

## БИОХИМИЯ

УДК 577.3.043;537  
DOI: 10.26456/vtbio277

### **ИЗУЧЕНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ДНК КЛЕТОК РАЗЛИЧНЫХ ТКАНЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАДИОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ\***

**И.А. Варганова, Я.И. Медведев, Е.А. Никанорова, К.Ю. Иванов,  
В.И. Нагиба**

Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ  
экспериментальной физики, Саров

Повреждаемость ДНК лимфоцитов периферической крови и клеток головного мозга крыс оценивали щелочной версией метода «ДНК-комет» сразу после действия электромагнитного излучения и тестирующего УФ - излучения. Установлено, что низкоинтенсивное электромагнитное излучение увеличивало повреждаемость ДНК клеток крови и головного мозга по сравнению с контролем ( $p \leq 0,05$ ). Содержание ДНК в «хвосте кометы» в клетках головного мозга оказалось в 2 раза ниже, чем в клетках крови. Дополнительная тестирующая УФ-нагрузка усиливала биоэффекты действия ЭМИ.

**Ключевые слова:** метод «ДНК-комет», лимфоциты, клетки головного мозга, электромагнитное излучение, УФ – облучение.

**Введение.** В последние десятилетия радиочастотные электромагнитные излучения (ЭМИ) стали ведущим техногенным фактором окружающей среды. С глобальным развитием сотовой связи постоянное действие ЭМИ сопровождается локальным воздействием на мозг. При этом в настоящее время отсутствует единая точка зрения относительно риска связи использования сотовой связи при развитии патологических процессов в головном мозге (Одинаев и др., 2015; Григорьев и др., 2018).

Известно, что основным событием, приводящим к злокачественному перерождению клеток, является образование повреждений ДНК (Alhmod et al., 2020). Опубликованные к настоящему времени сведения о способности радиочастотного ЭМИ вызывать повреждения ДНК носят противоречивый характер (Malyara et al., 2006; Sakuma et al., 2006; Phillips et al., 2009; Akdag et al., 2016;

---

\* Работа выполнена в рамках фундаментальных и прикладных исследований, проводимых во ФГУП «РФЯЦ - ВНИИЭФ»,

Danese et al, 2017). В ряде исследований показано, что ЭМИ радиочастотного диапазона не вызывает повреждения ДНК (Malyara et al., 1997; Malyara et al., 2006; Sakuma et al., 2006). Согласно другим авторам, низкоинтенсивное ЭМИ вызывает образование одностранных разрывов ДНК и щелочно - лабильных сайтов (Kesari et al., 2009; Trosic et al., 2011; Alkis et al., 2019).

В настоящее время для количественной оценки повреждений ДНК в клетках различных тканей часто используют метод «ДНК-комет» (Singh et al, 1998; Попова и др., 2008; O'Donoghue et al, 2021; Tahara et al, 2021). Метод применим в системах *in vivo* и *in vitro*, что определяет его возможности при исследовании собственных генотоксических свойств изучаемого фактора и его способности модифицировать действие других генотоксических факторов (Moller et al., 2020; O'Donoghue et al., 2021; Tahara et al., 2021). УФ - излучение применяется в молекулярно-генетических исследованиях в качестве тестирующей нагрузки для индукции фотохимических повреждений ДНК и оценки эффективности их репарации (Gocke et al, 2000; Никанорова и др., 2002).

Целью работы являлась сравнительная оценка уровня повреждений ДНК в клетках крови и головного мозга, индуцированных УФ - излучением и модулированным ЭМИ частотой 1000 МГц.

**Методика.** Исследования проводили *in vivo* на 52 белых беспородных крысах - самцах массой 180-220 граммов. Животных содержали в виварии при комбинированном освещении в стандартных условиях (температура  $22 \pm 2$  °С, относительная влажность  $60 \pm 10$  %), размещая их без ограничения передвижения в клетках по четыре особи в каждой. Для подстилки использовали древесные опилки. В качестве корма – стандартный комбикорм гранулированный полнорационный для лабораторных животных (экструдированный), ГОСТ Р 50258-92. Доступ животных к корму и воде – свободный. При выполнении работ пользовались международными стандартами по защите животных, используемых для экспериментальных исследований в научных целях (Directive 2010/63/EU of the European Parliament and the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purpose. Official Journal of the EU. 2010; 276: 33-79.)

