

Илюшина Н.А., Демидова Ю.В., Макарова М.А., Илюшин А.Г., Егорова О.В., Березняк И.В., Ревазова Ю.А.

## Цитоморфологический анализ эксфолиативных клеток буккального эпителия у работников, имеющих контакт с пестицидами

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, г. Мытищи Московской области, Российская Федерация

**Введение.** В связи с возрастающими объёмами поступающих в окружающую среду токсичных веществ, в том числе генотоксикантов, возникает необходимость проведения исследований по оценке их воздействия на людей, проживающих на территориях с высокими уровнями загрязнителей, а также лиц, работающих во вредных условиях. Для определения реального генетического риска проводят эпидемиологические исследования, в ходе которых оценивают повреждения наследственных структур в клетках человека в основном в лимфоцитах периферической крови и буккальных эпителиоцитах.

**Материал и методы.** Материалом являлись образцы буккального эпителия. В исследовании принимали участие 69 человек: 28 – в контрольной группе и 41 – в группе лиц, контактирующих с пестицидами. При цитоморфологическом анализе учитывали показатели: цитогенетические, пролиферации клеток, ранней и поздней деструкции ядер.

**Результаты.** Частота встречаемости клеток с микроядрами и протрузиями у лиц, контактирующих с пестицидами при осуществлении их профессиональной деятельности, была повышена в 2,2 раза, частота клеток с атипичными ядрами – в 2,5 раза (различия в цитогенетических показателях между группами были статистически незначимы). Выявлены достоверные изменения показателя пролиферации – частоты клеток с двумя ядрами (1,6 раза), а также показателей деструкции – кариорексиса (в 4,5 раза чаще у некурящих лиц и в 8,2 раза у курящих, работающих с пестицидами) и кариолизиса (в 3,4 раза была повышена частота клеток с начальным кариолизисом и в 3,2 раза с полным кариолизисом). Показано превышение индекса накопления цитогенетических повреждений в 4 раза.

**Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о повышенном риске возникновения повреждений генетического аппарата клеток у лиц, профессиональная деятельность которых связана с тестированием и применением пестицидов.

**Ключевые слова:** буккальный эпителий; цитоморфологические аномалии; пестициды

**Для цитирования:** Илюшина Н.А., Демидова Ю.В., Макарова М.А., Илюшин А.Г., Егорова О.В., Березняк И.В., Ревазова Ю.А. Цитоморфологический анализ эксфолиативных клеток буккального эпителия у работников, имеющих контакт с пестицидами. *Токсикологический вестник*. 2021; 29(4): 22-29.

DOI: <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-4-22-29>

**Для корреспонденции:** Илюшина Наталья Алексеевна, доктор биологических наук, заведующая отделом генетической токсикологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, г. Мытищи Московской области. E-mail: [iliushinana@fferisman.ru](mailto:iliushinana@fferisman.ru)

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Участие авторов:** Илюшина Н.А. – концепция и дизайн исследования, обработка и анализ результатов, поиск литературных данных, написание текста; Демидова Ю.В. – сбор материала, статистическая обработка; Макарова М.А. – сбор и обработка материала; Илюшин А.Г. – сбор и обработка материала; Березняк И.В. – сбор и обработка материала; Егорова О.В. – анализ результатов, написание текста; Ю.А. Ревазова – критический пересмотр статьи. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила в редакцию 08 июня 2021 / Принята в печать 29 июля 2021 / Опубликовано 30 августа 2021

Ilyushina N.A., Demidova Yu.V., Makarova M.A., Ilyushin A.G., Egorova O.V., Bereznyak I.V., Revazova Yu.A.

# Cytogenetic analysis in exfoliated buccal epithelial cells of the workers who come into contact with pesticides

Federal Budgetary Establishment of Science "Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Mytishchi, Moscow region, Russian Federation

**Introduction.** Due to the increasing volumes of toxic substances entering the environment, including genotoxicants, it becomes necessary to conduct studies to assess their impact on people living in areas with high levels of pollutants, as well as people working in hazardous conditions. Epidemiological studies, in which damage to hereditary structures in human cells is assessed, in peripheral blood lymphocytes and buccal epithelial cells mainly, are carried out to determine the real genetic risk.

**Materials and methods.** Samples of buccal epithelium were used. The study involved 69 people: 28 in the control group and 41 in the group of persons who were in contact with pesticides. The cytomorphological analysis took into account the following indicators: cytogenetic, cell proliferation, early and late destruction of nuclei.

