

УДК 614.878+504.75.05

*Е.В. Шинкарук, Е.В. Агбальян***ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ И ЭКСПОЗИЦИЯ
ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО
АВТОНОМНОГО ОКРУГА К ПОЛЛЮТАНТАМ**Государственное казенное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа
Научный центр изучения Арктики, Салехард, Российская Федерация*E.V. Shinkaruk, E.V. Agbalyan***CYTOGENETIC PROFILE AND EXPOSURE
OF THE URBAN POPULATION YANAO TO POLLUTANTS**State Public Institution of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug «Scientific Research
Centre of the Arctic», Salekhard, Russian Federation

Резюме. В Ямало-Ненецком автономном округе реализуется Программа биомониторинга населения. Программа включает изучение биомаркеров воздействия и биомаркеров эффекта (цитогенетические и психофизиологические показатели). **Цель исследования:** изучить уровень накопления цитогенетических нарушений и содержания поллютантов в биосубстратах жителей города Надыма. **Материалы и методы:** Препараты буккального эпителия готовили в соответствии с методическими рекомендациями Н.Н. Беляевой и др. От каждого индивида анализировали по 1000 клеток в соответствии с классификацией и критериями Л.П. Сычевой. Индекс цитогенетических нарушений рассчитывали согласно формуле Л.П. Сычевой. Для определения элементного состава биосубстратов (волосы) у каждого обследуемого были взяты образцы. Методика отбора проб волос осуществлялась в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ (1980). **Выводы:** Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о повышенной распространенности клеток с протрузиями, двудерных клеток, клеток с конденсацией хроматина и кариорексисом. Выявлены повышенные концентрации токсичных элементов ртути и кадмия в волосах жителей города. Повышенные концентрации кадмия зафиксированы у 7,2% обследованных жителей. Связи между накоплением тяжелых металлов в биосубстратах (волосы) и показателями пролиферации не выявлено. Выявлено достоверное увеличение количества клеток со двоядными ядрами при достижении концентрации ртути 0,47 мкг/г в волосах обследуемых жителей.

Ключевые слова: биомаркеры эффекта, буккальный эпителий, пролиферация, биомониторинг, поллютанты, биосубстрат человека, микроядерный тест

Abstract. In the Yamal-Nenets Autonomous district, a program of biomonitoring of the population is being implemented. The program includes the study of biomarkers of exposure and biomarkers of effect (cytogenetic and physiological indicators). **The purpose of the study:** to study the level of accumulation of cytogenetic disturbances and the content of pollutants in biological substrates of place residents of the city of Nadym. **Materials and methods:** Preparations of buccal epithelium were prepared in accordance with the recommendations of the N.N. Belyaeva, etc. From each individual were analyzed in 1000 cells in accordance with the classification and criteria of the L. P. Sychev. The index of cytogenetic disorders was calculated according to the formula L. P. Sycheva. To determine the elemental composition of biosubstrates (hair), samples were taken from each subject. The method of hair sampling was carried out in accordance with IAEA recommendations (1980). **Conclusions:** the study data indicate a high prevalence of cells with protrusions, dual-core cells, cells with condensation of chromatin and karyorhexis. Increased concentrations of toxic elements of mercury and cadmium in the hair of the city residents were revealed. Elevated concentrations of cadmium were recorded in 7.2% of the surveyed residents. No Association was found between the accumulation of heavy metals in biosubstrates (hair) and proliferation indices. There was a significant increase in the number of cells with dual nuclei at a mercury concentration of 0.47 µg/g in the hair of the surveyed residents.

Keywords: biomarkers of effect, buccal epithelium, proliferation, biomonitoring, pollutants, human biosubstrate, micronucleus test

Конфликт интересов отсутствует.
Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Шинкарук Елена Владимировна
elena1608197@yandex.ru

Дата поступления 19.04.2019.

Образец цитирования:

Шинкарук Е.В., Агбальян Е.В. Цитогенетический профиль и экспозиция городского населения Ямало-Ненецкого автономного округа к поллютантам. Вестник уральской медицинской академической науки. 2019, Том 16, №2, с. 253–260, DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-253-260

There is no conflict of interest.

Contact details of the corresponding author:

Elena V. Shinkaruk

elena1608197@yandex.ru

Received 19.04.2019.

