

УДК 543.544.613.2:615.916

## СТРУКТУРНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК ЛИМФОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

© 2017 г. Е. Е. Текуцкая, Р. В. Василиади

Кубанский государственный университет, г. Краснодар

Повышение уровня электромагнитных излучений в среде обитания человека связано с ускоряющимися темпами развития средств информатизации и связи. Вместе с тем способность лимфоцитов периферической крови облученных лиц к адаптивному ответу в отдаленные сроки после облучения позволяют рассматривать их в качестве биологического маркера функционального состояния данных клеток. С помощью метода флуоресцентной спектроскопии было определено количество однонитевых разрывов дезоксирибонуклеиновой кислоты (ОР ДНК) в лимфоцитах периферической крови человека после воздействия на них различных физических факторов: СВЧ-, гамма- и лазерного излучения и после инкубирования лимфоцитов в среде, содержащей наночастицы серебра. Показано, что с увеличением частоты СВЧ-излучения количество ОР ДНК в лимфоцитах увеличивается по сравнению с контрольными образцами: при воздействии на них излучением с частотой 3,5 ГГц на  $(32,3 \pm 0,9) \%$ , с частотой 50 ГГц на  $(40,1 \pm 1,1) \%$ , с частотой 70 ГГц на  $(49,8 \pm 0,7) \%$ . Воздействие гамма-излучением препарата  $^{137}\text{Cs}$  активностью 0,104 МБк индуцирует дозозависимое увеличение ОР и щелочнолабильных сайтов ДНК. Наблюдается увеличение количества ОР ДНК после облучения лазером при длине волны 510,6 нм на  $(18,1 \pm 0,7) \%$  (время облучения 3 мин) и на  $(6,1 \pm 0,5) \%$  (время облучения 5 мин), при длине волны 578,2 нм на  $(18,1 \pm 0,7) \%$  (время облучения 3 мин) и на  $(22,3 \pm 0,9) \%$  (время облучения 5 мин). Измерения количества ОР ДНК после инкубации лимфоцитов в физрастворе, содержащем наночастицы серебра, показали, что в изученном диапазоне концентраций наночастиц серебра диаметром  $12 \text{ нм} \pm 10 \%$  ( $1,863\text{--}0,621 \text{ мкг/л}$ ) происходят структурные разрушения молекул ДНК. На основании полученных данных сделан вывод о том, что определение количества ОР ДНК в иммунокомпетентных клетках может стать инструментом для исследования воздействия физических факторов на организм человека.

**Ключевые слова:** однонитевые разрывы ДНК, лимфоциты, флуоресцентная спектроскопия, гамма-, СВЧ-, лазерное излучение, наночастицы серебра, действие физических факторов на организм человека

## STRUCTURAL DAMAGES OF HUMAN DNA OF PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES UNDER THE INFLUENCE OF PHYSICAL FACTORS

E. E. Tekutskaya, R. V. Vasiliadi

Kuban State University of the Ministry Science and Education of the Russian Federation, Krasnodar, Russia

Increase of electromagnetic radiations level in the human environment is connected with the accelerated rates of information and communication development. At the same time, ability of peripheral blood lymphocytes of the irradiated persons to the adaptive response in long date after radiation allows to consider them as a biological marker of a functional status of these cells. The quantity of DNA single-strand breaks in peripheral blood lymphocytes affected by various physical factors: the microwave oven - gamma and laser radiation, and after lymphocytes incubating in the environment containing silver nanoparticles was defined by means of fluorescent spectroscopy. It is shown that with increase in microwave radiation frequency DNA quantity in lymphocytes increases in comparison with control samples: under the influence of radiation with a frequency of 3,5 GHz at  $32,3 \pm 0,9 \%$ , with a frequency of 50 GHz at  $40,1 \pm 1,1 \%$ , with a frequency of 70 GHz at  $49,8 \pm 0,7 \%$ . Affection of  $^{137}\text{Cs}$  gamma rays preparation with 0,104 MBK activity induces dose-related increase of DNA single-strand breaks. Quantity increase of DNA single-strand breaks is observed after laser irradiation at the wavelength of 510,6 nm to  $18,1 \pm 0,7 \%$  (irradiation time – 3 min) and to  $6,1 \pm 0,5 \%$  (irradiation time – 5 min), at the wavelength of 578,2 nm to  $18,1 \pm 0,7 \%$  (irradiation time – 3 min) and to  $22,3 \pm 0,9 \%$  (irradiation time – 5 min). DNA single-strand breaks quantity measurements after lymphocytes incubation in the normal saline containing silver nanoparticles showed that in the studied range of silver nanoparticles concentration with the diameter of  $12 \text{ nm} \pm 10\%$  ( $1,863 - 0,621 \text{ mkg/l}$ ) occur structural failure of DNA molecules. On the basis of the obtained data the conclusion has been made that DNA single-strand breaks count in the immune competent cells can become a tool for research of physical factors influence on a human body.

