

Домахина А.С.¹, Корсаков А.В.¹, Трошин В.П.², Милушкина О.Ю.¹,
Пивоваров Ю.П.¹, Королик В.В.¹

Сравнительная оценка цитогенетических нарушений, показателей пролиферации и деструкции ядра в клетках влагалищного и буккального эпителия у беременных женщин, проживающих на экологически неблагополучных территориях

¹ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, 117997, Москва, Россия;

²ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», 241035, Брянск, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Техногенное воздействие на биосферу стало одним из значимых факторов, диктующих условия существования на Земле. Загрязняющие вещества различной природы постоянно ухудшают экологическую обстановку и зачастую наносят непоправимый вред здоровью населения.

Цель исследования — провести сравнительный анализ частоты цитогенетических нарушений, показателей пролиферации и деструкции ядра во влагалищном и буккальном эпителии беременных женщин 26–33 лет, проживающих в условиях радиационного, химического и сочетанного загрязнения территории Брянской области.

Материалы и методы. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году», микроядерный тест, критерий Шаниро — Уилка, U-критерий Манна — Уитни.

Результаты. Частота цитогенетических аномалий, показателей нарушения пролиферации и деструкции ядра во влагалищном эпителии беременных женщин 28–33 лет, проживающих на территориях радиоактивного, химического и сочетанного загрязнения окружающей среды, в 1,3–4,9 раза выше ($p < 0,01$ – $0,001$), а в буккальном эпителии — в 1,6–7,8 раза выше ($p < 0,001$) в сравнении с экологически благополучными (контрольными) районами. У беременных женщин, проживающих в районах сочетанного влияния радиационного и химического загрязнения, наблюдалась существенно более высокая частота клеток с микроядрами, протрузиями, двуядерных клеток, клеток со сдвоенными ядрами (увеличение от 12,8 до 81,4% во влагалищном эпителии и от 22,6% до 2,3 раза в буккальном эпителии), а также клеток с кариопикнозом и кариолизисом по сравнению с аналогичными показателями у женщин, проживающих в районах с единственным фактором загрязнения.

Ограничения исследования. Не анализировали социально-экономические факторы, состояние здоровья новорождённых и статистические данные о деторождении в городах и районах Брянской области.

Заключение. Полученные результаты указывают, по всей вероятности, на синергетическое воздействие радиационного и химического факторов на цитогенетический статус беременных женщин.

Ключевые слова: беременные женщины; цитогенетические нарушения; показатели нарушения пролиферации; деструкция ядра; влагалищный и буккальный эпителий; микроядерный тест; химическое загрязнение; радиоактивное загрязнение; сочетанное загрязнение; Чернобыльская катастрофа; Брянская область

Соблюдение этических стандартов. Каждая из обследованных женщин дала добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Для цитирования: Домахина А.С., Корсаков А.В., Трошин В.П., Милушкина О.Ю., Пивоваров Ю.П., Королик В.В. Сравнительная оценка цитогенетических нарушений, показателей пролиферации и деструкции ядра в клетках влагалищного и буккального эпителия у беременных женщин, проживающих на экологически неблагополучных территориях. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(2): 137–145. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-2-137-145> <https://elibrary.ru/eyqxrc>

Для корреспонденции: Домахина Александра Сергеевна, e-mail: domahinasasha@yandex.ru

Участие авторов: Домахина А.С. — проведение цитомного анализа, анализ данных литературы, статистическая обработка, написание текста; Корсаков А.В. — концепция и дизайн исследования, интерпретация результатов, анализ данных литературы, написание текста, редактирование; Трошин В.П. — проведение цитомного анализа, анализ и интерпретация данных, написание текста, редактирование; Милушкина О.Ю., Пивоваров Ю.П., Королик В.В. — интерпретация результатов, написание текста, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 14.04.2024 / Поступила после доработки: 10.09.2024 / Принята к печати: 03.12.2024 / Опубликовано: 07.03.2025

Alexandra S. Domakhina¹, Anton V. Korsakov¹, Vladislav P. Troshin², Olga Yu. Milushkina¹, Yuri P. Pivovarov¹, Viktor V. Korolik¹

Comparative assessment of cytogenetic disorders, indicators of proliferation and destruction of the nucleus in the cells of the vaginal and buccal epithelium in pregnant women living in environmentally unfavourable territories

¹Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, 117997, Russian Federation;

²Bryansk State Technical University, Bryansk, 241035, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Many pollutants of various natures constantly worsen the environmental situation, thereby causing irreparable harm to the health of the population. Technogenic impact on the biosphere has become one of the significant factors dictating our conditions of existence on Earth.

Purpose of the study. To conduct a comparative analysis of the frequency of cytogenetic disorders, proliferation indicators and nuclear destruction in the vaginal and buccal epithelium in 26–33 years pregnant women living in conditions of radiation, chemical, and combined contamination of the Bryansk region.

Materials and methods. State Report “On the State and Environmental Protection of the Russian Federation micronucleus test, Shapiro–Wilk test, Mann–Whitney U test.

Results. The frequency of cytogenetic disorders, indicators of proliferation and destruction of the nucleus in the vaginal epithelium in 28–33 years pregnant women living in areas of radioactive, chemical, and combined environmental pollution is 1.3–4.9 times higher ($p < 0.01$ – 0.001), and in the buccal epithelium it is 1.6–7.8 times higher ($p < 0.001$) in comparison with environmentally safe (control) areas. The combined influence of radioactive contamination and chemical pollution led to a significantly higher (increase from 12.8% to 81.4% in the vaginal epithelium and from 22.6% to 2.3 times in the buccal epithelium) frequency of cells with micronuclei, protrusions, binucleate cells, cells with a double nucleus, as well as cells with karyopyknosis and karyolysis in pregnant women compared to areas where there is only one pollution factor.

Limitations. We did not analyze socio-economic factors, the health status of newborns, and statistical data on childbirth in the cities and districts of the Bryansk region.

Conclusion. The obtained results indicate, with all likelihood, the synergistic nature of the effects of radiation and chemical factors on the cytogenetic status in pregnant women.

Keywords: pregnant women; cytogenetic disorders; indicators of proliferation disorders; destruction of the nucleus; vaginal and buccal epithelium; micronucleus test; chemical pollution; radioactive contamination; combined contamination; Chernobyl disaster; Bryansk region

Compliance with ethical standards. At the beginning of the study, informed voluntary consents were obtained from each patient.

For citation: Domakhina A.S., Korsakov A.V., Troshin V.P., Milushkina O.Yu., Pivovarov Yu. P., Korolik V.V. Comparative assessment of cytogenetic disorders, indicators of proliferation and destruction of the nucleus in the cells of the vaginal and buccal epithelium in pregnant women living in environmentally unfavourable territories. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(1): 137–145. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-137-145> (In Russ.) <https://elibrary.ru/eyqxrc>

For correspondence: Alexandra S. Domakhina, e-mail: domahinasasha@yandex.ru

Contribution: Domakhina A.S. – cytomic analysis, analysis of literary data, statistical processing, writing text; Korsakov A.V. – concept and design of the study, interpretation of the results, analysis of literary data, writing text, editing; Troshin V.P. – cytomic analysis, data analysis and interpretation, writing text, editing; Milushkina O.Y., Pivovarov Yu. P., Korolik V.V. – interpretation of the results, writing text, editing. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: April 14, 2024 / Revised: September 10, 2024 / Accepted: December 3, 2024 / Published: March 7, 2025

Введение

Техногенное воздействие на биосферу стало одним из значимых факторов, диктующих условия существования на Земле. Загрязняющие вещества различной природы (поллютанты) постоянно ухудшают экологическую обстановку и зачастую наносят непоправимый вред здоровью населения [1–3]. Значимые радиационные аварии и катастрофы второй половины XX и начала XXI века (Кыштымская, Уиндсейл, Ленинградская, Три-Майл-Айленд, Сен-Лоран-дез-О, Чернобыль, Фукусима) внесли в биосферу огромное количество техногенных радионуклидов [4–6].

