

УДК 504.75.05

*В.В. Пожарская***НАРУШЕНИЯ ПРОЛИФЕРАЦИИ ЛИМФОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ  
КРОВИ У ШКОЛЬНИКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ  
В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека  
в Арктике – филиал ФГБУН «Кольский научный центр Российской академии наук»,  
г. Апатиты, Мурманская область, Российская Федерация

*V.V. Pozharskaya***DISTURBANCES OF PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES  
PROLIFERATION IN SCHOOLCHILDREN LIVING  
IN RURAL AREAS OF MURMANSK REGION**

Research Centre for Human Adaptation in the Arctic, Kola Science Centre,  
Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

**Резюме.** *Цель работы* — выявить нарушения пролиферации лимфоцитов периферической крови у школьников, проживающих в сельской местности Мурманской области. *Материалы и методы.* Всего было обследовано 58 школьников. Группы сравнения были сформированы из школьников в возрасте 15-16 лет. Дизайн исследования включал в себя интервьюирование, многопараметровое психологическое тестирование, биохимический анализ крови и цитогенетический анализ лимфоцитов периферической крови человека. Микроядерный тест проводили на ФГА-стимулированных лимфоцитах цельной периферической крови человека в соответствии со стандартной методикой. *Результаты и обсуждение.* Проведенные исследования показали, что средние значения частот встречаемости лимфоцитов с микроядрами не выходят за пределы значений, установленных в литературе для групп сравнения, но этот показатель близок к максимальным значениям, характерным для территории России. Общие показатели нарушения пролиферации лимфоцитов свидетельствуют о более высокой скорости пролиферации у школьников, проживающих в Терском районе, относительно других районов Мурманской области. Выявлена достоверная связь спонтанной частоты встречаемости лимфоцитов с микроядром, вне зависимости от ploидности клеток, и содержанием калия в крови.

**Ключевые слова:** лимфоциты, школьники, Арктика

**Abstract.** *Aim* — to reveal the dependence of the violation of proliferation of peripheral blood lymphocytes in schoolchildren and the territory living. *Materials and methods.* Surveyed 58 schoolchildren. Comparison groups were formed from schoolchildren aged 15-16. The study design included interviewing, multi-parameter psychological testing, biochemical blood analysis and cytogenetic analysis of human peripheral blood lymphocytes. The micronucleus test was performed on stimulated lymphocytes of whole human peripheral blood in accordance with the standard method. *Results and discussion.* Studies have shown that the average frequencies of lymphocytes with micronucleus do not exceed the values established in the literature for comparison groups, but this indicator is close to the maximum values characteristic of the territory of Russia. General indicators of impaired lymphocyte proliferation indicate a higher proliferation rate among schoolchildren living in the Tersky district compared to other areas of the Murmansk region. Correlation analysis of the relationship of biochemical and immunological blood parameters with a number of cytogenetic disorders in school lymphocytes showed a significant relationship between the spontaneous frequency of occurrence of binucleated lymphocytes with the microkernel and immunoglobulin (IgE) in the blood. A significant correlation was found between the spontaneous frequency of lymphocytes with micronucleus, regardless of the ploidy of the cells, and the content of potassium in the blood.

**Keywords:** lymphocytes, schoolchildren, Arctic

Конфликт интересов отсутствует.  
Контактная информация автора, ответственного за переписку:  
Пожарская Виктория Викторовна  
vika\_pozharskaja@mail.ru  
Дата поступления 19.04.2019.

There is no conflict of interest.  
Contact details of the corresponding author:  
Viktoria V. Pozharskaya  
vika\_pozharskaja@mail.ru  
Received 19.04.2019.

Образец цитирования:

Пожарская В.В. Нарушения пролиферации лимфоцитов периферической крови у школьников, проживающих в сельской местности Мурманской области. Вестник уральской медицинской академической науки. 2019, Том 16, №2, с. 223–229, DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-223-229

For citation:

Pozharskaya V.V. Disturbances of peripheral blood lymphocytes proliferation in schoolchildren living in rural areas of Murmansk Region. Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2019, Vol. 16, no. 2, pp. 223–229. DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-223-229 (In Russ)