**Results.** The frequency of occurrence of the cells with micronuclei and protrusions in persons who were in contact with pesticides during their professional activities was increased 2.2 times, the frequency of cells with atypical nuclei - 2.5 times (differences in cytogenetic parameters between the groups were statistically insignificant). Statistically significant changes in the proliferation indicator were revealed - the frequency of cells with two nuclei (1.6 times), as well as the destruction indicators - karyorrhexis (4.5 times more often in nonsmokers and 8.2 times more often in smokers who work with pesticides) and karyolysis (the frequency of cells with initial karyolysis was increased by 3.4 times and 3.2 times with complete karyolysis). The index of accumulation of damage was shown to be 4 times higher.

**Conclusion.** The obtained data indicate an increased risk of damage to the genetic apparatus of cells in persons whose professional activities are associated with testing and using pesticides.

**Keywords:** *buccal epithelium; cytomorphological abnormalities; pesticides*

**For citation:** Ilyushina N.A., Makarova M.A., Demidova Y.V., Ilyushin A.G., Egorova O.V., Bereznyak I.V., Revazova Y.A. Cytogenetic analysis in exfoliated buccal epithelial cells of the workers who come into contact with pesticides. *Toksikologicheskii vestnik (Toxicological Review)*. 2021; 29(4): 22-29. DOI: <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-4-22-29> (In Russian)

**For correspondence:** Nataliya A. Ilyushina, Doctor of Biological Science, Head of the department of genetic toxicology, FBES "Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Mytishchi, Moscow region, Russian Federation. E-mail: [ilyushinana@fferisman.ru](mailto:ilyushinana@fferisman.ru)

## Information about the authors:

Ilyushina N.A., <https://orcid.org/0000-0001-9122-9465>; Scopus Author ID – 6603049459

Demidova Y.V., <https://orcid.org/0000-0002-5356-2600>;

Makarova M.A., <https://orcid.org/0000-0002-1781-8920>;

Ilyushin A.G., <https://orcid.org/0000-0002-6545-982X>;

Egorova O.V., <https://orcid.org/0000-0003-4748-8771>; Scopus Author ID: 57191422037

Bereznyak I.V., <https://orcid.org/0000-0001-9501-092X>; Scopus Author ID: 6505801582

Revazova Y.A., <https://orcid.org/0000-0001-5067-5469>; Scopus Author ID: 6602245454

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Author contribution:** *Ilyushina N.A.* – the concept and design of the study, the processing and analysis of the material, literature search, writing a text; *Demidova Y.V.* – the collection and statistical analysis; *Makarova M.A.* – the collection and processing of the material; *Ilyushin A.G.* – the collection and processing of the material; *Egorova O.V.* – analysis of the material and writing a text; *Bereznyak I.V.* – the collection and processing of the material; *Revazova Y.A.* – critical revision of the article. *All co-authors* – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: June 8, 2021 / Accepted: July 29, 2021 / Published: August 30, 2021

## Введение

В связи с возрастающими объёмами поступающих в окружающую среду токсичных веществ, в том числе генотоксикантов, и ростом генетического груза в популяциях человека возникает необходимость в проведении исследований по выявлению территорий с высокими уровнями загрязнителей, определению групп риска среди людей, проживающих на таких территориях, а также среди лиц, работающих во вредных условиях производства. Для определения реального генетического риска проводят эпидемиологические исследования, в ходе которых оценивают повреждения наследственных структур в клетках человека в основном в лимфоцитах периферической крови и буккальных эпителиоцитах.

Анализ эксфолиативных клеток ротовой полости является неинвазивным, доступным и информативным методом. В ряде исследований показано, что неблагоприятные факторы окружающей среды приводят к повышению уровня цитогенетических нарушений в клетках буккального эпителия [1–9].

Следует отметить, что подавляющая доля работ, в которых анализ клеток буккального эпителия использован для оценки генотоксического действия факторов среды, относится к изучению последствий экспозиции с ксенобиотиками в промышленных зонах. Гораздо меньше публикаций посвящено изучению воздействия средств защиты растений на людей, проживающих в сельскохозяйственных зонах, и лиц, непосредственно занятых в производстве и применении пестицидов. В тоже время в ряде эпидемиологических исследований с применением других методов исследования (метод ДНК-комет, учёт хромосомных aberrаций и сестринских хроматидных обменов в лимфоцитах периферической крови и других) получены результаты, свидетельствующие о повышенном уровне нарушений генетических структур в клетках человека в результате воздействия пестицидов [10–15].