**Keywords:** DNA single-strand breaks, lymphocytes, fluorescent spectroscopy, gamma, the microwave oven – laser irradiation, silver nanoparticles, influence of physical factors on a human body

### Библиографическая ссылка:

Текуцкая Е. Е., Василиади Р. В. Структурные повреждения ДНК лимфоцитов периферической крови человека при воздействии физических факторов // Экология человека. 2017. № 12. С. 9–14.

Tekutskaya E. E., Vasiliadi R. V. Structural Damages of DNA of Peripheral Blood Lymphocytes under the Influence of Physical Factors. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 12, pp. 9-14.

Постоянный рост интенсивности электромагнитных излучений техногенных источников ставит вопрос об их глобальном многостороннем действии на организм человека. Говоря об электромагнитной экологии, как

правило, имеют в виду электромагнитное загрязнение окружающей среды, воздействие на организмы фоновых электромагнитных излучений высоковольтных линий электропередач, теле- и радиостанций, раз-

нообразной бытовой и медицинской электроаппаратуры и т. п. [10]. Известно, что радиация крайне негативно влияет на живые организмы. Опасность радиации состоит в ее ионизирующем излучении, взаимодействующем с атомами и молекулами живых организмов.

Многочисленные данные по изучению функционального статуса системы лимфоцитов, основной в клеточном отношении клеточной популяции периферической крови, оснащенной микробицидными и цитотоксическими механизмами, являются основанием для изучения влияния ионизирующих излучений на данные клетки [1, 2, 14, 15, 20]. Авторы статьи [1] отмечают, что способность лимфоцитов периферической крови облученных лиц к адаптивному ответу в отдаленные сроки после облучения позволяют рассматривать их в качестве биологического маркера функционального состояния, в частности, пула стволовых кроветворных клеток.

Однонитевые разрывы (ОР) в молекуле дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) являются самым многочисленным типом повреждения ДНК, который, наряду с двунитевыми разрывами, возникает либо при физиологических условиях в лимфоцитах, либо при патологических процессах [2], окислительном стрессе [5] или действии ионизирующего излучения [3]. Так, авторами [3] исследованы уровни разрывов ДНК до и после облучения лимфоцитов *in vitro* в дозе 1 Гр. Обследованы 17 доноров, 41 летчик и 8 космонавтов. Показано, что полеты приводят к значимому увеличению индивидуальных различий как по уровню разрывов ДНК в лимфоцитах крови, так и по степени радиоповреждаемости ДНК лимфоцитов. В работах [9, 13] подытоживаются результаты исследований через 5, 10 и 24 года после аварии на Чернобыльской АЭС. Через 24 года после аварии были обследованы ликвидаторы и обнаружено, что в лимфоцитах крови повышена частота клеток с аберрациями хромосомного типа и значимо выше уровни одно- и двунитевых разрывов ДНК.

Однонитевые разрывы репарируются по негомологичным концам ДНК на всех этапах клеточного цикла, сопровождают действие многих агентов и являются вторичными, промежуточными дефектами при репарации. Такая «вездесущность» ОР ДНК сочетается с устойчивым представлением об их нелетальности [17, 18]. В то же время ОР способны индуцировать апоптоз в ряде клеток [6, 21].

Известно, что наночастицы (НЧ) серебра являются прекрасным обеззараживающим препаратом, уничтожающим болезнетворные микроорганизмы, но по поводу токсичности НЧ серебра мнения авторов расходятся. Так, в работе [19] описывается применение НЧ серебра в качестве средства против кишечной палочки. Наночастицы накапливаются в мембранах клеток бактерий, создавая в них углубления, а затем разрывы, разрушающие клетку. При этом авторы указывают на нетоксичность данных наноматериалов, которые получают простым и экономически

эффективным образом и могут быть пригодны для разработки новых видов бактерицидных материалов. Однако в статье [7], подтверждающей бактерицидные свойства НЧ серебра, автор упоминает, что работы, направленные на количественную оценку биологического действия НЧ серебра на человека и животных, практически отсутствуют. Многие НЧ (в том числе и серебра, хотя, возможно, в меньшей степени) способны оказывать крайне негативное влияние на живые системы и даже вызывать тяжелые и необратимые изменения в организме.