В результате Чернобыльской катастрофы, произошедшей 37 лет назад, огромные территории, на которых проживает более 5 млн человек, оказались загрязнены [5–8]. Так, на юго-западных территориях (ЮЗТ) Брянской области плотность радиоактивного загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr до сих пор превышает установленные критерии отнесения территорий к зонам радиоактивного загрязнения [9], при этом накопленные эффективные дозы облучения населения спустя почти четыре десятилетия после аварии колеблются в диапазоне от единиц до сотен мЗв [10].

В Брянском регионе отмечается увеличение выбросов в атмосферный воздух газообразных и твёрдых поллютантов: оксида углерода, диоксида серы, оксидов азота и летучих органических соединений (ЛОС)¹. Большая часть населения области испытывает на себе повышенную радиационную нагрузку и влияние загрязнений атмосферного воздуха, что приводит к росту заболеваемости [11]. Такая экологическая обстановка может создать реальную угрозу увеличения популяционного груза [12]. По данным [13], у населения, проживающего на урбанизированных территориях, индекс накопления цитогенетических нарушений существенно превышает показатели сельских жителей, однако наиболее чувствительной группой к воздействию неблагоприятных факторов среды были и остаются беременные женщины [14–18]. По данным литературы, поллютанты атмосферного воздуха (фенол, формальдегид, тяжёлые металлы) [14–17], радиационное загрязнение [18, 19] приводят к увеличению частоты

¹ Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году». М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова. 2023. 686 с. Государственный доклад 2022 (ecology-gosdoklad.ru) (дата обращения: 03.03.2024 г.).

соматических патологий беременных, усугублению течения беременности и способны вызывать эмбрио- и фетотоксические эффекты.

Для цитогенетического мониторинга давно применяется микроядерный тест, зарекомендовавший себя как надёжный и простой способ оценки цитогенетических нарушений [20, 21]. Тест позволяет оценивать не только микроядра, но и состояния ядра в эксфолиативных клетках по показателям пролиферации, деструкции ядра и цитогенетическим нарушениям [22–28].

Таким образом, изучение цитогенетического статуса беременных женщин, проживающих в условиях многофакторного воздействия факторов окружающей среды, чрезвычайно важно не только в решении задач гигиены окружающей среды и медицинской экологии, но и для практического здравоохранения.

Материалы и методы

Нами проведено ранжирование территорий Брянской области на основе уровней химического загрязнения атмосферного воздуха различными газообразными поллютантами, радиоактивного загрязнения, уровня сочетанного загрязнения (радиационного и химического) и выделена группа экологически благополучных территорий. Определены четыре группы территорий для проведения исследования. Исследования цитогенетического статуса беременных женщин выполняли на базе областного перинатального центра Брянской городской больницы № 1, используя микроядерный тест [20–28] клеток влагалищного и буккального эпителия. Материал получал акушер-гинеколог в присутствии первого автора статьи. В дальнейшем материал транспортировали в лабораторию, где и проводили исследования.

Всего обследованы 80 беременных женщин. Сформированы четыре группы по 20 женщин в возрасте от 26 до 33 лет, одного срока гестации (27–33 нед), не имеющие хронической соматической патологии. В ходе исследования контролировали течение беременности, родов и раннего неонатального периода. Все обследованные женщины не имели осложнений беременности, у 60 из 80 роды протекали естественно, у 20 — с помощью кесарева сечения. У всех обследованных родились здоровые дети с оценкой по шкале Апгар от 7 до 9 баллов. Ранний неонатальный период у всех новорождённых протекал без осложнений.

Образцы влагалищного эпителия получали с помощью урогенитального зонда «ЦервексБраш» с последующим помещением его в пробирку со специальной средой, а буккального — деревянным стерильным шпателем. Цитологические препараты влагалищного эпителия изготавливали при помощи метода осаждения. Все препараты окрашивали по Квику (модификация окраски по Романовскому), так как данная модификация позволила получить более качественные препараты благодаря регулированию усиления цвета ослабления эозинофильного или базофильного окрашивания. Расчёт данных проводили на 1000 клеток. Всего проанализировано около 245 тыс. клеток (125 тыс. клеток во влагалищном эпителии и 120 тыс. клеток — в буккальном).

На основании методических рекомендаций ФМБА России [29] в мазках подсчитали: 1) цитогенетические нарушения (доля клеток с микроядрами и протрузиями); 2) показатели нарушения пролиферации (доля клеток с двумя ядрами, доля клеток с тремя и более ядрами, доля клеток со сдвоенными ядрами); 3) показатели деструкции ядра (доля клеток с кариопикнозом, кариорексисом и завершённым кариолизисом). Также подсчитывали суммарную долю клеток с цитогенетическими нарушениями (микроядрами и протрузиями) и суммарный показатель нарушения пролиферации (сумма двуядерных клеток, клеток с тремя и более ядрами и сдвоенными ядрами).

Оценку плотности радиоактивного загрязнения территорий ^{137}Cs и ^{90}Sr осуществляли по данным [9], средних накоплен-

ных эффективных доз облучения (СГЭД₉₀) — по данным [30], уровня химического загрязнения газообразными поллютантами — по данным [8] за период 2010–2019 гг. Пересчёт выбросов химических веществ в атмосферный воздух (т/год) производили на площадь района (км²) в (г/м²) [8].

С использованием критерия Шапиро — Уилка определяли нормальность распределения данных. *U*-критерий Манна — Уитни использован для проверки статистической значимости различий.

Результаты

Загрязнение атмосферного воздуха ЛОС, NO_x, SO₂ и CO в четырёх группах районов отличается в сотни и даже тысячи раз (табл. 1). При этом превышение ПДК в атмосферном воздухе населённых пунктов установлено только в Брянске (48% населения подвергаются воздействию ИЗА > 7)¹.

На экологически благополучных территориях максимальный показатель валовых выбросов газообразных поллютантов на площадь района (г/м²) составляет 122 г/м², тогда как на территориях химического загрязнения сумма достигает максимальных значений — 30 462 г/м². На территориях радиоактивного загрязнения сумма газообразных поллютантов крайне незначительна и составляет 13–16 г/м². В районах сочетанного воздействия уровень загрязнения газообразными поллютантами составляет от 281 до 441 г/м², что превышает показатель радиоактивно загрязнённых районов в 22–27 раз (см. табл. 1). Уровень загрязнения оксидом углерода на территориях химического воздействия колеблется от 2181 до 12 542 г/м², SO₂ — от 198 до 2019, NO_x — от 3809 до 8230 и ЛОС — от 365 до 7671 г/м². В радиоактивно загрязнённых районах значения минимальны (от 0 по SO₂ и до 7 г/м² по CO), на территориях сочетанного загрязнения показатели варьируются от 0 по SO₂ и до 154 г/м² по CO, а в контрольных районах — от 0 до 53 г/м² (см. табл. 1).