*Цель исследования* – изучение цитогенетических и цитоморфологических нарушений в эксфолиативных клетках буккального эпителия у лиц, контактирующих с пестицидами при осуществлении их профессиональной деятельности.

## Материал и методы

Материалом являлись образцы буккального эпителия, взятые у добровольцев. Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора. Всего в исследовании приняли участие 69 человек: 28 – в контрольной группе (офисные работники) и 41 – в группе лиц, контактирующих с пестицидами в процессе профессиональной деятельности (научные работники, которые проводят токсиколого-гигиеническую оценку пестицидов, и операторы, производившие обработку полей). На момент взятия образцов участники в экспериментальной группе подвергались экспозиции с пестицидами не менее 3 мес. Все участники были проинформированы о целях и методах исследования, а также дали письменное согласие на предоставление образца клеток буккального эпителия для выполнения анализа. В исследовании принимали участие лица, которые, согласно анкетам, не имели хронических заболеваний, не принимали лекарственных препаратов и не посещали стоматолога на протяжении оцениваемого периода работы с пестицидами. Отдельно оценивали вклад курения и выделяли группы курящих и некурящих лиц, так как известно, что этот фактор вызывает цитогенетические нарушения в клетках буккального эпителия. Общая характеристика групп в исследовании приведена в табл. 1.

Клетки собирали с внутренней стороны щеки с помощью стерильной цитологической щеточки в конические пробирки объемом 15 мл, содержащие 6 мл стерильного 0,9% раствора NaCl. Пробирки центрифугировали при 1000–1500 об/мин в течение 10 мин. После удаления надосадка осадок суспендировали в остатке жидкости. На предварительно подогретое стекло (30 °С) наносили каплю суспензии клеток (примерно 15 мкл), делали мазок, сушили при комнатной температуре, фиксировали раствором Кларка (этанол/ледяная уксусная кислота в соотношении 3/1). Окраску ядер проводили ацетоорсеином и 1% раствором светлого зелёного, промывали дистиллированной водой и сушили при комнатной температуре. Анализ микропрепаратов проводили с помощью микроскопа Nikon Eclipse Ci-L (Япония), оснащённого видеокамерой. Анализировали 2000 клеток

Таблица 1 / Table 1

**Характеристика групп в исследовании**  
**Characteristics of the study groups**

Пол	Возраст участников в группах, годы						Всего, n
	некурящие			курящие			
	n	среднее ± SD	диапазон	n	среднее ± SD	диапазон	
<i>Лица, не контактирующие с пестицидами</i>							
Женщины	12	36,5 ± 12,5	22–57	9	35,9 ± 11,0	19–54	21
Мужчины	3	38,7 ± 23,8	23–60	4	29,3 ± 7,2	23–36	7
Всего	15	36,9 ± 14,3	22–60	13	33,9 ± 10,2	19–54	28
<i>Лица, контактирующие с пестицидами</i>							
Женщины	15	46,1 ± 10,7	24–62	3	42,7 ± 16,4	24–55	18
Мужчины	13	34,3 ± 10,5	24–59	10	37,6 ± 10,4	23–60	23
Всего	28	40,6 ± 12,0	24–62	13	38,8 ± 11,5	23–60	41

Примечание. n – число участников; SD – стандартное отклонение.

от каждого человека, оценивая отдельно лежащие неповреждённые клетки. Учитывали следующие показатели: цитогенетические (микроядра, протрузии ядер, атипичную форму ядер, межъядерные мосты), показатели пролиферации клеток (клетки с двумя и более ядрами, клетки со сдвоенными ядрами), ранней стадии деструкции ядер (конденсацию хроматина, перинуклеарные вакуоли, вакуолизацию ядра, нарушение ядерной мембраны, начальный кариолизис), поздней стадии деструкции ядер (кариорексис, кариопикноз, полный кариолизис) [4, 16].

Показатели выражали в промилле. Статистический анализ результатов исследования проводили с помощью программы SPSS Statistics v. 22.0 (Корпорация IBM, Нью Йорк, США) при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Для проверки нормальности распределения данных использовали критерий Шапиро–Уилка. Равность дисперсий проверяли с помощью критерия Ливиня. Сравнения между группами по параметрам «клетки с вакуолизацией ядра», «клетки с конденсацией хроматина» и «показатели начальной деструкции» осуществляли, с помощью дисперсионного анализа с поправкой Бонферрони. Сравнения по остальным параметрам проводили с использованием непараметрического критерия Краскала–Уоллиса ( $\alpha = 0,05$ ).

**Результаты и обсуждение**

Результаты цитоморфологического анализа буккальных эпителиоцитов участников исследования приведены в табл. 2.