Целью данной работы являлось исследование зависимости количества однонитевых разрывов ДНК в лимфоцитах периферической крови человека от воздействия различных видов ионизирующего излучения: гамма-, СВЧ- и лазерного излучений, а также при их инкубировании в среде, содержащей наночастицы серебра.

### Методы

Объектом исследований были лимфоциты, выделенные из периферической крови здоровых доноров (20 человек, мужчины, некурящие, возраст от 21 до 23 лет), проживающих в Краснодарском крае.

Выделение чистой взвеси лимфоцитов из донорской крови проводили в градиенте плотности фиколла-урографина (плотность 1,077 г/мл), как описано в работе [14]. Лимфоциты трехкратно отмывались и инкубировались в физиологическом растворе. После соответствующих облучений клетки лизировали 4,5 М раствором мочевины в течение 10 мин при температуре 24 °С. Лизаты клеток в экспериментальных образцах подвергали щелочной обработке в течение 30 мин при 0 °С, а затем интенсивному встряхиванию на Вортексе в течение 15 сек., чем достигалось расплетание молекул ДНК. После этого во все образцы добавляли раствор бромистого этидия. Это химическое вещество из группы фенантридинов (3,8-диамино-6-этил-5-фенилфенантридидумбромид), широко применяемое для флуоресцентной маркировки ДНК. При облучении бромистый этидий флуоресцирует оранжевым цветом. Является интеркалирующим агентом, т. е. веществом, способным встраиваться между основаниями ДНК, его интеркаляция сопровождается раскручиванием суперспирализованных участков ДНК, используется в качестве красителя для детектирования двухцепочечных молекул ДНК [8].

После щелочной обработки лизатов и добавления бромистого этидия измеряли интенсивность флуоресценции полученных образцов в кварцевой кювете на флуоресцентном спектрофотометре Hitachi F-2700 при длине волны возбуждения 540 нм и  $\lambda_{\text{полл}}$  (610 ± 5) нм под прямым углом к направлению возбуждающего света.

Количество ОР ДНК оценивали по отношению величин интенсивности флуоресценции контрольных и экспериментальных образцов. Результаты представляли в виде процентного соотношения

количества щелочнолабильных сайтов ДНК, содержащих одонитевые разрывы ДНК (образцы, подвергнутые воздействию, — экспериментальные), к общему количеству ДНК (контрольные образцы), как это описано в руководстве [8]. Для регистрации фоновой флуоресценции подготовили образец, содержащий все компоненты, как в экспериментальных образцах и в той же концентрации, но без молекул ДНК. Количество ОР ДНК лимфоцитов определяли после каждого внешнего воздействия отдельно.

Для определения концентрации и верификации лимфоцитов в рабочем образце цельной крови и взвеси использовался счетчик форменных элементов крови «Пикоскель ПС-4М». Данный счетчик является электронным прибором, предназначенным для определения числа диспергированных частиц (форменных элементов крови) в единице объема электропроводящей жидкости.

Для изучения влияния СВЧ-излучения на содержание ОР ДНК были использованы СВЧ-генераторы: ГКЧ 53, Р2-68, Р2-69 мощностью 3 мВт. Образцы подвергались воздействию излучения в течение 10 мин при разных частотах.

При изучении влияния гамма-излучения на содержание ОР ДНК в лимфоцитах был использован радиоактивный препарат <sup>137</sup>Cs с активностью 0,104 МБк. Образцы лимфоцитарной взвеси облучались в течение различных периодов времени.

В ряде экспериментов лимфоциты инкубировали в физрастворе, содержащем НЧ серебра. Использовали водный раствор НЧ серебра (диаметр 12 нм ± 10 %) с исходной концентрацией 630 мкг/мл. Раствор содержал в качестве стабилизатора поливинилпирролидон. Размеры НЧ серебра контролировались с помощью электронного растрового микроскопа JEONJSM 7500F.

Лабораторное диагностическое обследование выполнено в соответствии с обязательным соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации 1975 года с дополнениями 1983 года.

Полученные данные анализировали в пакете статистического анализа Statistica 6.0. Сравнение групп по количественным признакам проводили с использованием двухвыборочного t-критерия Стьюдента. Корреляционную зависимость и силу связи устанавливали, используя корреляционный анализ по Спирману. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$  [4].

**Результаты**

Выделенная взвесь лимфоцитов периферической крови здоровых доноров была подвержена гамма-излучению препарата <sup>137</sup>Cs активностью 0,104 МБк в течение 30, 60 и 90 мин. После соответствующей обработки были сняты спектры флуоресценции лизатов лимфоцитов с бромистым этидием, спектральный диапазон регистрации составлял 500–740 нм (рис. 1).