В контрольных (экологически благополучных) районах плотность радиоактивного загрязнения ^{137}Cs колеблется от 4,7 до 16,7 кБк/м², на территориях химического загрязнения — от 7,8 до 34 кБк/м². На радиоактивно загрязнённых территориях средняя плотность содержания ^{137}Cs в 31,7 раза выше, чем на благополучных территориях (317 и 10 кБк/м²), и в 15,2 раза выше, чем на территориях химического загрязнения (317 и 20,9 кБк/м²), что превышает допустимые значения отнесения территорий к зонам радиоактивного загрязнения (37 кБк/м²) [9]. На территориях сочетанного загрязнения средний уровень содержания ^{137}Cs составляет 288,8 кБк/м², что незначительно меньше значений радиационно загрязнённых территорий (–8,9%), но в 28,8 раза превышает значения контрольных районов и в 13,8 раза показатели районов химического загрязнения (см. табл. 1). Плотность радиоактивного загрязнения по ^{90}Sr в городах и районах Брянской области колеблется от 0,4 до 14,3 кБк/м², достигая максимальных значений на территориях радиоактивного (14,3 кБк/м²) и сочетанного (8,6 кБк/м²) загрязнения [9] (см. табл. 1). СГЭД₉₀ в первой и второй группе районов не превышает 0,1 мЗв в год, а в третьей и четвёртой группе в среднем составляет 1,2 мЗв в год (см. табл. 1) [30].

Данные табл. 2 показывают, что частота цитогенетических нарушений по количеству клеток с микроядрами и клеток с протрузиями во влагалищном эпителии статистически достоверно ($p < 0,001$) увеличивается на экологически неблагополучных территориях в сравнении с экологически благополучными. Так, доля клеток с микроядрами и протрузиями на экологически благополучных территориях (контроль) составляет $1,6 \pm 0,15$ и $3,8 \pm 0,27\%$ соответственно, в группе территорий химического загрязнения — в 3,7 и 1,9 раза больше ($5,9 \pm 0,31$ и $6,9 \pm 0,33\%$ соответственно), в группе территорий радиоактивного загрязнения — в 4,3 и 2,3 раза больше ($6,8 \pm 0,35$ и $8,8 \pm 0,44\%$ соответственно), а в группе территорий сочетанного загрязнения показатели превышены в 4,9 и 2,8 раза ($7,9 \pm 0,32$ и $10,6 \pm 0,43\%$

Таблица 1 / Table 1

Уровень химического и радиоактивного загрязнения окружающей среды в изученных группах городов и районов Брянской области (2010–2019 гг.)

The level of chemical and radioactive pollution of the environment in the studied groups of cities and districts of the Bryansk region (2010–2019)

Города и районы Брянской области Cities and districts of the Bryansk region	Валовые выбросы газообразных поллютантов атмосферного воздуха на площадь района, г/м² Gross emissions of gaseous pollutants of atmospheric air per area of the district, g/m²					Плотность радиоактивного загрязнения, кБк/м² The density of radioactive contamination, kBq/m²	
	Всего Total	из них / of them				¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
		ЛОС*	NO _x	SO ₂	CO		
Экологически благополучные территории (контроль) / Ecologically safe territories (control)							
Дубровский / Dubrovsky / n = 5	45	12	8	1	24	6.4	0.4
Навлинский / Navlinsky / n = 8	57	26	7	1	23	16.7	1.2
Клетнянский / Kletnyansky / n = 4	68	51	4	2	11	4.7	0.4
Карачевский / Karachevsky / n = 3	122	44	25	0	53	12.3	0.7
Среднее значение / The average value	73	33	44	1	27.8	10.0	0.7
Территории химического загрязнения / Areas of chemical pollution							
Дятьковский / Dyatkovsky / n = 10	6554	365	3810	198	2182	34.0	1.0
г. Брянск / city of Bryansk / n = 10	30,461	7671	8231	2019	12,543	7.8	5.2
Среднее значение / The average value	18,507	4018	6020	1109	7363	20.9	3.1
Территории радиоактивного загрязнения / Territories of radioactive contamination							
Красногорский / Krasnogorsky / n = 10	13	2	3	1	7	268.7	8.2
Злынковский / Zlynkovsky / n = 10	16	6	3	0	7	365.3	14.3
Среднее значение / The average value	14.5	4	3	0.5	7	317.0	11.3
Территории сочетанного радиационного и химического загрязнения / Territories of combined radiation and chemical contamination							
г. Новозыбков city / of Novozybkov / n = 10	282	94	32	0	154	404.3	8.6
г. Клинцы / city of Klintsy / n = 10	440	151	134	6	150	173.3	2.6
Среднее значение / The average value	361	123	83	3	152	288.8	5.6

Примечание. * ЛОС — летучие органические соединения.

Note. * ЛОС — volatile organic compounds.

соответственно). Следует отметить, что существенно более высокая частота клеток с микроядрами наблюдалась у беременных женщин, испытывающих влияние сочетанного загрязнения среды обитания по сравнению с районами, где присутствует только один фактор (территории химического загрязнения: +33,9%, $p < 0,001$; территории радиоактивного загрязнения: +16,2%, $p < 0,05$) (см. табл. 2). Число клеток с протрузиями разных форм также значимо выше у женщин на территориях сочетанного радиационного и химического загрязнения (территории химического загрязнения: +53,6%, $p < 0,001$; территории радиоактивного загрязнения: +20,5%, $p < 0,01$). Кроме того, установлено, что количество клеток с протрузиями разных форм значимо больше у женщин на радиоактивно загрязнённых территориях по сравнению с территориями химического загрязнения (+27,5%; $p < 0,01$) и незначимо выше по частоте клеток с микроядрами (+15,2%; $p > 0,05$) (см. табл. 2). Так, частота двуядерных клеток и клеток с двойным ядром у женщин, проживающих в контрольных районах, составляет $1,2 \pm 0,22$ и $0,9 \pm 0,16\%$ соответственно, в группе районов химического загрязнения — в 2,3 раза больше ($2,7 \pm 0,22$ и $2,1 \pm 0,22\%$ соответственно), в группе районов радиоактивного загрязнения — в 2,9 и 2,7 раза больше ($3,5 \pm 0,25$ и $2,4 \pm 0,28\%$ соответственно), а в группе районов сочетанного загрязнения показатели у женщин превышены в 4,1 и 3,6 раза ($4,9 \pm 0,43$ и $3,2 \pm 0,21\%$ соответственно). Сочетанное влияние радиационного и химического загрязнения привело к более высокой частоте двуядерных клеток у беременных по сравнению с территориями, где имеется только один фактор (террито-

рии химического загрязнения: +81,4%, $p < 0,001$; территории радиоактивного загрязнения: +40%, $p < 0,05$). Частота клеток с двойным ядром также значимо выше у обследованных женщин на территориях сочетанного загрязнения (территории химического загрязнения: +52,4%, $p < 0,01$; территории радиоактивного загрязнения: +33,3%, $p < 0,05$). Частота двуядерных клеток значимо выше у беременных на территориях радиоактивного загрязнения по сравнению с территориями химического загрязнения (+29,6%; $p < 0,05$) и незначимо — по частоте клеток с двойным ядром (+11,4%; $p > 0,05$). Статистически достоверные различия по количеству клеток с двумя и более ядрами зарегистрированы у беременных женщин, проживающих в районах радиоактивного и химического — в 2,8 раза; $p < 0,01$ и сочетанного загрязнения (+3,8 раза; $p < 0,001$), в сравнении с контролем (см. табл. 2).