В ходе исследования были сформированы экспериментальные и контрольные группы для оценки повреждений ДНК в клетках крови (по 16 животных в группе) и в клетках головного мозга (по 10 животных в группе).

Животных экспериментальных групп подвергали однократному 30-минутному действию низкоинтенсивного импульсно-модулированного ЭМИ частотой 1000 МГц и плотностью потока

энергии не более  $85 \text{ мкВт/см}^2$ . Источником воздействия являлась лабораторная радиотехническая установка, включающая генератор,

усилитель и рупорную антенну. Интенсивность ЭМИ оценивали измерителем ПЗ-41 (Россия). Контролем служили животные, которых по аналогичной схеме помещали в рабочую зону выключенного генератора ЭМИ. Во время воздействия животные находились в контейнере из оргстекла без фиксации.

Сразу после окончания воздействия у животных из подязычной вены забирали образцы крови в пластиковые пробирки с Li-гепарином (Россия) в конечной концентрации  $50 \text{ Ед/мл}$ . Гомогенизированные суспензии клеток головного мозга получали на холоде согласно рекомендациям (Kesari et al.; 2010) с использованием гомогенизатора Millipore, Sigma-Aldrich.

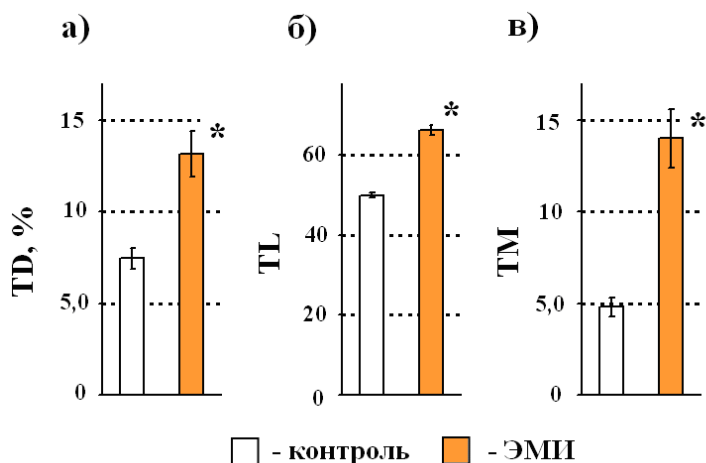
Индуцированные повреждения ДНК вызывали с помощью тестирующего УФ-воздействия лампы «Philips» (Голландия) с длиной волны  $254 \text{ нм}$  и мощностью дозы  $60 \text{ Дж/см}^2$  на подготовленные микрогелевые препараты клеток крови и клеток головного мозга.

Уровень повреждений ДНК клеток регистрировали с помощью щелочной версии метода ДНК-комет согласно (Гайдай и др., 2020; Moller et al., 2020). Суспензии клеток помещали в раствор  $0,5\%$  легкоплавкой агарозы (США) при  $37^\circ\text{C}$ , ресуспендировали, наносили на предварительно покрытые  $0,1\%$  универсальной агарозой (США) предметные стекла, накрывали покровным стеклом и помещали на лед. После затвердевания агарозы препараты переносили в стеклянную кювету, заливали предварительно охлажденным до  $4^\circ\text{C}$  лизирующим буфером и инкубировали не менее  $1 \text{ ч}$ . По окончании лизиса микропрепараты переносили в камеру для электрофореза, которую заполняли буфером для электрофореза ( $300 \text{ мМ NaOH}$ ,  $1 \text{ мМ Na}_2\text{EDTA}$ ,  $\text{pH} > 13$ ). Приготовленные препараты инкубировали в течение  $20 \text{ мин}$  для реализации щелочно-лабильных сайтов и щелочной денатурации ДНК. Затем проводили электрофорез в течение  $20 \text{ мин}$  при напряжении  $25 \text{ В}$  и силе тока  $\sim 300 \text{ мА}$ . По окончании электрофореза микропрепараты ополаскивали  $0,4 \text{ М Tris-HCl}$ ,  $\text{pH} 7,4$ ; перемещали в стеклянную кювету, фиксировали в серии спиртов по  $1 \text{ мин}$  (концентрации  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  составляли  $70\%$ ,  $85\%$  и  $100\%$  соответственно) и высушивали. Непосредственно перед микрокопированием микропрепараты окрашивали высокоселективным флуоресцирующим красителем SYBR Green I (США) в течение  $20 \text{ мин}$  в темноте. После окрашивания на слайдах видны характерные изображения, напоминающие «комету» с «головой» и «хвостом». Для последующего анализа изображений «ДНК-комет» использовали программно-аппаратный комплекс с