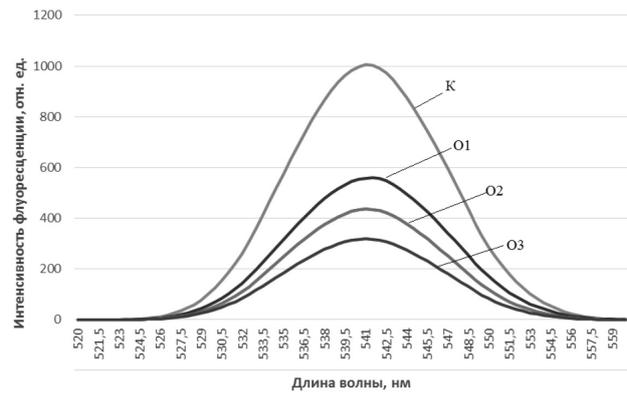


Рис. 1. Интенсивность флуоресценции раствора бромистого этидия в растворе лизатов лимфоцитов крови, обработанных гамма-излучением <sup>137</sup>Cs с активностью 0,104 МБк в течение 30 мин (O1), 60 мин (O2), 90 мин (O3), К — контроль

В лимфоцитах при воздействии гамма-излучения <sup>137</sup>Cs наблюдалось увеличение количества ОР ДНК при увеличении времени облучения. При облучении в течении 30 мин — на  $(44,3 \pm 0,4) \%$ , 60 мин — на  $(56,5 \pm 0,9) \%$ , 90 мин — на  $(68,3 \pm 0,8) \%$  больше, чем в контрольных образцах (рис. 2).

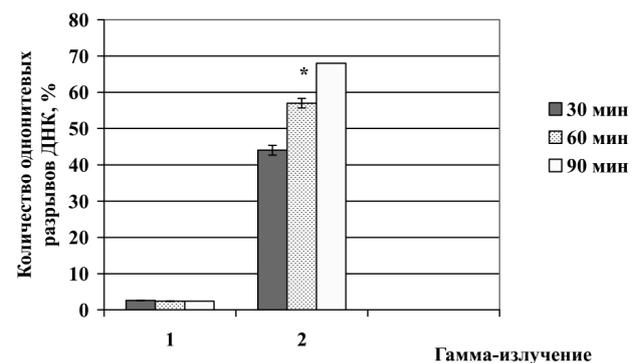


Рис. 2. Количество одонитевых разрывов ДНК лимфоцитов, выделенных из периферической крови здоровых доноров, после воздействия на них гамма-излучением <sup>137</sup>Cs с активностью 0,104 МБк при разном времени облучения. (1) — контроль, (2) — эксперимент

Было также рассмотрено влияние СВЧ-излучения на появление ОР ДНК при облучении лимфоцитов на частотах 3,5 ГГц, 50 ГГц, 70 ГГц. Данные частоты выбраны не случайно, поскольку именно в этом диапазоне частот работают терапевтические устройства для лечения облучением миллиметрового диапазона, так называемая терапия крайне высокими частотами (КВЧ-терапия), применяемая, в частности, для лечения язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, онкологических (совместно с традиционными методами) и многих других заболеваний. Примером такого прибора может служить терапевтическая установка «ЯВЬ-1» с рабочей длиной волны 5,60 мм (частота  $(53\ 534 \pm 10) \text{ МГц}$ ) и плотностью мощности облучения на раскрытие рупора не менее  $10 \text{ мВт/см}^2$ .

Лимфоциты, изолированные из крови, облучались СВЧ-излучением в течение 10 мин на частотах 3,5 ГГц, 50 ГГц, 70 ГГц при мощности 3 мВт.

На рис. 3 приведено количество ОР ДНК лимфоцитов после их обработки СВЧ-излучением. Видно, что с увеличением частоты количество ОР ДНК в лимфоцитах также увеличивается: при воздействии на них СВЧ-излучением с частотой 3,5 ГГц на (32,3 ± 0,9) %, с частотой 50 ГГц на (40,1 ± 1,1) %, с частотой 70 ГГц на (49,8 ± 0,7) % по сравнению с контрольными образцами.