Мурманская область — один из наиболее крупных, экономически развитых и урбанизированных регионов Европейского Севера России, имеющий стратегическое значение для интересов страны в Арктике. Регион является одним из самых промышленно развитых в Российской Федерации. Значительное развитие в нем получили горнодобывающая, топливно-энергетическая, металлургическая отрасли промышленности, что добавляет к климатическим, географическим и другим природным стрессовым факторам среды, действующим на организм человека, техногенное воздействие. Попадающие в окружающую среду в результате деятельности промышленных предприятий токсиканты могут представлять собой мутагены и канцерогены, способные повредить структуру ДНК и с большой вероятностью инициировать развитие опухолей в соматических клетках, а при воздействии на половые клетки может проявиться в наличии наследственных генетических заболеваний, врожденных пороков развития у потомков и т.д. Особенно чувствительными к подобному генотоксическому воздействию токсикантов, образованных в результате деятельности промышленности, оказываются дети [1, 2]. Несмотря на большое число предприятий, занимающихся добычей различных руд и последующим извлечением из них элементов, на территории Мурманской области, помимо городов, подверженных непосредственному влиянию негативных факторов, связанных с деятельностью добывающих и перерабатывающих горнопромышленных комплексов, имеются и отдаленные населенные пункты (например, с. Ловозеро и с. Краснощелье, расположенные в Ловозерском районе Мурманской области), которые территориально отдалены от крупных промышленных центров.

**Цель** — выявить ассоциированность нарушения пролиферации лимфоцитов периферической крови у школьников и территории проживания.

**Материалы и методы**

Исследования проводились в г. Апатиты и крупных поселках Ловозерского (с. Краснощелье, с. Ловозеро) и Терского районов (пгт Умба). Группы сравнения были сформированы из школьников в возрасте 15-16 лет. Дизайн исследования включал в себя интервьюирование, многопараметровое психологическое тестирование, биохимический анализ крови и цитогенетический анализ лимфоцитов периферической крови человека. Всего было обследовано 58 школьников, име-

ющих 1 или 2 группу здоровья, с отсутствием хронических заболеваний, из них в г. Апатиты — 19, с. Ловозеро — 13, пгт Умба — 16, с. Краснощелье — 10. На основании результатов психологического тестирования были сформированы группы сравнения, в которые были включены школьники со схожим уровнем тревожности, поскольку психологический стресс также является медиатором генотоксических эффектов [3, 4, 5, 6].

Обследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации об этических принципах медицинских исследований, утвержденной Всемирной медицинской ассоциацией и нормами профессиональной этики. Родители (или законные представители) детей подписывали информированное согласие на участие в обследовании.

Интервьюирование школьников проводилось с использованием специально разработанного опросника на наличие вредных привычек, медикаментозного лечения, условий режима дня и питания. Психологическое тестирование включало в себя блок стандартных психологических опросников, таких как опросник исследования тревожности у подростков, типовая карта методики САН, шкала для психологической экспресс-диагностики уровня невротизации, тест на тревожность по Спилбергеру–Хани, цветовой тест Люшера. Взятие венозной крови проводилось сертифицированной детской медсестрой в вакуумные пробирки с гепарином для получения культуры лимфоцитов и в вакуумные пробирки без наполнителя и с цитратом натрия для иммунохимического и биохимического анализа в сертифицированной Клинико-диагностической лаборатории НИЦ МБП КНЦ РАН. Иммунохимический и биохимический анализы крови проводились только при обследовании в пгт Умба.

Микроядерный тест проводили на ФГА-стимулированных лимфоцитах цельной периферической крови человека в соответствии с методикой [7, 8, 9, 10]. Анализ препаратов проводили с помощью микроскопа AXIOSTAR PLUS (Karl Zeiss, Германия) (об. 15 х ок. 40, 100). Долю двуядерных клеток с микроядрами оценивали относительно 1000 двуядерных клеток, цитокинез которых был остановлен цитохалазином В (ЦХВ), т.е. в клетках, проходивших первый митоз между 48 и 72 ч после стимуляции ФГА [11]. Оценку частоты встречаемости клеток с генетическими и цитологическими нарушениями [12] проводили на основе анализа не менее 1000 клеток на каждом препарате. На препаратах идентифицировали: одноядер-

ные клетки, все полиядерные клетки без идентифицированных нарушений (1-, 2-, 3- и 4-ядерные клетки), все полиядерные клетки с микроядром или несколькими микроядрами, а также ядра с насечкой, вакуолизацию ядра, нарушения типа ядерных почек и протрузий, апоптоз.

Статистическая обработка материала проводилась в соответствии с рекомендациями, подготовленными на основе руководящих принципов для проведения исследований с использованием микроядерного теста, разработанных на втором заседании «Международной рабочей группы по оценке генотоксичности» (Вашингтон, США, 25-26.03.1999). Различия по результатам микроядерного теста оценивали по U-критерию Манна–Уитни. Корреляционный анализ проводили с использованием критерия Пирсона. Учитывалось, что статистическая значимость не должна быть единственным фактором для определения положительных результатов, руководствовались биологическим смыслом обнаруженного явления [13].