использованием флуоресцентного микроскопа «Аxioplan» (Германия), подключенного к персональному компьютеру и оснащенного ртутной лампой 50 W и ПЗС-камерой «Матрица-1,4М/16U» (Россия). Полученные изображения ДНК-комет фотографировали и анализировали с использованием программного обеспечения «Comet» (ИПУ, Россия). С каждого микропрепарата проанализировано не менее 100 клеток (Попова и др., 2008). Критериями оценки повреждаемости ДНК являлись: содержание ДНК в «хвосте кометы» (TD, %), длина «хвоста кометы» (TL) и величина «хвостового момента» (TM).

Данные эксперимента обрабатывали общепринятыми методами с учетом характера распределения показателей. Анализ результатов выполняли с помощью t - критерия Стьюдента и критерия Манна-Уитни, используя возможности «Microsoft Excel» согласно (Moller et al., 2014). Различия между сравниваемыми величинами считались статистически достоверными при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** Результаты оценки уровня повреждений ДНК в клетках крови и головного мозга у животных контрольных и экспериментальных групп представлены на рисунках 1 – 2.

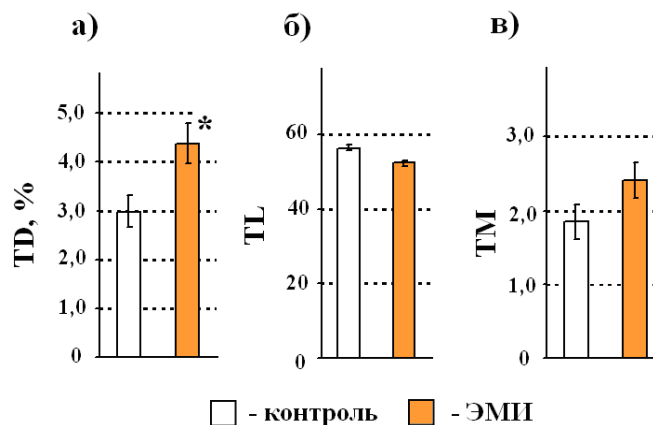


\* - статистически значимое отличие от среднего значения в контроле;  $p \leq 0,05$

Рис. 1. Средние значения показателей метода «ДНК-комет» в клетках крови крыс, подвергавшихся действию ЭМИ: а) по содержанию ДНК в «хвосте кометы» (TD, %); б) по длине «хвоста кометы» (TL); в) по величине «хвостового момента» (TM).

Настоящее исследование показало, что действие ЭМИ приводило к увеличению повреждаемости ДНК в клетках крови: в экспериментальной группе: уровень повреждений ДНК по всем показателям метода «ДНК-комет» оказался достоверно выше по сравнению с контролем ( $p \leq 0,05$ ).

Электромагнитное излучение вызывало повреждение ДНК клеток головного мозга: в экспериментальной группе уровень повреждений, оцененный по содержанию ДНК в «хвосте кометы», был достоверно выше, чем в контрольной ( $p \leq 0,05$ ). По показателю «TD» повреждаемость ДНК была в  $\approx 2$  раза ниже по сравнению с клетками крови; очевидно клетки мозга оказались более устойчивы к однократному действию радиочастотного ЭМИ.