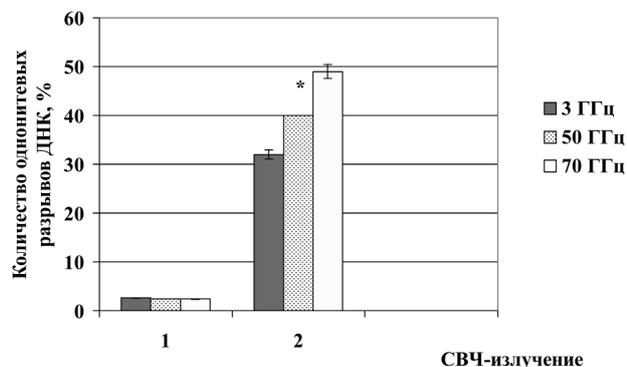


Рис. 3. Количество одностранных разрывов ДНК лимфоцитов, выделенных из периферической крови здоровых доноров, после воздействия СВЧ-излучением при разных частотах. Время облучения – 10 мин. (1) – контроль, (2) – эксперимент

Известно применение в медицине ЛПМ. Так, модель ЛПМ «Кулон-10-М» с длинами волн генерации 510,6 и 578,2 нм используется в многофункциональной лазерной медицинской установке «КУЛОН-Мед». Нами изучалось влияние излучения данного лазера на структурные повреждения молекул ДНК лимфоцитов. Взвесь лимфоцитов обрабатывалась импульсным газоразрядным ЛПМ. Образцы облучались при длинах волн 578,2 и 510,6 нм в течение 3 и 5 мин при средней мощности около 10 Вт, результаты исследований приведены на рис. 4.

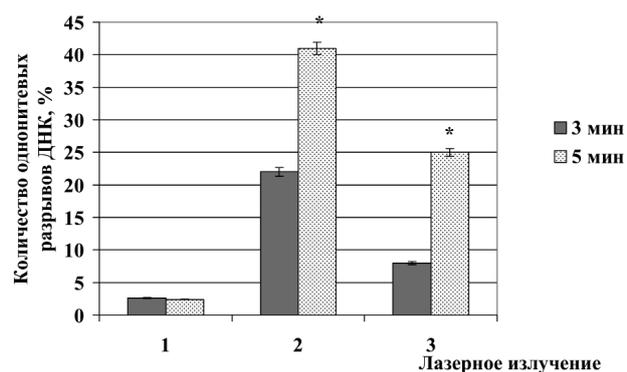


Рис. 4. Количество одностранных разрывов ДНК лимфоцитов, выделенных из периферической крови здоровых доноров, после воздействия на них лазерного излучения.

*Примечание.* \* –  $p < 0,05$  в сравнении с контролем (1). Количество одностранных разрывов ДНК лимфоцитов изучено при воздействии на них лазерного излучения длиной волны 510,6 нм (2) и 578,2 нм (3) в течение 3 и 5 мин

Наблюдается увеличение количества ОР ДНК после облучения лазером при длине волны 510,6 нм на (18,1 ± 0,7) % (время облучения 3 мин) и на

(6,1 ± 0,5) % (время облучения 5 мин), при длине волны 578,2 нм на (18,1 ± 0,7) % (время облучения 3 мин) и на (22,3 ± 0,9) % (время облучения 5 мин). Из рис. 4. видно, что при длине волны генерации 578,2 нм в лимфоцитах образуется меньше ОР ДНК, чем при длине волны генерации 510,6 нм. При увеличении времени воздействия с 3 до 5 мин количество ОР ДНК лимфоцитов увеличивается в среднем в 2–2,5 раза.

Для изучения влияния НЧ серебра на содержание ОР ДНК лимфоцитов периферической крови *in vitro* лимфоциты инкубировались в течение 60 мин в физрастворе с добавлением НЧ серебра в концентрациях: 1,863 мкг/л, 1,242 мкг/л, 0,621 мкг/л. Результаты экспериментов показали увеличение количества ОР ДНК лимфоцитов по сравнению с контрольными образцами в среднем на (26,8 ± 2,7) % ( $n = 20$ ), причем количество ОР ДНК практически не зависело от концентрации НЧ серебра в физрастворе для данного диапазона.

### Обсуждение результатов

Известно применение ионизирующего излучения в клинической медицине – это контактная или дистанционная лучевая терапия. Возможность облучать глубоко расположенные опухоли рентгеновскими лучами крайне ограничена, поскольку максимум дозы приходится на поверхность тела, именно поэтому в онкологии широко используется гамма-излучение  $^{60}\text{Co}$ ,  $E = 1,17$  кэВ или тормозное гамма-излучение  $E = 25$  МэВ. Вместе с тем возникает проблема вынужденного облучения здоровых тканей, лежащих за опухолью [16]. Первым и основным механизмом, вызывающим гибель клетки, является хромосомная аберрация – одиночный или двойной разрыв нитей спирали ДНК в месте акта ионизации под воздействием ионизирующего излучения. Эти повреждения приводят к утрате наследственного механизма клетки, ее гибели при первом и последующих митозах, а при многократных повреждениях иногда сразу, в интерфазе. Вторым механизмом, приводящим к гибели клетки, является ионизационное повреждение внутриклеточных мембран, на которых осуществляются сложные процессы клеточного метаболизма. И наконец, важным следствием ионизирующего облучения является образование большого количества высокоактивных радикалов и перекисей, которые вызывают разрушение различных органелл клетки [16].