### Результаты и обсуждение

Микроядерный тест на лимфоцитах периферической крови школьников показал, что при учёте только двуядерных лимфоцитов, частота встречаемости бинуклеарных клеток с микроядром (считающимися маркером нестабильности генома) в с. Ловозеро состав-

ляет  $16,8 \pm 1,5\%$ , в пгт Умба —  $15,9 \pm 1,5\%$ , в г. Апатиты —  $13,4 \pm 1,71\%$ . Полученные значения соответствуют значениям, отмеченным у жителей российских городов — от 8,6 до 27,0 [14, 15, 16, 17, 18], которые лишь свидетельствуют о существенном различии в содержании генотоксических и токсических агентов в окружающей среде на территориях субъектов РФ. Полученные данные по спонтанной частоте встречаемости бинуклеарных лимфоцитов с микроядром в культуре крови школьников, проживающих в с. Краснощелье, несмотря на то, что были максимальными из представленных, также вписываются в указанный в литературе диапазон значений ( $21,3 \pm 2,4\%$ ).

Показаны достоверные отличия в частоте встречаемости двуядерных лимфоцитов с микроядром между удаленным сельским населенным пунктом с. Краснощелье Ловозерского района и более урбанизированными населенными пунктами Мурманской области: с. Ловозеро ( $U=72,5$ ,  $p=0,017$ ), пгт Умба Терского района ( $U=70,0$ ,  $p=0,0018$ ) и г. Апатиты ( $U=61,0$ ,  $p=0,0001$ ). При этом, самые низкие показатели частоты встречаемости двуядерных лимфоцитов с микроядром отмечены у школьников в городских населенных пунктах — г. Апатиты и пгт Умба Терского района. Анализ препаратов показал, что значительная часть клеток содержащих микроядро имеет 1 или больше двух ядер (табл. 1).

Таблица 1  
Средние значения встречаемости лимфоцитов с микроядром в обследуемых группах (учтены 1-, 2-, 3-, 4-х и более ядерные клетки), %

Table 1  
Mean values of lymphocyte occurrence with a micronucleus in the examined groups (all cells: 1, 2, 3, 4 or more nuclear cells), %

|   | Частота бинуклеарных лимфоцитов с микроядром / Frequency of binuclear lymphocytes with micronucleus | Число клеток содержащих микроядра, без учета двуядерных лимфоцитов / The number of lymphocytes cells containing micronuclei, excluding binuclear | Частота всех клеток с микроядрами / The frequency of all lymphocytes cells with micronuclei |
|---|---|--|---|
| Ловозерский район / Lovozersky district                 |   |  |   |
| с. Ловозеро / Lovozero (n=13)                           | 9.9±0.82  | 8.9±0.83   | 18.8±1.3  |
| с. Краснощелье / Krasnoshchele (n=10)                   | 14.5±0,81,3,4   | 8.3±0.63,4   | 22.7±1.24   |
| Терский район / Tersky district                         |   |  |   |
| пгт Умба / Umba (n=16)                                  | 11.1±1.02   | 21.4±2.92  | 32.5±3.24   |
| Апатитско-Кировский район / Apatitsko-Kirovsky district |   |  |   |
| г. Апатиты / Apatity (n=19)                             | 10.9±1.22   | 6.0±1.01,3,4   | 17.0±2.02,3   |

Примечание: верхним регистром указаны номера населенных пунктов, в которых показатели достоверно отличаются от приведенных значений согласно U-критерия Манна–Уитни ( $p \leq 0,05$ ): 1 — с. Ловозеро; 2 — с. Краснощелье; 3 — пгт Умба; 4 — г. Апатиты.

Note: the upper register shows the numbers of settlements in which the indicators are significantly different from the values given according to the Mann–Whitney U-test ( $p \leq 0.05$ ): 1 — Lovozero; 2 — Krasnoshcheliie; 3 — Umba; 4 — Apatity.