Суммарная доля клеток с цитогенетическими нарушениями (микроядрами и протрузиями), а также суммарный показатель нарушения пролиферации (сумма двуядерных клеток, клеток с тремя и более ядрами и сдвоенными ядрами) повторяют описанные выше результаты, статистически значимо ($p < 0,001$) различаясь в территориальных группах (за исключением суммарного показателя нарушения пролиферации клеток у женщин на территориях радиоактивного и сочетанного загрязнения). Так, на экологически благополучных территориях у беременных доля клеток с цитогенетическими нарушениями и суммарный показатель нарушения пролиферации во влагалищном эпителии составляют $5,4 \pm 0,28$ и $2,5 \pm 0,29\%$ соответственно, на территориях химического загрязнения — $12,8 \pm 0,39$ и $5,7 \pm 0,39\%$ соот-

Таблица 2 / Table 2

Сравнительная оценка усреднённой частоты цитогенетических нарушений, показателей нарушения пролиферации и разрушения ядра во влагалищном эпителии беременных женщин 28–33 лет, проживающих в различных экологических условиях (на 1000 клеток, $M \pm m$, ‰)

Comparative assessment of the average frequency of cytogenetic disorders, indicators of proliferation disorders and destruction of the nucleus in the vaginal epithelium in 28–33 years pregnant women living in various environmental conditions (per 1,000 cells, $M \pm m$, ‰)

Исследуемый показатель во влагалищном эпителии, ‰ The studied indicator in the vaginal epithelium, ‰	Исследуемые территории / Researched territories				Достоверность межгрупповых различий по <i>U</i> -критерию Манна – Уитни Significance of intergroup Mann – Whitney <i>U</i> -test differences			Различия недостовверны Differences are unreliable
	экологически благополучные (контроль) ecologically safe areas (control) $n = 20$	химического загрязнения chemical pollution $n = 20$	радиоактивного загрязнения radioactive contamination $n = 20$	сочетанного загрязнения combined contamination $n = 20$				
	I	II	III	IV	$p < 0.05$	$p < 0.01$	$p < 0.001$	$p > 0.05$
Цитогенетические нарушения / Cytogenetic disorders								
Доля клеток с микроядрами Proportion of cells with micronuclei	1.6 ± 0.15 (1.5–1.7)*	5.9 ± 0.31 (5.8–6.0)	6.8 ± 0.35 (6.6–7.0)	7.9 ± 0.32 (7.7–8.0)	III–IV	–	I–II I–III I–IV II–IV	II–III
Доля клеток с протрузиями Proportion of cells with protrusions	3.8 ± 0.27 (3.7–3.9)1	6.9 ± 0.33 (6.7–7.0)	8.8 ± 0.44 (8.5–9.0)	10.6 ± 0.43 (10.3–10.8)1	–	II–III III–IV	I–II I–III I–IV II–IV	–
Суммарная доля клеток с цитогенетическими нарушениями The total proportion of cells with cytogenetic disorders	5.4 ± 0.28 (5.2–5.6)	12.8 ± 0.39 (12.6–13.0)	15.6 ± 0.54 (15.3–15.9)	18.5 ± 0.57 (18.2–18.8)	–	–	I–II I–III I–IV II–IV III–IV	–
Показатели нарушения пролиферации / Proliferation disorders indicators								
Доля клеток с двумя ядрами The proportion of cells with two by cores	1.2 ± 0.22 (1.0–1.3)	2.7 ± 0.22 (2.6–2.8)	3.5 ± 0.25 (3.3–3.6)	4.9 ± 0.43 (4.7–5.1)	II–III III–IV	–	I–II I–III I–IV II–IV	–
Доля клеток с тремя и более ядрами The proportion of cells with three or more nuclei	0.4 ± 0.13 (0.3–0.4)	0.9 ± 0.20 (0.8–1.0)	1.1 ± 0.20 (1.0–1.1)	1.5 ± 0.24 (1.3–1.6)	–	I–III	I–IV	I–II II–III II–IV III–IV
Доля клеток со вдвоенными ядрами Proportion of cells with double nuclei	0.9 ± 0.16 (0.8–1.0)	2.1 ± 0.22 (2.0–2.2)	2.4 ± 0.28 (2.2–2.5)	3.2 ± 0.21 (3.1–3.3)	III–IV	II–IV	I–II I–III I–IV	II–III
Суммарный показатель нарушения пролиферации The total indicator of proliferation disorders	2.5 ± 0.29 (2.3–2.6)	5.7 ± 0.39 (5.5–5.9)	7.0 ± 0.41 (6.8–7.1)	9.6 ± 0.56 (9.3–9.8)	–	–	I–II I–III I–IV II–IV III–IV	II–III
Показатели разрушения ядра / Indicators of nucleus destruction								
Доля клеток с кариопикнозом Proportion of cells with karyopycnosis	3.6 ± 0.35 (3.4–3.7)	6.4 ± 0.37 (6.2–6.5)	7.9 ± 0.33 (7.7–8.0)	9.9 ± 0.34 (9.7–10.0)	–	II–III	I–II I–III I–IV II–IV III–IV	–
Доля клеток с кариорексисом Proportion of cells with karyorexis	4.8 ± 0.41 (4.6–4.9)	6.4 ± 0.30 (6.2–6.5)1	7.7 ± 0.36 (7.5–7.8)	8.4 ± 0.29 (8.2–8.5)	II–III	I–II	I–III I–IV II–IV	III–IV
Доля клеток с завершённым кариолизисом The proportion of cells with complete karyolysis	4.5 ± 0.32 (4.3–4.6)	7.8 ± 0.35 (7.6–7.9)	9.4 ± 0.27 (9.2–9.5)	10.6 ± 0.48 (10.3–10.8)	III–IV	II–III	I–II I–III I–IV II–IV	–

Примечание. * Здесь и в табл. 3: в скобках указан доверительный интервал для среднего значения M .

Note: * Here and in Table 3: The confidence interval for the mean M is shown in parentheses.

Таблица 3 / Table 3

Сравнительная оценка усреднённой частоты цитогенетических нарушений, показателей нарушения пролиферации и деструкции ядра в буккальном эпителии беременных женщин 28–33 лет, проживающих в различных экологических условиях (на 1000 клеток, $M \pm m$, %)

Comparative assessment of the average frequency of cytogenetic disorders, indicators of proliferation disorders and destruction of the nucleus in the buccal epithelium in 28–33 years pregnant women living in various environmental conditions (per 1,000 cells, $M \pm m$, %)