В современной медицине используются аппараты прецизионной точности, воздействующие строго на опухоль. Тем не менее негативные последствия такого лечения могут проявиться сразу или через некоторое время. Примером прибора, использующего ионизирующее излучение высокой частоты, является «Гамма-Нож», с помощью которого проводится точное локальное облучение различных труднодоступных опухолей образований головного мозга и области голова – шея. «Гамма-Нож» производства фирмы Elekta (Швеция) представляет собой аппарат

с 192 источниками фотонов. Источником гамма-излучения является радионуклид  $^{60}\text{Co}$  с периодом полураспада 5,271 года, суммарной исходной активностью 5 168 Ки ( $1,9 \times 10^{14}$  Бк) и мощностью на момент загрузки установки не менее 3,3 Гр/мин.

При проведении исследований было показано, что деструктивное действие гамма-излучения на ДНК лимфоцитов увеличивается со временем экспозиции, поэтому использование его в медицинских целях должно быть максимально локальным, а время воздействия лучевой терапии не превышать необходимого минимума, чтобы не повреждать здоровые ткани, лежащие за опухолью, и кровь.

В отечественных санитарных правилах нормирование электромагнитных полей производится отдельно для производственного персонала и населения [11, 12]. Учитывается, что производственный персонал может попадать в электромагнитное поле только в течение рабочей смены на производстве и подлежит периодическим медицинским обследованиям и оценке влияния неблагоприятного производственного фактора. В то же время влияние электромагнитных полей от базовых станций и бытовых приборов происходит круглосуточно и постоянно, а диапазон состояний организма у населения (от ребенка до пожилого человека, от здорового до тяжело больного) значительно шире, чем у производственного персонала.

Показано, что СВЧ-излучение деструктивно воздействует на молекулы ДНК лимфоцитов, увеличивая количество одонитевых разрывов. Поскольку эффект возрастает с увеличением частоты, можно предположить, что использование в КВЧ-терапии по возможности более низких частот будет увеличивать сохранность иммунокомпетентных клеток крови.

Измерения количества ОР ДНК после инкубации лимфоцитов в физрастворе, содержащем наночастицы серебра, показали, что в изученном диапазоне концентраций НЧ серебра диаметром  $12 \text{ нм} \pm 10\%$  ( $1,863\text{--}0,621 \text{ мкг/л}$ ) происходят структурные разрушения молекул ДНК. Данный факт согласуется с мнением авторов работы [7], в которой отмечается, что НЧ серебра с размерами меньше 100 нм хотя бы по одному измерению обладают возможностью создавать активные формы кислорода, которые оказывают повреждающее действие на клетки. Если сравнивать серебро макро-размеров и НЧ серебра, то наночастицы проявляют большую токсичность. Помимо этого токсичность наночастиц зависит от их структуры и размеров, поскольку частицы с размерами менее 10 нм могут проникать сквозь клеточную мембрану и накапливаться в клетке, вызывая тем самым изменения ее функций. Оценка количества ОР ДНК лимфоцитов может служить одним из факторов применимости НЧ серебра в быту, для лекарственных средств, в медицинских целях.

Таким образом, на основании вышеприведенных данных можно предположить, что определение количества одонитевых разрывов ДНК в иммуно-

компетентных клетках может стать инструментом для исследования воздействия физических факторов в целом и ионизирующих излучений на человека в частности.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ р\_а № 16-42-230187.*