У лиц, подвергающихся воздействию пестицидов, было отмечено повышение частоты цитогенетических аномалий в эксфолиативных клетках по сравнению с контрольной группой. В 2,2 раза была повышена частота встречаемости клеток с микроядрами и с протрузиями. При сравнении показателей у курящих и некурящих людей в группах без контакта с пестицидами также было выявлено повышение цитогенетических показателей (микроядра и протрузии) в группе курящих, но в несколько меньшей степени, чем после экспозиции с пестицидами: частота клеток с микроядрами была повышена в 1,7 раза, а частота клеток с протрузиями в 1,9 раза. Атипичная форма ядер, причиной которой, как считают некоторые авторы [3], являются хромосомные мутации, также чаще наблюдалась после воздействия пестицидов – в 2,5 раза. Однако различия в цитогенетических показателях между группами были статистически незначимы, вероятно, в связи с недостаточно большим объёмом выборки при таких редких событиях, которыми являются образование микроядер и протрузий. Однако выявленная в настоящем исследовании тенденция к повышению уровня цитогенетических нарушений может свидетельствовать о неблагоприятном воздействии пестицидов, с которыми контактируют работники сельского хозяйства и токсикологи, на генетические структуры.

Признаки нарушения пролиферации клеток (сумма клеток с двумя и более ядрами), также чаще регистрировались в группе лиц, работающих с пестицидами. Причем различия были статистически значимыми ( $p < 0,05$ ).



Таблица 2 / Table 2

**Особенности цитоморфологии клеток буккального эпителия у лиц, контактирующих с пестицидами при осуществлении своей профессиональной деятельности (экспозиция), и лиц, не подвергающихся непосредственному воздействию пестицидов**

**Citomorphic features of buccae epithelial cells in persons who come into contact with in their professional activities (exposure), and persons not directly exposed to pesticides**

Цитоморфологические показатели	Средние значения частоты клеток с цитоморфологическими изменениями, $M \pm m$ (‰)				Результаты сравнения групп непараметрическим критерием Краскала-Уоллиса ( $\alpha = 0,05$ ), $p$
	без экспозиции		экспозиция		
	некурящие, $n = 15$	курящие, $n = 13$	некурящие, $n = 28$	курящие, $n = 13$	
<b>Цитогенетические показатели</b>					
Клетки с микроядрами	0,30 ± 0,12	0,50 ± 0,18	0,67 ± 0,12	0,59 ± 0,11	> 0,05
Протрузии	0,43 ± 0,19	0,81 ± 0,36	0,96 ± 0,20	0,92 ± 0,61	> 0,05
Сумма клеток с цитогенетическими повреждениями (микроядрами + протрузии)	0,73 ± 0,20	1,31 ± 0,35	1,63 ± 0,21	1,51 ± 0,19	> 0,05
Атипичная форма ядра	0,25 ± 0,13	0,08 ± 0,05	0,62 ± 0,29	0,19 ± 0,12	> 0,05
<b>Показатели пролиферации</b>					
Двухядерные клетки	2,43 ± 0,46	2,88 ± 0,33	3,99 ± 0,33	3,09 ± 0,53	0,021 <sup>HH</sup>
Клетки со сдвоенными ядрами	0,80 ± 0,22	1,73 ± 0,43	1,57 ± 0,23	1,31 ± 0,21	> 0,05
Клетки с тремя и более ядрами	0	0,04 ± 0,04	0,06 ± 0,03	0,04 ± 0,04	> 0,05
Показатель пролиферации (сумма клеток с двумя и более ядрами)	3,23 ± 0,53	4,65 ± 0,66	5,59 ± 0,43	4,23 ± 0,68	0,012 <sup>HH</sup>
<b>Показатели ранней стадии деструкции ядра</b>					
Клетки с перинуклеарной вакуолью	1,57 ± 0,48	2,88 ± 0,68	3,08 ± 0,58	3,21 ± 0,74	> 0,05
Клетки с вакуализацией ядра	120,89 ± 21,73	149,77 ± 20,46	171,72 ± 11,50	152,83 ± 11,89	> 0,05
Клетки с начальным кариолизисом	5,53 ± 2,02	3,35 ± 1,42	18,63 ± 3,39	16,00 ± 2,85	0,009 <sup>HH</sup> 0,000 <sup>HK</sup> 0,002 <sup>KK</sup> 0,021 <sup>KH</sup>
Клетки с конденсацией хроматина	121,53 ± 14,06	140,92 ± 15,41	97,69 ± 6,81	88,08 ± 11,15	0,035 <sup>HK</sup>
Суммарный показатель начальной деструкции	241,47 ± 31,60	269,92 ± 27,46	228,94 ± 15,95	250,12 ± 15,67	> 0,05
Клетки с повреждением кариолеммы	6,47 ± 4,16	6,65 ± 3,44	5,01 ± 1,49	4,44 ± 1,55	> 0,05
Клетки с кариорексисом	0,23 ± 0,17	0,31 ± 0,20	1,04 ± 0,55	1,88 ± 0,62	0,006 <sup>KH</sup> 0,019 <sup>KK</sup>
Клетки с кариопикнозом	1,70 ± 0,61	2,15 ± 0,60	2,39 ± 0,42	2,52 ± 0,62	> 0,05
Клетки с полным кариолизисом	2,37 ± 0,97	0,81 ± 0,54	7,71 ± 4,54	9,37 ± 4,22	0,003 <sup>HK</sup> 0,004 <sup>KK</sup>
Клетки с апоптотическими телами	33,13 ± 10,19	15,00 ± 5,73	24,89 ± 5,26	13,10 ± 5,64	> 0,05
Показатель конечной деструкции	43,90 ± 10,76	24,92 ± 7,66	41,04 ± 7,57	31,31 ± 11,56	> 0,05
Базальные клетки	0	0	0,30 ± 0,13	0,04 ± 0,04	> 0,05