Исследуемый показатель во влагалищном эпителии, % The studied indicator in the vaginal epithelium, %	Исследуемые территории / Researched territories				Достоверность межгрупповых различий по U-критерию Манна – Уитни Significance of intergroup Mann – Whitney U-test differences			Различия недостовверны Differences are unreliable
	экологически благополучные (контроль) ecologically safe areas (control) $n = 20$	химического загрязнения chemical pollution $n = 20$	радиоактивного загрязнения radioactive contamination $n = 20$	сочетанного загрязнения combined contamination $n = 20$				
	I	II	III	IV	$p < 0.05$	$p < 0.01$	$p < 0.001$	$p > 0.05$
Цитогенетические нарушения / Cytogenetic disorders								
Доля клеток с микроядрами Proportion of cells with micronuclei	1.4 ± 0.20 (1.3–1.4)	3.7 ± 0.23 (3.5–3.8)	5.2 ± 0.28 (5.0–5.3)	7.0 ± 0.37 (6.8–7.1)	–	–	I–II I–III I–IV II–III II–IV III–IV	–
Доля клеток с протрузиями Proportion of cells with protrusions	3.4 ± 0.28 (3.2–3.5)	5.5 ± 0.38 (5.5–5.6)	7.8 ± 0.43 (7.5–8.0)	8.9 ± 0.42 (8.7–9.0)	–	–	I–II I–III I–IV II–III II–IV	III–IV
Суммарная доля клеток с цитогенетическими нарушениями The total proportion of cells with cytogenetic disorders	4.7 ± 0.29 (4.5–4.8)	9.2 ± 0.44 (9.0–9.4)	13.0 ± 0.55 (12.7–13.2)	15.9 ± 0.54 (15.6–16.1)	–	–	I–II I–III I–IV II–III II–IV III–IV	–
Показатели нарушения пролиферации / Proliferation indicators								
Доля клеток с двумя ядрами The proportion of cells with two by cores	0.7 ± 0.15 (0.6–0.8)	2.1 ± 0.25 (2.0–2.2)	3.3 ± 0.24 (3.1–3.4)	4.9 ± 0.2 (4.7–5.0)	–	II–III	I–II I–III I–IV II–IV III–IV	–
Доля клеток с тремя и более ядрами The proportion of cells with three or more nuclei	0.5 ± 0.14 (0.4–0.6)	2.4 ± 0.28 (2.2–2.5)	2.9 ± 0.28 (2.7–3.0)	3.9 ± 0.31 (3.7–4.0)	III–IV	II–IV	I–II I–III I–IV	II–III
Доля клеток со сдвоенными ядрами Proportion of cells with double nuclei	0.3 ± 0.11 (0.2–0.3)	1.2 ± 0.16 (1.1–1.3)	1.6 ± 0.15 (1.5–1.7)	1.4 ± 0.17 (1.3–1.4)	–	–	I–II I–III I–IV III–IV	II–III II–IV
Суммарный показатель нарушения пролиферации The total indicator of proliferation disorders	1.5 ± 0.21 (1.4–1.6)	5.7 ± 0.43 (5.5–5.9)	7.7 ± 0.41 (7.5–7.9)	10.2 ± 0.41 (10.0–10.4)	–	II–III	I–II I–III I–IV II–IV III–IV	–
Показатели деструкции ядра / Indicators of nucleus destruction								
Доля клеток с кариопикнозом Proportion of cells with karyopycnosis	2.4 ± 0.22 (2.3–2.5)	3.9 ± 0.29 (3.8–4.0)	5.3 ± 0.36 (5.1–5.4)	6.5 ± 0.34 (6.3–6.6)	III–IV	II–III	I–II I–III I–IV II–IV	–
Доля клеток с кариорексисом Proportion of cells with karyorexis	2.0 ± 0.24 (1.8–2.1)	4.2 ± 0.37 (4.0–4.4)	6.4 ± 0.44 (6.1–6.6)	7.1 ± 0.42 (6.9–7.2)	–	–	I–II I–III I–IV II–III II–IV	III–IV
Доля клеток с завершённым кариолизисом The proportion of cells with complete karyolysis	2.9 ± 0.24 (2.8–3.0)	5.3 ± 0.42 (5.1–5.5)	7.3 ± 0.38 (7.1–7.5)	8.0 ± 0.42 (7.8–8.1)	–	II–III	I–II I–III I–IV II–IV	III–IV

ветственно, на территориях радиоактивного загрязнения — $15,6 \pm 0,54$ и $7 \pm 0,41\%$ соответственно, достигая максимальных значений на территориях сочетанного загрязнения ($18,5 \pm 0,57$ и $9,6 \pm 0,56\%$ соответственно) (см. табл. 2).

На рисунке (см. на вклейке) представлены микрофотографии цитогенетических нарушений, показателей пролиферации и деструкции ядра во влагалищном эпителии беременных женщин 28–33 лет.

Данные табл. 3 практически повторяют данные табл. 2. Следует отметить, что сочетанное влияние радиоактивного и химического загрязнения среды обитания привело к более выраженным изменениям у женщин в буккальном эпителии (по сравнению с влагалищным) и более высокой частоте клеток с микроядрами и двуядерных клеток по сравнению с показателями женщин, проживающих в районах воздействия одного фактора загрязнения среды обитания. Клетки с микроядрами у женщин на территориях химического загрязнения: $+89,2\%$, $p < 0,001$; на территориях радиоактивного загрязнения: $+34,6\%$, $p < 0,05$; двуядерные клетки — территории химического загрязнения: $+2,3$ раза, $p < 0,001$; территории радиоактивного загрязнения: $+48,5\%$, $p < 0,001$ (см. табл. 3).

Суммарная доля клеток с цитогенетическими нарушениями, а также суммарный показатель нарушения пролиферации в буккальном эпителии существенно ($p < 0,01–0,001$) отличаются у женщин по группам районов и составляют на экологически благополучных территориях $4,7 \pm 0,29$ и $1,5 \pm 0,21\%$ соответственно, на территориях химического загрязнения — $9,2 \pm 0,44$ и $5,7 \pm 0,43\%$ соответственно, на территориях радиоактивного загрязнения — $13 \pm 0,55$ и $7,7 \pm 0,41\%$ и на территориях сочетанного загрязнения — $15,9 \pm 0,54$ и $10,2 \pm 0,41\%$ соответственно (см. табл. 3).

Обсуждение

При сравнительном анализе цитогенетического статуса беременных женщин, проживающих в различных экологических условиях, выявлены однотипные фактор-зависимые реакции на исследуемые воздействия окружающей среды. То, что изученные выборки относятся к территориям,кратно различающимся по степени химической и радиационной нагрузки, позволяет предполагать, что обнаруженные изменения в цитогенетическом статусе отражают воздействие разных уровней загрязнения территорий области.

Полученные данные подтвердили необходимость комплексного гигиенического мониторинга среды обитания в зависимости от уровня химического, радиоактивного и сочетанного загрязнения за длительный период, поскольку влияние отдельных факторов среды в реальных условиях всегда суммируется и трансформируется (явление синергизма) [23, 24]. Взаимоусиление и взаимоподавление разных факторов неоднократно подтверждено в мировой науке с помощью экспериментов на разных тест-системах [31–33], однако в реальных условиях такие исследования проводились в единичных случаях [23, 24]. Это указывает на трудность выбора подходящих объектов исследования, выявление взаимосвязи факторов, различающихся по своей природе и эффектам, возможности изучения статистически значимых данных.

Особое внимание следует обратить на частоту клеток с микроядрами у беременных женщин на территории Брянской области. Согласно международным данным (проект HUMNxl), средняя частота клеток с микроядрами в контроле составляет $1,1\%$ [20], а на территориях Брянского региона этот показатель у женщин в экологически благополучных (контрольных) районах составляет $1,6\%$ во влагалищном эпителии и $1,4\%$ в буккальном. Таким образом, превышение средних показателей по международным данным составляет $1,3–1,5$ раза, показатели экологически неблагоприятных территорий — в $3,4–7,2$ раза, а максимальные

значения в клетках влагалищного эпителия наблюдаются у беременных на территориях сочетанного радиационно-химического загрязнения ($7,9\%$).

