elektromagnitnaya obstanovka, radiobiologicheskie i gigienicheskie problemy, prognoz opasnosti. M.: Ekonomika, 2016. 567 s. (In Russian)]
 11. Hosking B. Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use / B. Hosking // Occup. Med. 1998. V. 6. № 48. P. 357–360.
 12. Лукьянова С.Н. Электромагнитное поле СВЧ диапазона нетепловой интенсивности как раздражитель для центральной нервной системы. М.: ФМБЦ им. А.И.Бурназяна, ФМБА России, 2015. 200 с. [Luk'yanova S.N. Elektromagnitnoye pole SVCh diapazona neteplovoj intensivnosti kak razdrazhitel' dlya central'noj nervnoj sistemy. M.: FMBC im. A.I. Burnazyana, FMBA Rossii, 2015. 200 s. (In Russian)]
 13. Хорсева Н.И., Григорьев Ю.Г., Горбунова Н.В. Психофизиологические показатели детей-пользователей мобильной связью. Сообщение 2. Результаты четырехлетнего мониторинга // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51. № 5. С. 617–623. [Horseva N.I., Grigor'ev Yu.G., Gorbunova N.V. Psihofiziologicheskie pokazateli detej-pol'zovatelej mobil'noj svyaz'yu. Soobshchenie 2. Rezul'taty chetyryohletnego monitoringa // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2011. T. 51. № 5. S. 617–623. (In Russian)]
 14. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С. Формирование памяти (импринтинга) у цыплят после предварительного воздействия ЭМП низких уровней // Радиационная биология. Радиоэкология. 1998. Т. 38. № 2. С. 223–231. [Grigor'ev Yu.G., Stepanov V.S. Formirovaniye pamyati (imprintinga) u cyplyat posle predvaritel'nogo vozdeystviya EMP nizkih urovnej // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 1998. V. 38. № 2. S. 223–231. (In Russian)]
 15. Никитина В.Н., Ляшко Г.Г., Шапошникова Е.С., Тухомова Г.Н. Исследование в хроническом эксперименте биоэффектов СВЧ-излучений судовых навигационных радиолокаторов // Радиационная биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43. № 5. С. 538–540. [Nikitina V.N., Lyashko G.G., Shaposhnikova E.S., Tihomova G.N. Issledovanie v hronicheskom eksperimente bioeffektov SVCh-izlucheniya sudovykh navigatsionnykh radiolokatorov // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya. 2003. V. 43. № 5. S. 538–540. (In Russian)]
 16. Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Павлова Л.Н. и др. Влияние широкополосного импульсно-модулированного ЭМП низкой интенсивности на общую возбудимость ЦНС // Радиация и риск. 2011. Т. 20. № 2. С. 64–74. [Zavoronkov L.P., Dubovik B.V., Pavlova L.N. et al. Vliyanie shirokopolosnogo impul'snomodulirovannogo EMP nizkoj intensivnosti na obshchuyu vozbudimost' CNS // Radiatsiya i risk. 2011. V. 20. № 2. S. 64–74. (In Russian)]
 17. Панфилова В.В., Колганова О.И., Жаворонков Л.П. и др. Психофизиологическое развитие первого и второго поколений самцов крыс, облученных в дозе 1.5 Гр // Радиация и риск. 2013. Т. 22. № 2. С. 101–109. [Panfilova V.V., Kolganova O.I., Zavoronkov L.P. et al. Psihofiziologicheskoye razvitiye pervogo i vtorogo pokoleniy samtsov krys, obluchennykh v doze 1.5 Gr // Radiatsiya i risk / Radiation and Risk. 2013. V. 22. № 2. P. 101–109. (In Russian)]
 18. Панфилова В.В., Колганова О.И., Чибисова О.Ф. Влияние хронического воздействия излучений диапазона средств мобильной связи на ранний постнатальный онтогенез потомства // Сб. докл. Конф. "Актуальные проблемы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений", Москва, 12–13 ноября 2019 г. М., 2019. С. 138–139. [Panfilova V.V., Kolganova O.I., Chibisova O.F. Vliyanie hronicheskogo vozdeystviya izlucheniya diapazona sredstv mobil'noj svyazi na rannij postnatal'nyy ontogenez potomstva // Sbornik dokladov konferencii "Aktual'nye problemy radiobiologii i gigienyy neioniziruyushchih izlucheniya", Moskva, 12–13 noyabrya 2019 g. M., 2019. S. 138–139. (In Russian)]
 19. Измest'ева О.С., Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П. Экспериментальная оценка последствий хрониче-

- ского воздействия электромагнитного излучения диапазона мобильной связи в антенатальном периоде развития крыс // Радиационная биология. Радиоэкология. 2020. Т. 60. № 1. С. 63–70. [*Izvest'yeva O.S., Pavlova L.N., Zhavoronkov L.P. Eksperimental'naya otsenka posledstviy khronicheskogo vozdeystviya elektromagnitnogo izlucheniya diapazona mobil'noy svyazi v antenatal'nom periode razvitiya krysov // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2020. T. 60. № 1. S. 63–70. (In Russian)*]
20. *Yanchun Zhang, Zhihui Li, Yan Gao, Chenggang Zhang. Effects of fetal microwave radiation exposure on offspring behavior in mice // J. Radiat. Res. 2015. V. 56. № 2. P. 261–268.*
21. *Moazamehosadat Razavinasab, Karsa Moazzami, Mohammad Shabani. Maternal mobile phone exposure alters intrinsic electrophysiological properties of CA1 pyramidal neurons in rat offspring // Toxicol. Ind. Health. 2016. V. 32. № 6. P. 968–979.*
22. *Панфилова В.В., Колганова О.И., Чибисова О.Ф. Показатели обучаемости потомства крыс Вистар, подверженных хроническому воздействию электромагнитного излучения диапазона средств мобильной связи: Свидетельство о регистрации базы данных № 2020620327 от 19.02.2020. [Panfilova V.V., Kolganova O.I., Chibisova O.F. Pokazateli obuchayemosti potomstva krysov Vistar, podverzhennykh khronicheskomu vozdeystviyu elektromagnitnogo izlucheniya diapazona sredstv mobil'noy svyazi: Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh № 2020620327 ot 19.02.2020. (In Russian)].*

Analysis of the Results of the Prolonged Influence of EMP on the Cognitive Functions of the Progeny of Irradiated Rats

V. V. Panfilova^{a, #}, O. I. Kolganova^a, and O. F. Chibisova^a

^a *A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia*

[#] *E-mail: whiskas04@yandex.ru*

The article shows the results of experimental work to assess the psychophysiological status of the offspring of the first generation of Wistar rats, which were exposed to prolonged electromagnetic radiation in the mobile range. Irradiation conditions: carrier frequency 1800 MHz, the zone of the formed wave, EFD 85 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, the distance from the radiation source 1.3 m, 1 hour per day. Males and females were irradiated 18 days before mating, then females were irradiated from 5 to 17 days of pregnancy. The cognitive (memorable) functions of the brain of offspring were evaluated by their ability to develop and reproduce the conditioned reflex of active avoidance (CRAA). In males of the first generation, deviations in conditioned reflex activity were not detected. In females of the first generation, a decrease in the learning rate and a damage of long-term memory were found.

Keywords: Wistar rats, offspring, conditioned reflex activity, electromagnetic radiation, mobile communications, anechoic chamber