#### Список литературы

1. Аклеев А. В., Алещенко А. В., Кудряшова О. В., Семенова Л. П., Серебряный А. М., Худякова О. И., Пелевина И. И. Адаптивный ответ лимфоцитов как индикатор состояния гемопоза у облученных лиц // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 6. С. 645–651.
2. Воробьева Н. Ю., Антоненко А. В., Осипов А. Н. Особенности реакции лимфоцитов крови больных раком молочной железы на облучение *in vitro* // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 4. С. 451–456.
3. Воробьева Н. Ю., Осипов А. Н., Пелевина И. И. Чувствительность лимфоцитов периферической крови летчиков и космонавтов к воздействию излучения: индукция двуни-тевых разрывов ДНК // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2007. Т. 144, № 10. С. 404–407.
4. Герасимов А. Н. Медицинская статистика. М.: Медицинское информационное агентство, 2007. 480 с.
5. Ермаков А. В., Конькова М. С., Костюк С. В., Ершова Е. С., Еголина Н. А., Вейко Н. Н. Фрагменты внеклеточной ДНК из среды инкубирования лимфоцитов человека, облученных в малых дозах, запускают развитие окислительного стресса и адаптивного ответа в необлученных лимфоцитах // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т. 48, № 5. С. 553–564.
6. Кашуро В. А., Долго-Сабуров В. Б., Башарин В. А., Бонитенко Е. Ю., Лапина Н. В. Некоторые механизмы нарушения биоэнергетики и оптимизация подходов к их фармакотерапии // Биомедицинский журнал. 2010. № 11. С. 611–634. URL: <http://medline.ru/public/art/tom11/> (дата обращения: 03.10.2016).
7. Крутиков Ю. А., Кудринский А. А., Олейник А. Ю., Лисичкин Г. В. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы // Успехи химии. 2008. Т. 77, № 3. С. 242–269.
8. Колтовая Н. А. Руководство к практическим занятиям по молекулярной биологии. Дубна: Университет Дубна, 2010. 115 с.
9. Пелевина И. И., Афанасьев Г. Г., Алещенко А. В., Антошина М. М., Готлиб В. Я., Конрадов А. А., Кудряшова О. В., Лизунова Е. Ю., Рябченко Н. И., Серебряный А. М. Молекулярные и клеточные последствия аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 1. С. 154–161.
10. Пряхин Е. А., Аклеев А. В. Электромагнитные поля и биологические системы: стресс и адаптация. Челябинск: Полиграф-Мастер, 2011. 239 с.
11. СанПиН 2.2.4.1329–03. Требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей. М.: Минздрав России, 2003.
12. СанПиН 2.2.2/2.4-1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Минздрав России, 2003.
13. Серебряный А. М., Алещенко А. В., Кудряшова О. В. Нарушение связей между иммунным статусом и окислительным гомеостазом в лимфоцитах крови ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2012. Т. 52, № 4. С. 341–345.

14. Текуцкая Е. Е., Васильев Ю. А., Храмова А. А. Исследование воздействия электромагнитного излучения низкой частоты на активность лимфоцитов // Российский иммунологический журнал. 2014. Т. 8, № 3. С. 466–469.

15. Текуцкая Е. Е., Василяди Ю. А., Храмова А. А. Влияние внешних факторов на повреждение и репарацию ДНК лимфоцитов периферической крови человека // Российский иммунологический журнал. 2015. Т. 9, № 3. С. 223–225.

16. Ярмоненко С. П. Жизнь, рак и радиация. М.: Высшая школа, 1993. 320 с.

17. Cohen-Jonathan E. How does radiation kill cells // Current Opinion in Chemical Biology. 1999. Vol. 3. P. 77–83.

18. Jackson S. P., Bartck I. The DNA-damage response in human biology and disease // Nature. 2009. Vol. 461, N 7267. P. 1071–1078.

19. Sondi I., Salopek-Sondi B. J. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria // Colloid Interface Science. 2004. Vol. 177. P. 82–83.

20. Tekutskaya E. E., Barishev M. G., Ilchenko G. P. The Effect of a Low Frequency Electromagnetic Field on DNA Molecules in Aqueous Solutions // Biophysics. 2015. Vol. 60, N 6. P. 913–916.

21. Tekutskaya E. E., Dzhimak S. S., Barysheva E. V., Basov A. A., Fedosov S. R., Artsybasheva O. M. Estimation of the influence of medium with different isotopic D/H composition on DNA lymphocytes repair // Medical news of North Caucasus. 2015. Vol. 10, N 3. P. 287–292.

#### References

1. Akleev A. V., Aleshchenko A. V., Kudryashova O. V., Semenova L. P., Serebryanyi A. M., Khudyakova O. I., Pelevina I. I. The adaptive answer of lymphocytes as the indicator of a condition of a gemopoez at the irradiated persons. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology]. 2011, 51 (6), pp. 645-651. [in Russian]

2. Vorob'eva N. Yu., Antonenko A. V., Osipov A. N. Features of reaction of lymphocytes of blood of patients with cancer of a mammary gland to radiation of invitro. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology]. 2011, 51 (4), pp. 451-456. [in Russian]

3. Vorob'eva N. Yu., Osipov A. N., Pelevina I. I. Sensitivity of lymphocytes of peripheral blood of pilots and astronauts to influence of radiation: induction dvunitevykh of ruptures of DNA. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2007, 144 (10), pp. 404-407. [in Russian]