Примечание. <sup>HH</sup> – значимое отличие группы с экспозицией (некурящие) от контроля (некурящие);  
<sup>HK</sup> – значимое отличие группы с экспозицией (некурящие) от контроля (курящие);  
<sup>KK</sup> – значимое отличие группы с экспозицией (курящие) от контроля (курящие);  
<sup>KH</sup> – значимое отличие группы с экспозицией (курящие) от контроля (некурящие).

Таблица 3 / Table 3

**Индексы цитогенетического действия, пролиферации, апоптоза и накопления цитогенетических повреждений в клетках буккального эпителия**  
**Indices of cytogenetic action, proliferation, apoptosis and accumulation of cytogenetic damage in buccal epithelial cells**

Группа	Индекс цитогенетических нарушений $I_c$	Индекс пролиферации $I_p$	Апоптотический индекс $I_{ароп}$	Индекс накопления цитогенетических повреждений $I_{ac}$
Контрольная группа	0,73	3,23	164,66	1,43
Без экспозиции с пестицидами, курящие	1,31	4,65	162,54	3,75
Экспозиция, некурящие	1,63	5,59	155,43	5,86
Экспозиция, курящие	1,51	4,23	130,95	4,87

Выявленные достоверные отличия от контроля по показателям пролиферации в группе лиц, находящихся в контакте с пестицидами, могут быть следствием усиления процессов образования новых клеток, которые необходимы для замены повреждённых и погибших клеток.

Повышение такого показателя ранней деструкции ядер, как образование перинуклеарных вакуолей, показано и при воздействии пестицидов (в 2 раза) и при курении (в 1,8 раза).

Кариорексис наблюдали в 4,5 раза чаще у некурящих лиц и в 8,2 раза у курящих, работающих с пестицидами. Отмечена статистическая достоверность повышения частоты клеток с начальным и полным кариолизисом после экспозиции с пестицидами.

Обнаруженное у лиц, работающих с пестицидами, повышение уровня образования перинуклеарных вакуолей и небольшое усиление вакуолизации ядер, которые считают признаками некроза [2], свидетельствуют об увеличении вклада некротического пути в деструкцию клеток при действии пестицидов. С другой стороны, в экспериментальной группе увеличивалась доля клеток с кариопикнозом и кариорексисом, частота которых обычно увеличивается при апоптозе. Таким образом, при воздействии пестицидов, вероятно, происходит интенсификация процессов апоптоза и повышается уровень некротических событий в клетках буккального эпителия и как следствие регистрируется статистически значимое увеличение частоты клеток с кариолизисом.

Более высокие значения конденсации хроматина были отмечены в группе без экспозиции с пестицидами. Полученный ре-

зультат согласуется с данными Мейер А.В. и соавт. [3], которые также выявили более высокое среднее значение частоты клеток с конденсированным хроматином в контрольной группе и считают, что это связано с более интенсивным обновлением буккального эпителия в этой группе.