Показаны достоверные отличия в частоте встречаемости двуядерных лимфоцитов с микроядром у школьников при учете всех клеток (1-, 2-, 3-, 4-х ядерных клеток, а также клеток, содержащих более 4 ядер) между удаленным сельским населенным пунктом с. Краснощелье Ловозерского района и более урбанизированными населенными пунктами Мурманской области: с. Ловозеро ( $U=45,0$ ,  $p=0,0009$ ), пгт Умба Терского района ( $U=91,0$ ,  $p=0,0125$ ) и г. Апатиты ( $U=113,0$ ,  $p=0,0125$ ) (рис. 1). Также достоверными были отличия в частоте встречаемости клеток с микроядрами, среди клеток не ответивших на митогенный сигнал (1-ядерные) и содержащих более 2 ядер в клетке у подростков с. Краснощелья и городскими населенными пунктами — г. Апатиты ( $U=109,0$ ,  $p=0,0093$ ), пгт Умба. ( $U=73,5$ ,  $p=0,0025$ ). В данном случае, возможно, также вносит свой вклад черный углерод, связанный с традиционным образом жизни сельских жителей (печное отопление домов, приготовление пищи в печи, баня и т.д.). Загрязнение воздуха так называемым черным углеродом в жилых домах при приготовлении пищи и отоплении дома твердым биологическим топливом может являться генотоксическим фактором [19]. Жители с. Краснощелья для этих целей используют дрова, заготавливаемые вблизи поселения, в то время как в других исследуемых населенных пунктах имеется центральное отопление, газо- и электроснабжение. Черный углерод содержит в себе большое количество вредных для здоровья химических веществ, таких как мелкие и сверхмелкие частицы, монооксид углерода, оксиды азота, формальдегид, акролеин, бензол, толуол, стирол, 1,3-бутадиен и полициклические ароматические углеводороды [20]. Однако, в случае с. Краснощелья дрова в себе могут содержать, помимо перечисленных выше вредных веществ, накопленные радионуклиды вследствие выбросов в ходе ядерных испытаний на Новой Земле в середине прошлого века. Следует также учитывать, что свой вклад может вносить разница в рационе питания в исследуемых населенных пунктах. По данным интервьюирования в ходе исследования, во многих семьях из села значительную долю (до 50%) употребляемых в пищу продуктов составляют продукты местного происхождения (рыба из местных водоемов, оленина, грибы, ягоды, овощи с собственного огорода и др.). Тогда как у проживающих в городе рацион питания преимущественно состоит из продуктов, купленных в одном из сетевых магазинов.

При сравнении частоты встречаемости всех типов клеток, содержащих микроядра, выявлены достоверные различия между городскими населенными пунктами г. Апатиты и пгт Умба ( $U=97,0$ ,  $p=0,0036$ ). При этом в г. Апатиты и населенных пунктах Ловозерского района основная часть клеток с микроядром приходилась на лимфоциты с 1 или 2 ядрами, доля 1-ядерных лимфоцитов была высокой (у некоторых обследованных их доля доходила до 52% от всех лимфоцитов), на фоне незначительного числа клеток, содержащих бо-

лее 2 ядер. Следовательно, значительная часть лимфоцитов либо оказалась нечувствительна к воздействию цитокинетического блока, либо не ответила на митогенный сигнал и не прошла стадию митоза в течение 28 часов после добавления в культивируемые в тест-флаконах клетки ЦХБ и до начала фиксации. Поэтому, можно предположить, что существенную роль играют индивидуальные особенности проживающих на данных территориях — низкая скорость пролиферации, возрастные особенности, особенности территорий проживания. Доля полиядерных лимфоцитов без учета двуядерных была незначительной (не более 1,5%), на препаратах были идентифицированы только единичные клетки, содержащие более 2 ядер. Это также свидетельствует о низкой пролиферативной активности клеток доноров в культуре. В Терском районе доля одноядерных клеток была незначительной и составляла 4-16% от общего числа. Доля клеток, содержащих более 2 ядер, составляла от 2 до 6% (из них до 4,5% клеток было представлено 4 ядерными лимфоцитами, т.е. клетками прошедшими митоз 2 раза за 28 часов). Это свидетельствует о более высокой скорости пролиферации у подростков, проживающих в Терском районе относительно проживающих в других рассмотренных районах Мурманской области. Вероятно, высокие показатели встречаемости полиплоидных лимфоцитов с микроядром связаны с расположением пгт Умба на берегу Белого моря и влиянием на организм морских аэрозолей, являющихся дополнительным источником поступления йода. Показано, что у трети обследованных школьников из пгт Умба содержание в крови тиреотропного гормона (ТТГ, мкМЕ/мл) было выше 2,5, а у 5 человек из 16 отмечены низкие показатели — меньше 1,5 мкМЕ/мл (норма для данной возрастной группы 0,4-4,0 мкМЕ/мл). Андрюковым с соавторами показано [21], что при значительном поступлении йода в организм, он служит профилактикой йодных заболеваний, но при этом приводит к увеличению уровня аутоиммунных заболеваний щитовидной железы. Доброкачественные и злокачественные изменения тканей характеризуются клеточным атипизмом, к которому относится полиплоидия клеток, вызванная патологией митоза.