4. Gerasimov A. N. *Meditsinskaya statistika* [Medical statistics]. Moscow, Medical news agency, 2007, 480 p.

5. Ermakov A. V., Kon'kova M. S., Kostyuk S. V., Ershova E. S., Egolina N. A., Veiko N. N. Fragments of extracellular DNA from the environment of incubation of the lymphocytes of the person irradiated in small doses start development of an oxidizing stress and the adaptive answer in unirradiated lymphocytes. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology]. 2008, 48 (5), pp. 553-564. [in Russian]

6. Kashuro V. A., Dolgo-Saburov V. B., Basharin V. A., Bonitenko E. Yu., Lapina N. V. Some mechanisms of violation of bio-energetics and optimization of approaches to their pharmacotherapy. *Biomeditsinskii zhurnal [Medline.ru]*. 2010, 11, pp. 611-634. Available at: <http://medline.ru/public/art/tom11/> (accessed: 3.10.2016).

7. Krutikov Yu. A., Kudrinskii A. A., Oleinik A. Yu., Lisichkin G. V. Synthesis and properties of silver nanoparticles:

Advances and prospects. *Uspekhi khimii* [Russian Chemical Reviews]. 2008, 77 (3), pp. 233-257. [in Russian]

8. Koltovaya N. A. *Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po molekulyarnoi biologii* [The Guide to a Practical Training in Molecular Biology]. Dubna, 2010, 115 p.

9. Pelevina I. I., Afanas'ev G. G., Aleshchenko A. V., Antoshhina M. M., Gotlib V. Ya., Konradov A. A., Kudryashova O. V., Lizunova E. Yu., Ryabchenko N. I., Serebryanyi A. M. Molecular and cellular consequences of accident on the CNS. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology]. 2011, 51 (1), pp. 154-161. [in Russian]

10. Pryakhin E. A., Akleev A. V. *Elektromagnitnye polya i biologicheskie sistemy: stress i adaptatsiya* [Electromagnetic Fields and Biological Systems: Stress and Adaptation]. Chelyabinsk, Poligraf-Master, 2011, 239 p.

11. SanPiN 2.2.4.1329-03. Requirements for protection of the personnel against influence of pulse electromagnetic fields. Moscow, Russian Ministry of Health. [in Russian]

12. SanPiN 2.2.2/2.4-1340-03 Hygienic requirements to personal electronic computers and the organization of work. Moscow, Russian Ministry of Health. [in Russian]

13. Serebryanyi A. M., Aleshchenko A. V., Kudryashova O. V. Violation of communications between the immune status and an oxidizing homeostasis in lymphocytes of blood of liquidators of consequences of the Chernobyl NS. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology]. 2012, 52 (4), pp. 341-345. [in Russian]

14. Tekutskaya E. E., Vasil'ev Yu. A., Khramtsova A. A. Research of impact of electromagnetic radiation of low frequency on activity of lymphocytes. *Rossiiskii immunologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Immunology]. 2014, 8 (3), pp. 466-469. [in Russian]

15. Tekutskaya E. E., Vasiliadi Yu. A., Khramtsova A. A. Influence of external factors on damage and reparation of DNA of lymphocytes of peripheral blood of the person. *Rossiiskii immunologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Immunology]. 2015, 9 (3), pp. 223-225. [in Russian]

16. Yarmonenko S. P. *Zhizn', rak i radiatsiya* [Life, Cancer and Radiation]. Moscow, Higher school, 1993, 320 p.

17. Cohen-Jonathan E. How does radiation kill cells. *Current Opinion in Chemical Biology*. 1999, 3, pp. 77-83.

18. Jackson S. P., Bartck I. The DNA-damage response in human biology and disease. *Nature*. 2009, 461 (7267), pp. 1071-1078.

19. Sondi I., Salopek-Sondi B. J. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria. *Colloid Interface Science*. 2004, 177, pp. 82-83.

20. Tekutskaya E. E., Barishev M. G., Ilchenko G. P. The Effect of a Low Frequency Electromagnetic Field on DNA Molecules in Aqueous Solutions. *Biophysics*. 2015, 60 (6), pp. 913-916.

21. Tekutskaya E. E., Dzhimak S. S., Barysheva E. V., Basov A. A., Fedosov S. R., Artsybasheva O. M. Estimation of the influence of medium with different isotopic D/H composition on DNA lymphocytes repair. *Medical news of North Caucasus*. 2015, 10 (3), pp. 287-292.

#### Контактная информация:

Текуцкая Елена Евгеньевна — кандидат химических наук, доцент кафедры радиофизики и нанотехнологий ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации  
Адрес: 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149  
E-mail: tekytska@mail.ru