Для оценки риска возникновения цитогенетических аномалий в эпителиоцитах в разных группах рассчитан индекс накопления цитогенетических нарушений ( $I_{ac}$  – index of accumulation of cytogenetic damage) по формуле, предложенной Сычевой Л.П. [4], представляющий собой произведение интегрального показателя цитогенетических нарушений ( $I_c$  – cytogenetic index) и интегрального показателя пролиферации ( $I_p$  – index of proliferation), делённое на апоптотический индекс ( $I_{ароп}$  – apoptotic index):

$$I_{ac} = (I_c \cdot I_p / I_{ароп}) \cdot 100,$$

где  $I_c$  – сумма клеток с микроядрами и про-  
трузиями;  $I_p$  – сумма клеток с двумя и более ядрами;  $I_{ароп}$  – сумма всех клеток в апоптозе (конденсация хроматина, кариопикноз, кариорексис, кариолизис, апоптотические тела). Сравнительные результаты приведены в табл. 3.

На основании индекса накопления цитогенетических нарушений принято классифицировать группы риска следующим образом:  $I_{ac} \leq 2$  – низкий,  $2 < I_{ac} < 4$  – умеренный,  $I_{ac} \geq 4$  – высокий уровень риска [4]. В табл. 3 показано, что индекс накопления цитогенетических нарушений оказался выше во всех группах по сравнению с контролем (без экспозиции с пестицидами, некурящие). Причём курящих лиц, не подвергавшихся экспозиции с пестицидами, можно отнести

к группе умеренного риска, тогда как после контакта с пестицидами и у некурящих и у курящих лиц значение индекса было выше 4, что свидетельствует о более высоком риске возникновения повреждений генетического аппарата.

Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными о повышении уровня клеток с микроядрами в буккальном эпителии у женщин, проживающих в сельских районах Армении, по сравнению с жительницами Еревана [17]. Авторы связывают наблюдаемые эффекты с влиянием хлорорганических пестицидов, используемых в сельском хозяйстве [17]. Цитоморфологический анализ образцов буккального эпителия у работников теплиц, подвергшихся воздействию пестицидов, показал статистически значимое повышение частоты микроядер, двуядерных клеток, пикноза и кариорексиса после экспозиции с пестицидами [18]. Castañeda-Yslas I.J. и соавт. [8] оценивали генотоксические эффекты на клетки слизистой оболочки ротовой полости женщин-фермеров (Мексика) и их детей. Показано, что частоты клеток с микроядрами и пикнотическими ядрами были повышены у женщин, занятых в сельском хозяйстве (Мексика). У детей обнаружено повышение частоты микроядер, пикноза и лизиса ядер, по сравнению с детьми, не подвергавшимися экспозиции. Авторы пришли к выводу, что для фермеров, использующих пестициды, существует риск генотоксических повреждений. Особую озабоченность вызывают данные, свидетельствующие о поражениях в эпителиоцитах детей, которые могут привести к нарушению их здоровья в будущем.

## Заключение

В исследовании цитогенетического статуса эксфолиативных клеток буккального эпителия у работников, профессиональная деятельность которых связана с тестированием и применением пестицидов, показано повышение уровня цитогенетических аномалий (микроядер, протрузий и атипичных ядер), нарушений процесса пролиферации клеток (частота двуядерных и трехядерных клеток, ядер с насечками) и показателей ранней и поздней деструкции ядер (конденсации хроматина, вакуолизации ядер, частоты перинуклеарных вакуолей, кариопикноза, кариорексиса и кариолизиса). Подтверждено неблагоприятное влияние такого фактора, как курение на клетки буккального эпителия. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о повреждении генетических структур, нарушении пролиферации клеток, интенсификации процессов апоптоза и повышении уровня некротических событий в клетках буккального эпителия после воздействия пестицидов. Повышение индекса накопления цитогенетических нарушений в 4 раза свидетельствует о повышенном риске возникновения повреждений генетического аппарата клеток у лиц, профессиональная деятельность которых связана с применением и тестированием пестицидов.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости проведения цитогенетического мониторинга населения с целью оценки безопасности среды обитания и выявления негативных последствий воздействия пестицидов на генетические структуры в клетках человека.