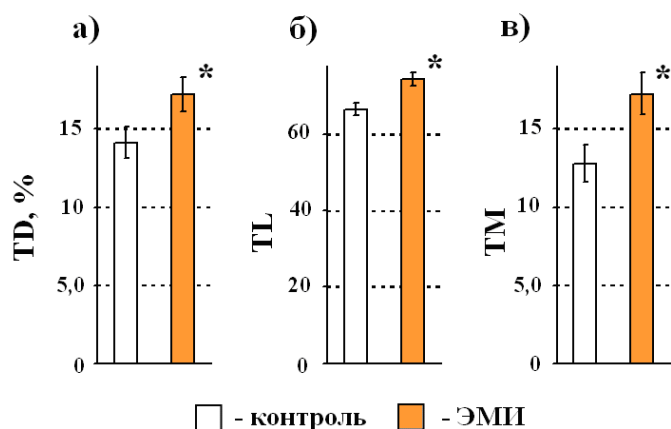


\* - статистически значимое отличие от среднего значения в контроле;  $p \leq 0,05$

Рис. 2. Средние значения показателей метода «ДНК-комет» в клетках головного мозга крыс, подвергавшихся действию ЭМИ: а) по содержанию ДНК в «хвосте кометы» (TD, %); б) по длине «хвоста кометы» (TL); в) по величине «хвостового момента» (TM)

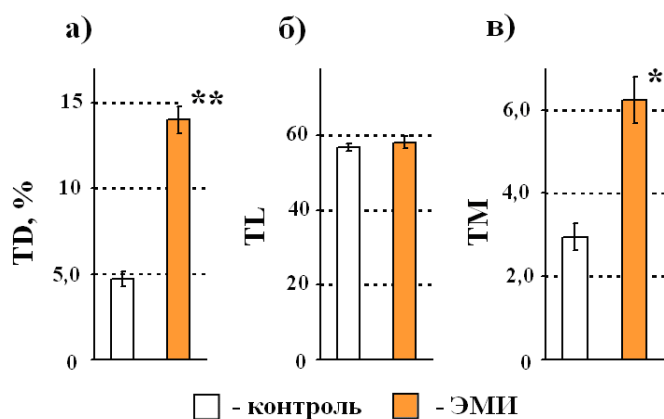
Полученные данные согласуются с опубликованными результатами исследований, подтверждающими генотоксические свойства ЭМИ радиочастотного диапазона (Kesari et al, 2009; Наквасина и др., 2016; Alkis et al, 2019). Работы последних лет показали, что воздействие нетеплового ЭМИ может приводить к увеличению показателей метода «ДНК – комет» и к образованию одиночных разрывов ДНК; к росту значений перекисного окисления липидов и образованию окислительных повреждений ДНК в лобных долях тканей мозга крыс (Alkis et al, 2019; Kesari et al, 2009). Методом ДНК-комет, проводимого в щелочных условиях, было показано, что электромагнитные колебания (2,4 ГГц) напрямую индуцируют образование однонитевых разрывов ДНК в клетках головного мозга крыс (Lai, Singh, 1995; Hartmann et al, 2004).

Результаты анализа уровня индуцированных тестирующим УФ - излучением повреждений ДНК в клетках крови и головного мозга у животных контрольных и экспериментальных групп представлены на рисунках 3 - 4.



\* - статистически значимое отличие от среднего значения в контроле;  $p \leq 0,05$

Рис. 3. Средние значения показателей метода «ДНК-комет» в клетках крови крыс после УФ - облучения: а) по содержанию ДНК в «хвосте кометы» (TD, %); б) по длине «хвоста кометы» (TL); в) по величине «хвостового момента» (TM).



\* - статистически значимое отличие от среднего значения в контроле;  $p \leq 0,01$

\*\* - статистически значимое отличие от среднего значения в контроле;  $p \leq 0,01$

Рис. 4. Средние значения показателей метода «ДНК-комет» в клетках головного мозга крыс, после УФ - облучения: а) по содержанию ДНК в «хвосте кометы» (TD, %); б) по длине «хвоста кометы» (TL); в) по величине «хвостового момента» (TM)

Установлено, что в обеих экспериментальных группах уровень УФ - индуцированных повреждений ДНК значимо превышал соответствующие контрольные значения по всем показателям метода ( $p \leq 0,05$ ), за исключением показателя TL для клеток головного мозга.

По сравнению с опытом без УФ – нагрузки, в клетках крови наблюдали прирост повреждений ДНК по всем оценочным параметрам метода; по показателю TD прирост составил: в  $\approx 1,9$  раза в контроле и в  $\approx 1,2$  раза в «ЭМИ - группе».