Корреляционный анализ спонтанной частоты встречаемости клеток содержащих микроядра в пгт. Умба и биохимическими и иммунологическими показателями крови показал достоверную связь спонтанной частоты встречаемости бинуклеаных лимфоцитов с микроядром и иммуноглобулином (IgE) ( $R=0,65$ ,  $p\leq 0,05$ ). У четверти обследованных наблюдалось превышение содержания общего IgE (до 280 МЕ/мл, при норме до 200 МЕ/мл), что может свидетельствовать о различных формах аллергических заболеваний. Также выявлена достоверная связь спонтанной частоты встречаемости лимфоцитов с микроядром, вне зависимости от плоидности клеток, и содержанием калия в крови ( $R=0,50$ ,  $p\leq 0,05$ ). У всех обследованных содержа-

ние калия в крови было в норме ( $4,6 \pm 0,1$  ммоль/л, при норме 3,4-5,3 ммоль/л). Калий в организме человека играет огромную роль, участвуя во многих биопроцессах, среди которых регулирование работы нервной ткани, участие в передаче нервных импульсов. Нарушение в работе нервных импульсов и нервной ткани может способствовать неспецифическому биологическому ответу организма на различного рода воздействия и привести к дезадаптации. В ряде исследований [3, 22, 4] показано повышение уровня генотоксических повреждений у лиц в состоянии эмоциональной и физиологической дезадаптации. Это позволяет предположить, что поддержание содержания калия в крови в пределах нормы для данного показателя может служить профилактикой цитогенетических нарушений. Данный вопрос требует более подробного изучения.

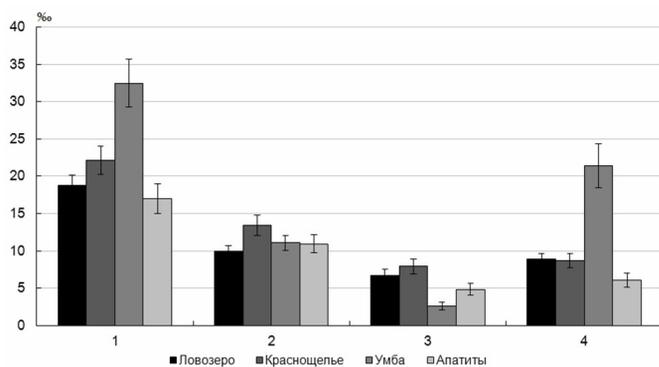


Рисунок 1. Представленность лимфоцитов с микроядром на 1000 клеток: 1 — общее число лимфоцитов с микроядром, 2 — число бинуклеарных лимфоцитов с микроядром, 3 — одноядерные лимфоциты с микроядром, 4 — полиядерные лимфоциты с микроядром без учета бинуклеарных клеток.

Figure 1. Representation of lymphocytes with a micronucleus per 1000 cells: 1 — the total number of lymphocytes with a micronucleus, 2 — the number of binuclear lymphocytes with a micronucleus, 3 — mononuclear lymphocytes with a micronucleus, 4 — polynuclear lymphocytes with a microkerne, without binuclear cells

## Заключение

Проведенные нами исследования показали, что средние значения частот встречаемости лимфоцитов с микроядрами не выходят за пределы значений, установленных в литературе для групп сравнения, но этот показатель близок к максимальным значениям, характерным для территории России.

Показано, что выбранные нами контрастные по заболеваемости территории Мурманской области имеют достоверные различия по ряду цитогенетических показателей в лимфоцитах периферической крови человека. Тенденция по частоте встречаемости клеток с микроядром для лимфоцитов периферической крови такова: для Апатито-Кировского района показаны минимальные средние значения, для Ловозерского района — максимальные значения, а для Терского района — промежуточные. Установлено, общие показатели нарушения пролиферации лимфоцитов свидетельствуют о более высокой скорости пролиферации у школьников, проживающих в Терском районе, относительно других районов Мурманской области. Проведенный корреляционный анализ взаимосвязи биохимических и иммунологических показателей крови с рядом цитогенетических нарушений в лимфоцитах крови школьников из пгт Умба показал достоверную связь между спонтанной частотой встречаемости бинуклеарных лимфоцитов с микроядром и иммуноглобулином (IgE) в крови. Также выявлена достоверная связь спонтанной частоты встречаемости лимфоцитов с микроядром, вне зависимости от плоидности клеток, и содержанием калия в крови. Кальций ( $K=-0,95$ ,  $p<0,05$ ), магний ( $K=0,99$ ,  $p<0,05$ ) и калий ( $K=0,72$ ,  $p<0,05$ ) являются важнейшими микроэлементами организма человека. Выявленные закономерности между частотой цитогенетических нарушений и уровнем этих микроэлементов в крови представляют перспективу для разработки методов по предотвращению нарушений генетического материала вследствие воздействия генотоксических факторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кошкина В.С. Экология и здоровье населения крупного промышленного центра черной металлургии: Монография. Магнитогорск: Магнитогорск. гос. ун-т, 2004. 205 с.
2. Ингель Ф.И., Легостаева Т.Б. Влияние загрязнений атмосферного воздуха в пробах снега, собранных с территорий города черной металлургии, на цитогенетический статус детей / Всероссийская научно-практическая конференция: Экология, здоровье и безопасность в современном образовательном пространстве. – 2017. С. 4-10.
3. Ингель Ф.И., Прихожан А.М., Цуцман Т.Е., Рева-