## ЛИТЕРАТУРА

(пп. 8–15, 18 см. в References)

1. Юрченко В.В., Подольная М.А., Ингель Ф.И., Кривцова Е.К., Беляева Н.Н., Недачин А.Е. и др. Микроядерный тест на буккальных эпителиоцитах: монография. В кн. Ю.А. Рахманин, Л.П. Сычева, ред. *Полуорганый микроядерный тест в эколого-гигиенических исследованиях*. М.: Гениус; 2007: 220-67.
2. Сычева Л. П. Биологическое значение, критерии определения и пределы варьирования полного спектра кариологических показателей при оценке цитогенетического статуса человека. *Медицинская генетика*. 2007; 6(11): 3-11.
3. Мейер А.В., Дружинин В.Г., Ларионов А.В., Толочко Т.А. Генотоксические и цитотоксические эффекты в буккальных эпителиоцитах детей, проживающих в экологически различающихся районах Кузбасса. *Цитология*. 2010; 52(4): 305-9.
4. Сычева Л.П. Цитогенетический мониторинг для оценки безопасности среды обитания человека. *Гигиена и санитария*. 2012; 6: 68-72.
5. Корсаков А.В., Трошин В.П., Михалев В.П., Жилин А.В., Жилина О.В., Воробьева Д.А. и др. Влияние комплекса техногенных факторов среды обитания на частоту цитогенетических нарушений в буккальном эпителии детей младшего школьного возраста. *Вестник Московского университета. Серия 23. Антропология*. 2012; 1: 110-8.
6. Волкова А.Т., Целоусова О.С., Потапова И.А. Цитогенетический мониторинг риска воздействия окружающей среды на здоровье жителей Республики Башкортостан. *Анализ риска здоровью*. 2014; 3: 56-60.
7. Ингель Ф.И., Юрченко В.В., Кривцова Е.К., Юрцева Н.А., Легостаева Т.Б. Цитомный анализ эпителия слизистой оболочки щеки в комплексном генетико-гигиеническом обследовании детей в промышленном городе. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(10): 969 - 73.
16. Юрченко В.В., Кривцова Е.К., Подольная М.А., Ревазова Ю.А., Зыкова И.Е. Использование микроядерного теста на эпителии слизистой оболочки щеки человека. *Гигиена и санитария*. 2008; 6: 53-6.
17. Майрапетян А.Х., Залинян Г.Г., Татевосян Н.С., Геворкян А.Л., Парсаданян Г.Г. Микроядерный тест как индикатор эффекта действия хлорорганических пестицидов. *Ученые записки ЕГУ*. 2008; 2(2)16: 153– 5.