Следует отметить, что в экспериментах на выделенных лимфоцитах человека при УФ-облучении (240–390 нм) в диапазоне доз 151–3020 Дж/м<sup>2</sup> другие авторы регистрировали фрагментацию и однонитевые разрывы ДНК лимфоцитов. При этом повышалась степень поврежденности ДНК, что указывало на нарушения в системах репарации ДНК в УФ - модифицированных лимфоцитах (Артюхов и др., 2011; Наквасина и др., 2016).

В клетках головного мозга была выявлена несколько иная картина: по сравнению с опытом без УФ - нагрузки прирост повреждений ДНК по показателю TD составил  $\approx$  в 1,6 раза в контроле и  $\approx$  в 3,2 раза в «ЭМИ-группе». Необходимо отметить, что в ходе анализа на слайдах обеих экспериментальных групп визуально определяли большое число клеток с признаками апоптоза. Таким образом, клетки

мозга оказались восприимчивой системой организма, в которой комбинация двух физических факторов больше влияла на риск возникновения патологических процессов.

Полученные нами данные о повышенном уровне УФ – индуцированной поврежденности ДНК клеток крови и мозга косвенно указывают на сниженную активность системы репарации. При этом нарушается баланс между образованием эксцизионных разрывов и их восстановлением. Похожие результаты, касающиеся чувствительности ДНК к воздействию ультрафиолетового излучения, получены в ряде других исследований (Наквасина и др., 2016; Артюхов и др., 2011; Tahara et al, 2021; Сорочинская 2008; Охлопков 2017). Эффекты, вызываемые воздействием УФ - излучения, зависят не только от длины волны и дозы облучения, но и от типа клеток. Степень УФ-индуцированного стресса и защита от него определяются как внутриклеточными, так и межклеточными молекулярными взаимодействиями (Артюхов и др., 2011).

Таким образом, полученные результаты подтверждаются данными других исследователей, которые методом «ДНК-комет» выявили способность ЭМИ радиочастотного диапазона усиливать генотоксическое действие физических и химических агентов (Baohong et al., 2005; Сорочинская 2008; Jiang et al., 2012).

**Заключение.** Нетепловое модулированное ЭМИ частотой 1000 МГц приводило к увеличению повреждаемости ДНК клеток крови и мозга у лабораторных животных. Дополнительная тестирующая УФ-нагрузка усиливала биоэффекты действия ЭМИ.

Сравнительный анализ отклика на факторы воздействия для клеток крови и головного мозга показал меньшую выраженность биоэффектов действия ЭМИ в клетках мозга без тестирующей нагрузки. Однако при комбинации ЭМИ и последующего тестирующего УФ - облучения степень повреждаемости ДНК в клетках мозга непропорционально резко возростала по сравнению с откликом ДНК клеток крови, что указывает на слабую устойчивость клеток мозга к комплексу вредных воздействующих факторов.

### **Список литературы**

- Артюхов В.Г., Трубицына М.С., Наквасина М.А.* 2011. Фрагментация ДНК лимфоцитов человека в динамике развития апоптоза, индуцированного воздействием УФ-излучения и активных форм кислорода // *Цитология*. Т.53. №.1. С. 61-67.
- Гайдай Е.А., Дорофеева А.А., Крышень А.Н., Гайдай Д.С.* 2020. Методические аспекты проведения ДНК - комет-теста в условиях *in vivo* в доклинических исследованиях // *Лабораторные животные для научных исследований*. Т. 03. С. 16-24.
- Григорьев Ю.Г.* 2018. От электромагнитного смога до электромагнитного хаоса. К оценке опасности мобильной связи для здоровья населения. Медицинская радиология и радиационная безопасность // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. Т. 63. № 3. С. 28 - 33.
- Наквасина М.А., Гюнпенен М.А., Колтаков И.А.* 2016. Исследование влияния экзогенного кальция на структурно-функциональное состояние лимфоцитов человека // *Вестн. ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. №. 4. С. 67-72.
- Никанорова Е.А., Иванов К.Ю., Хаймович Т.И.* 2002. Изучение репаративного синтеза ДНК в лимфоцитах профессионалов-атомщиков. // *Радиационная биология. Радиоэкология*. Т. 42. № 6. С. 759-64.
- Охлопков В.А., Гудинова Ж.В., Полещук Е.И., и др.* 2017. Результаты изучения динамики уровня поврежденности ДНК мононуклеарных клеток крови у больных псориазом под воздействием фототерапии // *Саратовский научно-медицинский журнал*. Т. 13. № 3. С. 622-628.
- Попова, Г.М., Дружинин Ю.О., Степанов В.Н.* 2008. Программно-аппаратный комплекс оценки индивидуальной радиочувствительности онкологических больных по методу «комет» // *Альманах клинической медицины*. Т. 17. № 1. С. 368-370.
- Сорочинская У.Б., Михайленко В.М.* 2008. Применение метода ДНК-комет для оценки повреждений ДНК, вызванных различными агентами окружающей среды // *Онкология*. Т.10. №.3. С. 303-309.
- Одинаев Ф.И., Одинаев Ш.Ф., Шафиев Ш.И., Шутова С.В.* 2015. Электромагнитные излучения и здоровье человека // *Вестник ТГУ*. Т. 20. № 6. С. 55-59.
- Akdag M.Z., Dasdag S, Canturk F. et.al.* 2016. Does prolonged radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi devices induce DNA damage in various tissues