Следует отметить как различия, так и схожесть в данных по результатам цитогенетического мониторинга в эксфолиативных клетках. Так, по данным [22], частота микроядер в контрольной группе в уротеральных, буккальных и назальных клетках варьируется от $0,24$ до $0,35\%$, что существенно ниже не только полученных нами результатов в контрольных районах Брянской области ($1,6\%$), но и международных стандартов $1,1\%$ [20]. Полученные нами результаты частоты двуядерных клеток во влагалищном эпителии у беременных женщин в контрольных районах ($1,2\%$) совпадают с данными контроля в уротеральном эпителии ($1,21\%$) [22], однако число клеток с кариопикнозом и кариолизисом значительно выше [22] наших результатов.

Согласно ориентировочным нормативным величинам оценки цитогенетического статуса, при исследовании буккального эпителия у населения и персонала предприятий, осуществляющих деятельность по обращению с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами, в условиях комплексного воздействия радиационных и химических факторов суммарная доля клеток с цитогенетическими нарушениями составляет $0–5\%$, а суммарный показатель нарушения пролиферации $0–8\%$ [28]. Таким образом, в нашем исследовании только на экологически благополучных (контрольных) территориях суммарная доля клеток с цитогенетическими нарушениями не превышает нормативных величин, составляя $4,7\%$, в то время как на территориях химического загрязнения показатель превышен в $1,8$ раза ($9,2\%$), на радиоактивно загрязнённых территориях — в $2,6$ раза (13%). Максимальное превышение обнаружено у женщин на территориях сочетанного воздействия — в $3,2$ раза ($15,9\%$). При этом суммарный показатель нарушения пролиферации в буккальном эпителии беременных женщин в городах и районах Брянской области варьируется от $1,5$ до $10,2\%$ и превышает нормативные величины только на территориях сочетанного воздействия ($10,2\%$).

Заключение

Частота цитогенетических нарушений, показателей нарушения пролиферации и деструкции ядра во влагалищном эпителии беременных женщин, проживающих в загрязнённых районах, в $1,3–4,9$ раза выше, а в буккальном эпителии — в $1,6–7,8$ раза выше в сравнении с экологически благополучными (контрольными) районами ($p < 0,01–0,001$). Установлено, что в буккальном эпителии беременных женщин, проживающих в контрольных районах, суммарная доля клеток с цитогенетическими нарушениями не превышает нормативных величин, установленных МР ФМБА России № 12.031–2020 [29], и составляет $4,7\%$, однако на территориях химического, радиоактивного и сочетанного загрязнения показатель превышен в $1,8$; $2,6$ и $3,2$ раза ($9,2$; 13 и $15,9\%$), при этом суммарный показатель нарушения пролиферации варьируется от $1,5$ до $10,2\%$ и превышает нормативные значения только на территориях сочетанного воздействия ($10,2\%$). Сочетанное влияние на женщин радиоактивного и химического загрязнения среды привело к существенно более высокой (увеличение от $12,8$ до $81,4\%$ во влагалищном эпителии и от $22,6\%$ до $2,3$ раза в буккальном эпителии) частоте клеток с микроядрами, клеток с протрузиями, двуядерных клеток, клеток с двойным ядром, а также клеток с кариопикнозом и кариолизисом по сравнению с районами, где имеется только один фактор загрязнения. Полученные результаты показывают, по всей вероятности, синергетический характер воздействия радиационного и химического факторов на цитогенетический статус беременных женщин.

Литература

(п.п. 1, 3, 7, 19–22, 26–28, 31–33 см. References)

2. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Синицына О.О., Шашина Т.А. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования. *Анализ риска здоровью*. 2015; (2): 4–11. <https://elibrary.ru/rzdodk>
4. Ревич Б.А. Значение зеленых пространств для защиты здоровья населения городов. *Анализ риска здоровью*. 2023; (2): 168–85. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.2.17> <https://elibrary.ru/rhupeq>
5. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А., Дрожко Е.Г., Ильин Л.А., Крышев И.И. и др. *Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры*. М.; 2001. <https://elibrary.ru/ugwnxc>
6. Яблоков А.В., Нестеренко В.Б., Нестеренко А.В., Преображенская Н.Е. *Чернобыль: последствия Катастрофы для человека и природы (шестое издание, дополненное и переработанное)*. М.; 2016. <https://elibrary.ru/wkdafj>
8. Израэль Ю.А., Богдевич И.М. *Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси*. М.—Минск: Инфосфера; 2009.
9. Муратова Н.А. *Города и районы Брянской области (статистический сборник)*. Брянск; 2020.
10. Яхрышин В.Н. Данные по радиоактивному загрязнению территории населённых пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240. Обнинск; 2023. Доступно: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/rzrf/ezheg_rzrf_2023.pdf
11. Романович И.К., Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Яковлев В.А. Динамика средних годовых и накопленных доз облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС. *Здоровье населения и среда обитания* — ЗНISO. 2020; (3): 33–8. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-324-3-33-38> <https://elibrary.ru/iufblc>
12. Корсаков А.В., Домахина А.С., Трошин В.П., Гегер Э.В. Заболеваемость детского и взрослого населения Брянской области в зависимости от уровня радиационного, химического и сочетанного загрязнения: экологическое исследование. *Экология человека*. 2020; (7): 4–14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-7-4-14> <https://elibrary.ru/inbcje>
13. Яблоков А.В. О концепции популяционного груза (обзор). *Гигиена и санитария*. 2015; 94(6): 11–4. <https://elibrary.ru/uxzqrd>
14. Волкова А.Т., Целоусова О.С., Загидулина С.Р., Потапова И.А., Викторова Т.В. Оценка кариологических показателей апоптоза в процессе адаптации сельских жителей к городской среде. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2014; 9(6): 77–80. <https://elibrary.ru/tgucrf>
15. Казанцева Е.В., Долгушина Н.В., Ильченко И.Н. Влияние антропогенных химических веществ на течение беременности. *Акушерство и гинекология*. 2013; (2): 32–7. <https://elibrary.ru/pxnsmn>
16. Верзилина И.Н., Чурносоев М.И., Евдокимов В.И. Исследование влияния атмосферных поллютантов на заболеваемость беременных в Белгородской области. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(4): 11–4. <https://elibrary.ru/uhkvxn>
17. Сетко Н.П., Захарова Е.А. Кинетика металлов в системе мать-плод-новорожденный при техногенном воздействии. *Гигиена и санитария*. 2005; 84(6): 65–7. <https://elibrary.ru/ojnrsn>
18. Кузьмин Д.В. Сравнительный анализ показателей репродуктивного здоровья женщин, проживающих в районах расположения алюминиевого производства. *Гигиена и санитария*. 2007; 86(3): 13–5. <https://elibrary.ru/iahlbh>
23. Сычева Л.П. Цитогенетический мониторинг для оценки безопасности среды обитания человека. *Гигиена и санитария*. 2012; 91(6): 68–72. <https://elibrary.ru/pwktnp>
24. Корсаков А.В., Трошин В.П., Сидоров И.В., Жилин А.В., Михалев В.П. Сравнительная оценка изменений букального эпителия родильниц с врожденными пороками развития плода, проживающих на территориях химического загрязнения окружающей среды. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2014; 58(5): 45–9. <https://elibrary.ru/smfcrp>
25. Корсаков А.В., Трошин В.П. Особенности цитогенетических нарушений в букальном эпителии родильниц с врожденными пороками развития плода, проживающих на территориях радиационного, химического и сочетанного загрязнения окружающей среды. *Вестник Московского университета (серия XXIII антропология)*. 2016; (1): 93–101. <https://elibrary.ru/vytupp>
29. Методические рекомендации МР ФМБА России 12.031–2020. Оценка состояния здоровья населения и персонала предприятий, осуществляющих деятельность по обращению с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами в условиях комплексного воздействия радиационных и химических факторов; 2020.
30. Трапезникова Л.Н. *Дозы облучения населения Брянской области от различных источников ионизирующего излучения за 2021 год (информационный справочник)*. Брянск; 2022. <https://elibrary.ru/ymaeot>