## REFERENCES

1. Koshkina V.S. Jekologija i zdorov'e naselenija krupnogo promyshlennogo centra chernoj metallurgii: Monografija. Magnitogorsk: Magnitogorsk. gos. un-t, 2004. 205 p. (in Russ)
2. Ingel' F.I., Legostaeva T.B. Vlijanie zagrjaznenij atmosfernogo vozduha v probah snega, sobrannyh s territorij goroda chernoj metallurgii, na citogeneticheskij status detej. Vserossijskay nauchno-prakticheskay konferenciy, posvjashhennoj godu jekologii v Rossii: Jekologija, zdorov'e i bezopasnost' v sovremennom obrazovatel'nom prostranstve. – 2017. pp. 4-10. (in Russ)
3. Ingel' F.I., Prihozhan A.M., Cucman T.E., Revazova

зова Ю.А. Оценка глубины стресса и ее использование при проведении генетико-токсикологических исследований на людях // Вестник Академии медицинских наук. – 1997. – № 7. – С.24-28.

4. Ингель Ф.И. Качество жизни и индивидуальная чувствительность генома человека. Есть ли выход из порочного круга // Экологическая генетика. – 2005. – Том 3, № 3. С. 38-46.

5. Dimitroglou E., Zafiropoulou M., Messini-Nikolaki N., Doudounakis S., Tsilimigaki S., Piperakis S.M. DNA damage in a human population affected by chronic psychogenic stress. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* – 2003; 206(1): 39-44.

6. Кривцова Е.К., Юрченко В.В., Ингель Ф.И., Юрцева Н.А, Синицына Е.Р., Макарова А.С Применение цитомного анализа буккального эпителия в системе гигиенической оценки условий обучения студентов разных факультетов одного вуза // Гигиена и санитария. – 2018. – 2(97). – С. 179-187. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-2-179-187>

7. Fenech M., Morley A. Solutions to the kinetic problem in the micronucleus assay // *Cytobios.* 1985. – Vol. 43, N 172–173. – P. 233–246.

8. M. Fenech, A.A. Morley Cytokinesis-block micronucleus method in human lymphocytes: effect of in-vivo ageing and low dose X-irradiation, *Mutation Res.*- V. 161, - 1986 - 193-198.

9. Yager J. W., Sorsa M., Selvin S. Micronuclei in cytokinesis-blocked lymphocytes as an index of occupational exposure to alkylating cytostatic drugs // *IARC Sci Publ.* 1988. V. 89. P. 213–216.

10. Fenech M., Bonassi S., Turner J., et al. Human Micro Nucleus project. Intra- and inter-laboratory variation in the scoring of micronuclei and nucleoplasmic bridges in binucleated human lymphocytes. Results of an international slide-scoring exercise by the HUMN project // *Mutat Res.* — 2003. —Vol.534, N 1–2. — P. 45–64.

11. Пелевина И.И., Афанасьев Г.Г., Алещенко А.В., Антошина М.М, Готлиб В.Я., Конрадов А.А., Кудряшова О.В., Лизунова Е.Ю., Осипов А.Н., Рябченко Н.И., Серебряный А.М. Молекулярно-клеточные последствия аварии на ЧАЭС // *Радиационная биология. Радиоэкология.* – 2011. Т. 51, № 1. – С. 154-161.

12. Tolbert P.E., Shy C.M., Allen J.W. Micronuclei and other nuclear anomalies in buccal smears: methods development // *Mut. Res.* 1992. 271. P. 69-77.