## REFERENCES

1. Yurchenko V.V., Podolnaya M.A., Ingel F.I., Krivcova E.K., Belyaeva N.N., Nedachin A.E. et al. Micronucleus test to the buccal epithelial cells. In: *Rahmanin Yu.A., Sycheva L.P., eds. Multi-organ micronuclear test in ecological and hygienic research [Poliorgannyy mikroyadernyy test v ekologo-gigienicheskikh issledovaniyakh]*. Moscow: Genius; 2007: 220-67. (In Russian)
2. Sycheva L.P. Biological value, scoring criteria and limits of a variation of a full spectrum karyological indexes of exfoliated cells for estimation of human cytogenetic status. *Meditsinskaya genetika*. 2007; 6 (11): 3-11. (In Russian)
3. Meyer A.V., Druzhinin V.G., Larionov A.V., Tolochko T.A. Genotoxic and cytotoxic effects in buccal cells of children living in ecologically different Kuzbass areas. *Citologiya*. 2010; 52(4): 305-9. (In Russian)
4. Sycheva L.P. Cytogenetic monitoring for assessment of safety of environmental health. *Gigiena i sanitariya*. 2012; 6: 68-72. (In Russian)
5. Korsakov A.V., Troshin V.P., Mikhalev V.P., Zhilin A.V., Zhilina O.V., Vorobyova D.A. et al. Influence of complex of technogenic environmental factors on frequency of cytogenetic abnormalities in buccal epithelium of children of younger school age. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 23. Antropologiya*. 2012; 1: 110-8. (In Russian)
6. Ingel F.I., Yurchenko V.V., Krivtsova E.K., Urtseva N.A., Legostaeva T.B. Buccal micronucleus cytome assay in complex genetic-hygienic study of preschool children. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 95(10): 969-73. (In Russian)
7. Castañeda-Yslas D.J., Arellano-García M.E., García-Zarate M.A., Ruiz-Ruiz B., Zavala-Cerna M.G., Torres-Bugari O. Biomonitoring with micronuclei test in buccal cells of female farmers and children exposed to pesticides of Maneadero Agricultural Valley, Baja California, Mexico. *J Toxicol*. 2016; Article ID 7934257
8. Panico A., T., Bagordo F., Idolo A., Serio F., Tumolo M.R., De Giorgi M. et al. Micronucleus Frequency in Exfoliated Buccal Cells of Children Living in an Industrialized Area of Apulia (Italy). *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(4): 1208-26.
9. Remor A.P., Totti C.C., Moreira D.A., Dutra G.P., Heuser V.D., Boeira J.M. Occupational exposure of farm workers to pesticides: biochemical parameters and evaluation of genotoxicity. *Environ. Int.* 2009; 35(2): 273-8.
10. Perumalla Venkata R., Rahman M.F., Mahboob M., Indu Kumari S., Chinde S., Bhanuramya M. et al. Assessment of genotoxicity in female agricultural workers exposed to pesticides. *Biomarkers*. 2017; 22(5): 446-54.
11. Hazarika R., Deka P. Assessment of DNA damage in agricultural workers exposed to mixture of pesticides in Assam (India). *Nat Environ Poll Technology*. 2017; 16(4): 1081-6.
12. Ali T., Ismail M., Asad F., Ashraf A., Waheed U., Khan Q.M. Pesticide genotoxicity in cotton picking women in Pakistan evaluated using comet assay. *Drug Chem Toxicol*. 2018; 41(2): 213-20.
13. Kahl V., Dhillon V., Fenech M., de Souza M., da Silva F., Marroni N. et al. Occupational exposure to pesticides in tobacco fields: the integrated evaluation of nutritional intake and susceptibility on genomic and epigenetic instability. *Oxid Med Cell Longev*. 2018; 2018: 1-13.
14. Ahmadi N., Mandegary A., Jamshidzadeh A., Mohammadi-Sardoo M., Mohammadi-Sardoo M., Salari E. et al. Hematological abnormality, oxidative stress, and genotoxicity induction in the greenhouse pesticide sprayers; investigating the role of NQO1 gene polymorphism. *Toxics*. 2018; 6(1): 1-15.
15. Yurchenko V.V., Krivtsova Ye.K., Podolnaya M.A., Revazova Yu.A., Zykova I.Ye. Use of micronuclear test to the human buccal mucosal epithelium. *Gigiena i sanitariya*. 2008; 6: 53-6. (In Russian)
16. Mayrapetyan A.Kh., Zalinyan G.G., Tadevosyan N.S., Gevorkyan A.L., Parsadanyan G.G. Micronucleus test as an indicator of organochlorine pesticides effect. *Uchenye zapiski EGU*. 2008; 2(216): 153-5. (In Russian)
17. Cobanoglu H., Coskun M., Coskun M., Çayır A. Results of buccal micronucleus cytome assay in pesticide-exposed and non-exposed group. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2019; 26(19): 19676-83.

## ОБ АВТОРАХ:

**Илюшина Наталия Алексеевна (Ilyushina Nataliya Alekseyevna)**, доктор биологических наук, заведующая отделом генетической токсикологии ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф.Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи Московской области. E-mail: [ilyushinana@fferismana.ru](mailto:ilyushinana@fferismana.ru)

**Демидова Юлия Вячеславовна (Demidova Yulia Vyacheslavovna)**, младший научный сотрудник отдела генетической токсикологии ФБУН «ФНЦГ им.Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи Московской области. E-mail: [demidovaiv@fferismana.ru](mailto:demidovaiv@fferismana.ru)

**Макарова Марий Александровна (Makarova Mariya Alexandrovna)**, младший научный сотрудник отдела генетической токсикологии ФБУН «ФНЦГ им.Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи Московской области. E-mail: [Mary.makar.20@gmail.com](mailto:Mary.makar.20@gmail.com).

**Илюшин Алексей Григорьевич (Ilyushin Alexey Grigoryevich)**, техник отдела гигиены труда ФБУН «ФНЦГ им.Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи Московской области. E-mail: [ilyushinag@fferismana.ru](mailto:ilyushinag@fferismana.ru)

**Егорова Ольга Валерьевна (Egorova Olga Valerievna)**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела генетической токсикологии ФБУН «ФНЦГ им.Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи Московской области. E-mail: [egorovaov@fferismana.ru](mailto:egorovaov@fferismana.ru)

**Березняк Ирина Владиславовна (Bereznyak Irina Vladislavovna)**, доктор медицинских наук, профессор, заведующая отделом гигиены труда ФБУН «ФНЦГ им.Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи Московской области. E-mail: [berezniakiv@fferismana.ru](mailto:berezniakiv@fferismana.ru)

**Ревазова Юлия Анатольевна (Revazova Yulia Anatolievna)**, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела генетической токсикологии ФБУН «ФНЦГ им.Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи Московской области. E-mail: [revazova013@gmail.com](mailto:revazova013@gmail.com)