- of rats? // *Journal of Chemical Neuroanatomy*. V. 75. P. 116-22.
- Alkis M.E., Bilgin H.M., Akpolat V.* 2019. Effect of 900-, 1800-, and 2100-MHz radiofrequency radiation on DNA and oxidative stress in brain // *Electromagnetic Biology and Medicine*. V. 38. №. 1. P. 32-47.
- Alhmoud J.F., Woolley J.F., Moustafa A.E., Malki M.I.* 2020. DNA damage repair management in cancers // *Cancers (Basel)*. V. 12. №. 4. P. 1050.
- Baohong W., Jiliang H., Lifen J., Deqiang L., Wei Z., Jianlin L., Hongping D.* 2005. Studying the synergistic damage effects induced by 1.8 GHz radiofrequency field radiation (RFR) with four chemical mutagens on human lymphocyte DNA using comet assay in vitro // *Mutation Research*. V. 578. № 2. P. 149-157.
- Danese E., Lippi G., Buonocore R.* 2017. Mobile phone radiofrequency exposure has no effect on DNA double strand breaks (DSB) in human lymphocytes // *Annals of Translational Medicine*. V. 5. № 13. P. 272.
- Gocke E, Müller L, Guzzie PJ, et al.* 2000. Considerations on photochemical genotoxicity: Report of the International Workshop on Genotoxicity // *Env Mol Mutagenesis*. V. 35. № 3. P. 173-184.
- Hartmann A, Schumacher M. Plappert-Helbig U.* 2004. Use of the alkaline in vivo Comet assay for mechanistic genotoxicity investigations // *Mutagenesis*. V. 19. № 1. P. 51.
- Jiang B., Nie J., Zhou Z. et al.* 2012. Adaptive response in mice exposed to 900 MHz radiofrequency fields: primary DNA damage // *PLoS One*. V. 7. №. 2. P. 135.
- Kesari K.K., Behari J., Kumar S.* 2009. Fifty-gigahertz microwave exposure effect of radiations on rat brain // *International Journal of Radiation Biology*. V. 158. № 1. P. 126-139.
- Kesari K.K., Behari J., Kumar S.* 2010. Mutagenic response of 2.45GHz radiation exposure on rat brain // *International Journal of Radiation Biology*. V. 86. №. 4. P. 334-343.
- Lai H., Singh N. P.* 1995. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells // *Bioelectromagnetics*. V. 16. P. 207.
- Malyapa R.S., Ahern E.W., Straube W.L. et.al.* 1997. Measurement of DNA damage after exposure to electromagnetic radiation in the cellular phone communication frequency band (835.62 and 847.74 MHz) // *Radiat Res Dec*. V. 148. №. 6. P. 618-627.
- Malyapa R.S., Ahern E.W., Straube W.L. et.al.* 2006. Measurement of DNA damage after exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation // *Bioelectromagnetics*. V. 27. № 1. P. 51-57.
- Moller P., Azqueta QA., Boutet-Robinet E. et.al.* 2020. Minimum Information for Reporting on the Comet Assay (MIRCA): recommendations for describing comet assay procedures and results // *Nat Protoc. Dec*. V. 15. №. 12. P. 3817-3826.
- Moller P., Loft S.* 2014. Statistical analysis of comet assay results // *Genet*. V. 5. P. 292.
- O'Donoghue J.L., Beevers C., Buard A.* 2021. Hydroquinone: assessment of genotoxic potential in the in vivo alkaline comet assay // *Toxicology Reports*.