13. Kirsch-Volders M., Sofuni T., Aardema M. et al. Report from the in vitro Micronucleus assay working group // *Environmental and molecular mutagenesis.* 2000. 35. pp. 167-172.

14. Ингель Ф.И. Перспективы использования микроядерного теста на лимфоцитах человека, культивируемых в условиях цитокинетического блока. Часть 1. Пролиферация клеток // *Экологическая генетика.* – 2006. – Том 4, № 3. – С. 38-54.

15. Колюбаева С.Н. Хромосомные aberrации, микроядра и апоптоз в лимфоцитах при радиационных

Ju.A. Ocenka glubiny stressa i ee ispol'zovanie pri provedenii genetiko-toksikologicheskikh issledovanij na ljudjah. *Vestnik Akademii medicinskih nauk.* – 1997. – No. 7. – pp. 24-28. (in Russ)

4. Ingel' F.I. Kachestvo zhizni i individual'naja chuvstvitel'nost' genoma cheloveka. Est' li vyhod iz porochnogo kruga. *Jekologicheskaja genetika.* – 2005. – Vol. 3, No. 3. pp. 38-46. (in Russ)

5. Dimitroglou E., Zafiropoulou M., Messini-Nikolaki N., Doudounakis S., Tsilimigaki S., Piperakis S.M. DNA damage in a human population affected by chronic psychogenic stress. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 2003; 206(1): 39-44.

6. Krivcova E.K., Jurchenko V.V., Ingel' F.I., Jurceva N.A, Sinicyna E.R., Makarova A.S Primenenie citomnogo analiza bukka'nogo jepitelija v sisteme gigienicheskoj ocenki uslovij obuchenija studentov raznyh fakul'tetov odnogo vuza. *Gigiena i sanitarija.* – 2018. – 2(97). – pp. 179-187. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-2-179-187> (in Russ)

7. Fenech M., Morley A. Solutions to the kinetic problem in the micronucleus assay // *Cytobios.* 1985. – Vol. 43, No. 172–173. – pp. 233–246.

8. M. Fenech, A.A. Morley Cytokinesis-block micronucleus method in human lymphocytes: effect of in-vivo ageing and low dose X-irradiation, *Mutation Res.*- Vol. 161, - 1986, - pp. 193-198.

9. Yager J. W., Sorsa M., Selvin S. Micronuclei in cytokinesis-blocked lymphocytes as an index of occupational exposure to alkylating cytostatic drugs. *IARC Sci Publ.* 1988. Vol. 89. pp. 213–216.

10. Fenech M., Bonassi S., Turner J., et al. Human Micro Nucleus project. Intra- and inter-laboratory variation in the scoring of micronuclei and nucleoplasmic bridges in binucleated human lymphocytes. Results of an international slide-scoring exercise by the HUMN project. *Mutat Res.* - 2003. - Vol. 534, No. 1-2. - pp. 45-64.

11. Pelevina I.I., Afanas'ev G.G., Aleshchenko A.V., Antoshhina M.M, Gotlib V.Ja., Konradov A.A., Kudrjashova O.V., Lizunova E.Ju., Osipov A.N., Rjabchenko N.I., Serebrjanyj A.M. Molekuljarno-kletochnye posledstvija avarii na ChAJeS. *Radiac. biologija. Radiojekologija.* 2011. Vol. 51, No. 1. pp. 154-161. (in Russ)

12. Tolbert P.E., Shy C.M., Allen J.W. Micronuclei and other nuclear anomalies in buccal smears: methods development. *Mut. Res.* 1992. 271. pp. 69-77.

13. Kirsch-Volders M., Sofuni T., Aardema M. et al. Report from the in vitro Micronucleus assay working group. *Environmental and molecular mutagenesis.* 2000. 35. pp. 167-172.

14. Ingel' F.I. Perspektivy ispol'zovanija mikrojadernogo testa na limfocitah cheloveka, kul'tiviruemyh v uslovijah citokineticheskogo bloka. Chast' 1. Proliferacija kletok. *Jekologicheskaja genetika.* – 2006. – Vol. 4, No. 3. – pp. 38-54. (in Russ)

15. Koljubaeva S.N. Hromosomnye aberracii, mikrojadra

воздействиях и других патологических состояниях: автореф. дис. доктора биол. наук. Обнинск, 2010. 34 с.

16. Серебряный А.М., Аклеев А.В., Алещенко А.В., Антошина М.М., Кудряшова О.В., Рябченко Н.И., Семенова Л.П., Пелевина И.И. Распределение индивидуумов по спонтанной частоте лимфоцитов с микроядрами. Особенности и следствия // Цитология. – 2011. – Т. 53, №1. – С. 5-9.