References

1. Orellano P., Reynoso J., Quaranta N., Bardach A., Ciapponi A. Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environ. Int.* 2020; 142: 105876. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>
2. Rakhmanin Y.A., Novikov S.M., Avaliani S.L., Sinitsyna O.O., Shashina T.A. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Health Risk Analysis*. 2015; (2): 4–11. <https://elibrary.ru/cwdqgf>
3. Lourenço J., Mendo S., Pereira R. Radioactively contaminated areas: Bioindicator species and biomarkers of effect in an early warning scheme for a preliminary risk assessment. *J. Hazard. Mater.* 2016; 317: 503–42. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.06.020>
4. Revich B.A. The significance of green spaces for protecting health of urban population. *Analiz riska zdorov'yu*. 2023; (2): 168–85. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.2.17> <https://elibrary.ru/rhupeq> (in Russian)
5. Aleksakhin R.M., Buldakov L.A., Gubanov V.A., Drozhko E.G., Il'in L.A., Kryshev I.I., et al. *Major Radiation Accidents: Consequences and Protective Measures [Krupnye radiatsionnye аварии: posledstviya i zashchitnye меры]*. Moscow; 2001. (in Russian)
6. Yablokov A.V. *Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and Nature [Chernobyl': posledstviya Katastrofy dlya cheloveka i prirody (shestoe izdanie, dopolnennoe i pererabotannoe)]*. Moscow; 2016. <https://elibrary.ru/wkdafj> (in Russian)
7. Bréchinac F., Oughton D., Mays C., Barnhouse L., Beasley J.C., Bonisoli-Alquati A., et al. Addressing ecological effects of radiation on populations and ecosystems to improve protection of the environment against radiation: Agreed statements from a Consensus Symposium. *J. Environ. Radioact.* 2016; 158–159: 21–9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.03.021>
8. Izrael' Yu.A., Bogdevich I.M. *Atlas of Modern and Forecast Aspects of the Consequences of the Chernobyl Accident in the Affected Areas of Russia and Belarus [Atlas sovremennykh i prognoznnykh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoi AES na posttravshikh territoriyakh Rossii i Belarusi]*. Moscow—Minsk: Infosfera; 2009. (in Russian)
9. Muratova N.A. *Cities and Districts of the Bryansk Region (Statistical Collection) [Goroda i raiony Bryanskoi oblasti (statisticheskii sbornik)]*. Bryansk; 2020. (in Russian)
10. Yakhyrshin V.N. Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation with Cesium-137, Strontium-90 and Plutonium-239+240. Available at: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/rzrf/ezheg_rzrf_2023.pdf (in Russian)
11. Romanovich I.K., Bruk G.Ya., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Yakovlev V.A. The dynamics of the average annual and cumulative radiation exposure doses of the adult population of the Russian federation after the Chernobyl disaster. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* — ZNiSO. 2020; (3): 33–8. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-324-3-33-38> <https://elibrary.ru/iufblc> (in Russian)
12. Korsakov A.V., Domahina A.S., Troshin V.P., Geger E.V. Child and adult morbidity in the Bryansk region by the level of radioactive, chemical and combined contamination: an ecological study. *Ekologiya cheloveka*. 2020; (7): 4–14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-7-4-14> <https://elibrary.ru/inbcje> (in Russian)
13. Yablokov A.V. On the concept of “population load” (review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(6): 11–4. <https://elibrary.ru/uxzqrd> (in Russian)
14. Volkova A.T., Tselousova O.S., Zagidullina S.R., Potapova I.A., Victorova T.V. Apoptosis indicators analysis in adaptation to the urban environment. *Meditsinskii vestnik Bashkortostana*. 2014; 9(6): 77–80. <https://elibrary.ru/tgucrf> (in Russian)
15. Kazantseva E.V., Dolgushina N.V., Ilchenko I.N. Effect of anthropogenic chemicals on the course of pregnancy. *Akusherstvo i ginekologiya*. 2013; (2): 32–7. <https://elibrary.ru/pxnsmn> (in Russian)
16. Verziлина I.N., Churnosov M.I., Evdokimov V.I. Study of the impact of atmospheric pollutants on morbidity in pregnancy in the Belgorod region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(4): 11–4. <https://elibrary.ru/uhkvxn> (in Russian)
17. Setko N.P., Zakharova Ye.A. Metal kinetics in the mother-fetus-neonate system upon technogenic exposure. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2005; 84(6): 65–7. <https://elibrary.ru/ojnrsn> (in Russian)
18. Kuzmin D.V. Comparative analysis of reproductive health in women living in proximity to an aluminum work area. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2007; 86(3): 13–5. <https://elibrary.ru/iahlbh> (in Russian)
19. Antypkin Y.G., Gorban N.Y., Borysiuk O.Y., Lynchak O.V. The reproductive health of the female residents in the areas of Ukraine affected by the radioactive contamination (2007–2017). *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2019; 24: 284–95.
20. Kundiev Y.I., Chernyuk V.I., Karakashyan A.N., Martynovskaya T.Y. Chernobyl and reproductive health of a female rural population (an epidemiological study). *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2013; (18): 102–18.
21. Fenech M., Holland N., Zeiger E., Chang W.P., Burgaz S., Thomas P., et al. The HUMN and HUMNXL international collaboration projects on human micronucleus assays in lymphocytes and buccal cells — past, present and future. *Mutagenesis*. 2011; 26(1): 239–45. <https://doi.org/10.1093/mutage/geq051>