- V. 8. P. 206-214.
- Phillips J.L., Singh N. P., Lai H.* 2009. Electromagnetic fields and DNA damage // *Pathophysiology*. № 2. P. 79-88.
- Sakuma N., Komatsubara Y., Takeda H.* 2006. DNA strand breaks are not induced in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW and W-CDMA modulated radiofrequency fields allocated to mobile radio base stations // *Bioelectromagnetics*. V. 27. № 1. P. 51-57.
- Singh N.P., McCoy M.T., Tice R.R.* 1998. A simple technique for quantification of low levels of DNA damage in individual cell // *Experimental Cell Research*. V. 175. № 1. P. 184-191.
- Tahara H., Yamagiwa Y., Haranosono Y.* 2021. In vivo comet assay in rabbit corneal epithelial cells following ocular instillation with genotoxic compounds // *Genes Environ*. V. 43. № 1. P. 11.
- Trosic I., Pavicic I, Milkovic-Kraus S.* 2011. Effect of electromagnetic radiofrequency radiation on the rats' brain, liver and kidney cells, measured by Comet Assay. Impact of radiofrequency radiation on rat's DNA // *Coll Antropol*. V. 35. № 4. P. 1259-1264.

## **STUDY OF DAMAGE TO DNA IN CELLS OF VARIOUS TISSUES UNDER INFLUENCE OF RADIO-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION**

**I.A. Varganova, Ya.I. Medvedev, E.A. Nikanorova, K. Yu.Ivanov,  
V.I. Nagiba**

Russian Federal Nuclear Center - All-Russian Scientific Research Institute  
of Experimental Physics, Sarov

We assessed the damage to DNA in peripheral blood lymphocytes and rat brain cells by the alkaline version of the "DNA comet" method immediately after exposure to electromagnetic radiation and testing UV radiation. We found that low-intensity electromagnetic radiation increased the level of the damage to DNA in blood and brain cells compared to the control ( $p \leq 0.05$ ). The content of DNA in the "comet tail" in brain cells turned out to be 2 times lower than in blood cells. An additional UV-load enhanced the bioeffects of the EMR action.

**Keywords:** "DNA-comet" method, lymphocytes, brain cells, electromagnetic radiation, UV-irradiation.

*Об авторах:*

ВАРГАНОВА Ирина Александровна – младший научный сотрудник молекулярно-биологической группы ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ отделения 7048, ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики», 607188, Саров, Нижегородская обл., пр. Мира, д. 37; e-mail: ira.plastinina.82@mail.ru.

МЕДВЕДЕВ Ярослав Игоревич – младший научный сотрудник молекулярно-биологической группы ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ отделения 7048, ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики», 607188, Саров, Нижегородская обл., пр. Мира, д. 37.

НИКАНОРОВА Евгения Анатольевна – кандидат биологических наук, начальник молекулярно-биологической группы отделения 7048, ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики», 607188, Саров, Нижегородская обл., пр. Мира, д. 37.

ИВАНОВ Кирилл Юрьевич – старший научный сотрудник молекулярно-биологической группы ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ отделения 7048, ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики», 607188, Саров, Нижегородская обл., пр. Мира, д. 37.

НАГИБА Вадим Игоревич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник молекулярно-биологической группы отделения 7048, ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики», 607188, Саров, Нижегородская обл., пр. Мира, д. 37.

Варганова И.А. Изучение повреждаемости ДНК клеток различных тканей при воздействии радиочастотного электромагнитного излучения / И.А. Варганова, Я.И. Медведев, Е.А. Никанорова, К.Ю. Иванов, В.И. Нагиба // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2022. № 4(68). С. 24-34.