17. Ахмадуллина Ю.Р., Аклеев А.В. Оценка уровня лимфоцитов периферической крови с микроядрами у потомков первого поколения хронически облученных отцов // Вестник Челябинского государственного университета. – 2013. – Вып.2. – С. 97-98.

18. Пожарская В. В., Петрашова Д. А. Цитогенетические нарушения в лимфоцитах периферической крови у горнорабочих Мурманской области в возрасте до тридцати лет // Вестник науки и образования» № 10(22), 2016.

19. Alves C.A., Vicente, A., Monteiro, C., Gonçalves, C., Evtyugina, M. and Pio, C. (2011). Emission of Trace Gases and Organic Components in Smoke Particles from a Wildfire in a Mixed-evergreen Forest in Portugal. *Sci. Total Environ.* 409: 1466–1475.

20. J. Zhang, K.R. Smith, Hydrocarbon emissions and health risks from cook stoves in developing countries, *J. Exposure Anal. Environ. Epidemiol.* 6 (1996) 147–161.

21. Андрюков Б.Г., Гвозденко Т.А., Демьяненко Н.Б. Избыток иода в организме – экологический фактор риска развития аутоиммунных заболеваний щитовидной железы? // Здоровье. Медицинская экология. Наука. - №2(60), 2015 г. – С. 6-16.

22. Ингель Ф.И., Ревазова Ю.А. Модификация эмоциональным стрессом мутагенных эффектов ксенобiotиков у животных и человека // Исследования по генетике. Вып.12. – Спб.: Изд-во С-Петербургского Ун-та, 1999. – С.86 – 103.

i apoptoz v limfocitah pri radiacionnyh vozdeystvijah i drugih patologicheskikh sostojanijah: avtoref. dis. doktora biol. nauk. Obninsk, 2010. 34 p. (in Russ)

16. Serebrjanyj A.M., Akleev A.V., Aleshhenko A.V., Antoshhina M.M., Kudrjashova O.V., Rjabchenko N.I., Semenova L.P., Pelevina I.I. Raspredelenie individuumov po spontannoj chastote limfocitov s mikrojadrami. Osobennosti i sledstvija. *Citologija.* – 2011. – Vol. 53, No. 1. – pp. 5-9. (in Russ)

17. Ahmadullina Ju.R., Akleev A.V. Ocenka urovnja limfocitov perifericheskoj krovi s mikrojadrami u potomkov pervogo pokolenija hronicheski obluchennyh otcov. *Vestnik Cheljabinskogo gosudarstvennogo universiteta.* – 2013. – Vol. 2. – pp. 97-98. (in Russ)

18. Pozharskaja V. V., Petrashova D. A. Citogeneticheskie narushenija v limfocitah perifericheskoj krovi u gornorabochih Murmanskoj oblasti v vozraste do tridcati let. *Vestnik nauki i obrazovanija»* No. 10(22), 2016. (in Russ)

19. Alves C.A., Vicente, A., Monteiro, C., Gonçalves, C., Evtyugina, M. and Pio, C. (2011). Emission of Trace Gases and Organic Components in Smoke Particles from a Wildfire in a Mixed-evergreen Forest in Portugal. *Sci. Total Environ.* 409: 1466–1475.

20. J. Zhang, K.R. Smith, Hydrocarbon emissions and health risks from cook stoves in developing countries, *J. Exposure Anal. Environ. Epidemiol.* 6 (1996) 147–161.

21. Andrjukov B.G., Gvozenko T.A., Dem'janenko N.B. Izbytok ioda v organizme – jekologicheskij faktor riska razvitija autoimmunnyh zabojevanij shhitovidnoj zhelezy? *Zdorov'e. Medicinskaja jekologija. Nauka.* - No. 2(60), 2015. – pp. 6-16. (in Russ)

22. Ingel' F.I., Revazova Ju.A. Modifikacija jemocional'nym stressom mutagennyh jeffektov ksenobiotikov u zhivotnyh i cheloveka. *Issledovanija po genetike.* Vol.12. – Spb.: Izd-vo S-Peterbugskogo Un-ta, 1999. – pp.86–103. (in Russ)

#### Автор

Пожарская Виктория Викторовна  
Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»  
Кандидат биологических наук, научный сотрудник  
Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 41А  
vvp@medknc.ru

#### Author

Viktoria V. Pozharskaya  
Research Centre for Human Adaptation in the Arctic, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Russian Federation  
Cand. Sci. (Biol.), Researcher  
Fersmana str. 41A Apatity Murmansk region Russian Federation 184209  
vvp@medknc.ru