Original article

22. Kashyap B., Reddy P.S. Micronuclei assay of exfoliated oral buccal cells: means to assess the nuclear abnormalities in different diseases. *J. Cancer Res. Ther.* 2012; 8(2): 184–91. <https://doi.org/10.4103/0973-1482.98968>
23. Sycheva L.P. Cytogenetic monitoring for assessment of safety of environmental health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2012; 91(6): 68–72. <https://elibrary.ru/pwktnp> (in Russian)
24. Korsakov A.V., Troshin V.P., Sidorov I.V., Zhilin A.V., Mikhalev V.P. The comparative evaluation of alterations of buccal epithelium in puerperal with inherent malformations of fetus residing in territories with chemical pollution of environment. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2014; 58(5): 45–9. <https://elibrary.ru/smfcrp> (in Russian)
25. Korsakov A.V., Troshin V.P. Features of cytogenetic damage in the buccal epithelium of women with congenital developmental anomalies of the fetus, living in conditions radiation, chemical and combined environmental pollution. *Vestnik Moskovskogo universiteta (seriya XXIII antropologiya)*. 2016; (1): 93–101. <https://elibrary.ru/vytupp> (in Russian)
26. Nersesyan A., Kundi M., Fenech M., Stopper H., da Silva J., Bolognesi C., et al. Recommendations and quality criteria for micronucleus studies with humans. *Mutat. Res. Rev. Mutat. Res.* 2022; 789: 108410. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2021.108410>
27. Gandarillas A., Molinuevo R., Sanz-Gómez N. Mammalian endoreplication emerges to reveal a potential developmental timer. *Cell Death Differ.* 2018; 25(3): 471–6. <https://doi.org/10.1038/s41418-017-0040-0>
28. Sanz-Gómez N., de Pedro I., Ortigosa B., Santamaría D., Malumbres M., de Cárcer G., et al. Squamous differentiation requires G2/mitosis slippage to avoid apoptosis. *Cell Death Differ.* 2020; 27(8): 2451–67. <https://doi.org/10.1038/s41418-020-0515-2>
29. Methodological recommendations of the MR FMBA of Russia 12.031–2020. Assessment of the health status of the population and personnel of enterprises engaged in the management of spent nuclear fuel and radioactive waste under the conditions of complex exposure to radiation and chemical factors; 2020. (in Russian)
30. Trapeznikova L.N. *Doses for the Population of the Bryansk Region from Various Sources of Ionizing Radiation for 2017 (Information Guide) [Dozy oblucheniya naseleniya Bryanskoi oblasti ot razlichnykh istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya za 2021 god (informatsionnyi spravochnik)]*. Bryansk; 2022. <https://elibrary.ru/ymaeot> (in Russian)
31. Geras'kin S.A., Kim J.K., Dikarev V.G., Oudalova A.A., Dikareva N.S., Spirin Y.V. Cytogenetic effects of combined radioactive (¹³⁷Cs) and chemical (Cd, Pb, and 2,4-D herbicide) contamination on spring barley intercalary meristem cells. *Mutat. Res.* 2005; 586(2): 147–59. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2005.06.004>
32. Deruytter D., Baert J.M., Nevejan N., De Schampelaere K.A.C., Janssen C.R. Mixture toxicity in the marine environment: Model development and evidence for synergism at environmental concentrations. *Environ. Toxicol. Chem.* 2017; 36(12): 3471–9. <https://doi.org/10.1002/etc.3913>
33. Gomez Isaza D.F., Cramp R.L., Franklin C.E. Simultaneous exposure to nitrate and low pH reduces the blood oxygen-carrying capacity and functional performance of a freshwater fish. *Conserv. Physiol.* 2020; 8(1): coz092. <https://doi.org/10.1093/conphys/coz092>

Сведения об авторах

Домахина Александра Сергеевна, соискатель каф. гигиены ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия. E-mail: domahinasasha@yandex.ru

Корсаков Антон Вячеславович, доктор биол. наук, доцент, профессор каф. «Медицина катастроф» ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия

Трошин Владислав Павлович, доктор мед. наук, заслуженный врач РФ, профессор каф. «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «БГТУ», 241035, Брянск, Россия

Милушкина Ольга Юрьевна, доктор мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН, зав. каф. гигиены ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия

Пивоваров Юрий Петрович, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, профессор каф. гигиены педиатрического факультета ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия

Королик Виктор Вячеславович, доктор мед. наук, профессор, профессор каф. гигиены ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия

Information about the authors

Alexandra S. Domakhina, candidate of the Department of Hygiene of the Department of Disaster Medicine, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, 117997, Russian Federation. E-mail: domahinasasha@yandex.ru

Anton V. Korsakov, DSc (Biology), Associate Professor, Professor of the Department of Disaster Medicine, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, 117997, Russian Federation

Vladislav P. Troshin, DSc (Medicine), Honoured Doctor the Russian Federation, Professor of the Department “Technosphere Safety”, Bryansk State Technical University, Bryansk, 241035, Russian Federation

Olga Yu. Milushkina, DSc (Medicine), Professor, Corresponding member of RAS, Head of the Department of Hygiene, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, 117997, Russian Federation

Yuri P. Pivovarov, DSc (Medicine), Professor, Academician of the RAS, Professor of the Department of Hygiene of the Pediatric Faculty, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, 117997, Russian Federation

Victor V. Korolik, DSc (Medicine), Professor, Professor of the Department of Hygiene, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, 117997, Russian Federation

К статье А.С. Домахиной и соавт.
To the article by Alexandra S. Domakhina et al.

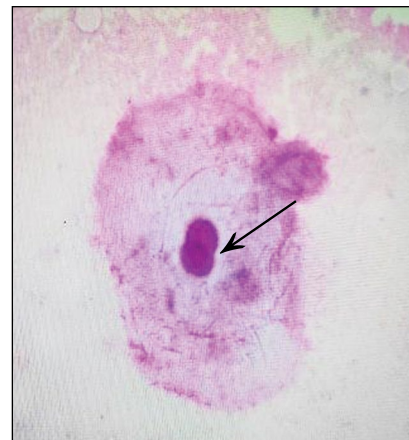
Клетка с микроядром
A cell with a micronucleus



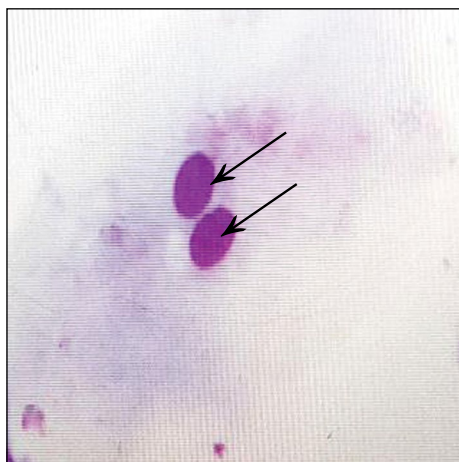
Клетка с протрузией ядра
A cell with a protrusion of the nucleus



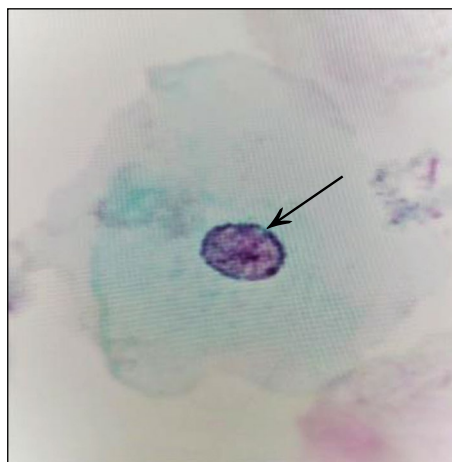
Клетка с двойными ядрами
A cell with double nuclei



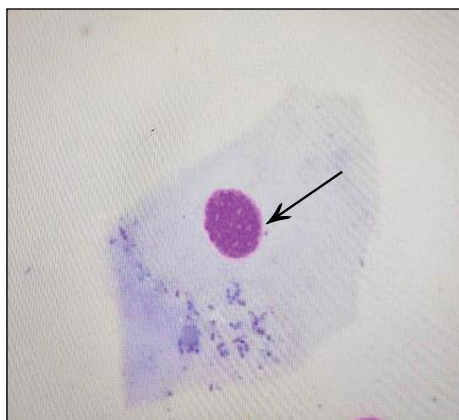
Клетка с двумя ядрами
A cell with two nuclei



Клетка с кариопикнозом
A cell with karyopycnosis



Клетка с кариорексисом
A cell with karyorexis



Клетка с кариолизисом
A cell with karyolysis



Микрофотографии цитогенетических нарушений, показателей пролиферации и деструкции ядра во влагалищном эпителии беременных женщин 28–33 лет, окраска по Квику ($\times 1000$).

Micrographs of cytogenetic disorders, indicators of proliferation and destruction of the nucleus in the vaginal epithelium in 28–33 years pregnant women (Quick stain, $\times 1,000$).