For citation:

Shinkaruk E.V., Agbalyan E.V. Cytogenetic profile and exposure of the urban population YANAO to pollutants. Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2019, Vol. 16, no. 2, pp. 253–260. DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-253-260 (In Russ)

Биомониторинг человека — метод оценки экспозиции населения к химическим веществам или их воздействия на здоровье путем измерения содержания этих веществ, их метаболитов или продуктов реакции в пробах биологического материала человека [Биомониторинг человека: факты и цифры. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2015 г.]. Данные биомониторинга напрямую отражают общее содержание поллютантов в организме или их биологическое воздействие при поступлении в организм. В ЯНАО в рамках темы НИР «Комплексный экологический мониторинг территории исконного проживания коренного малочисленного населения Ямало-Ненецкого автономного округа» реализуется Программа биомониторинга населения. Программа включает изучение биомаркеров воздействия и биомаркеров эффекта (цитогенетические и психофизиологические показатели). Биомаркеры воздействия позволяют оценить уровень накопления химических веществ в организме, риски и прогнозы для здоровья населения, и профиль их изменения при реализации профилактических мероприятий. Индикация состояния природной среды и оценка её загрязнения осуществляется по результатам исследования биосубстратов человека (волос).

Цитогенетические методы используются для оценки генотоксических эффектов от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Маркерами патологических процессов в организме человека являются клетки с микроядрами и протрузиями, образование которых свидетельствует о повреждении хромосом и нарушении стабильности генома. Аккумуляция тяжелых металлов в соматических клетках может способствовать ухудшению здоровья человека, изменению микроэлементного гомеостаза в организме человека, резкому снижению иммунитета и развитию неблагоприятных последствий инфекций [2, 3, 4]. Под влиянием тяжелых металлов возникают вторичные генотоксические эффекты, связанные с действием образующихся эндогенно свободных радикалов, изменяющих дозовую и временную эффективность мутагенов [5, 6].

Цель исследования: изучить уровень накопления цитогенетических нарушений и содержания поллютантов в биосубстратах жителей города Надыма.

Материалы и методы

Всего в исследовании приняли участие 83 человека. Средний возраст группы составил $42,01 \pm 10,54$ лет. Средний возраст мужчин $38,26 \pm 11,10$, всего 23 человека (27,3%). Группу женщин составили 60 человек (72,3%), средний возраст $43,45 \pm 10,13$ лет.

Сбор образцов проводили в октябре 2018 г. Пришлось население представлено — русскими, украинцами, татарами и другими национальностями. На момент заполнения анкет и информационного согласия все обследуемые были здоровы и не болели простудными заболеваниями в течение месяца. Препараты буккального эпителия готовили в соответствии с методическими рекомендациями Н.Н. Беляевой и др. [7]. От каждого индивида анализировали по 1000 клеток в соответствии с классификацией и критериями Л.П. Сычевой [8]. Индекс цитогенетических нарушения рассчитывали согласно формуле Л.П. Сычевой [5]. Анализ препаратов проводили на микроскопе Nikon Eclipse E100.

Для определения элементного состава биосубстратов (волосы) у каждого обследуемого были взяты образцы. Методика отбора проб волос осуществлялась в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ (1980). Проведено интервьюирование всех обследованных лиц для идентификации потенциальных источников поступления поллютантов в организм с включением перечня производственных, жилищных, бытовых и пищевых источников. Опрос проводился с применением стандартных опросников, адаптированных к условиям округа.

Химико-аналитические исследования биологических проб проводились в лаборатории ООО «Инвитро» (Лицензия на осуществление медицинской деятельности ЛО-50-01-008046 от 13.09.2016 г.; Сертификат соответствия РОССТУ.ФК 27 К00029 от 14.12.2015 г.). Количественное определение химических элементов осуществлялось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой (ИСП-МС) с системой пробоподготовки, основанной на микровол-

новом разложении.

Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica v.8.0 и включал описание средних значений, стандартное отклонение, перцентильное распределение показателей, t критерий Стьюдента. При уровне $p < 0,05$ различия оценивались как статистически значимые.

Результаты и обсуждение

Частота клеток с микроядрами в обследованной выборке составила $0,11 \pm 0,04\%$ (табл. 1). Ориентировочная средняя величина частоты клеток с микроядрами,

рекомендованная в качестве нормативного значения в РФ равна $0,24 \pm 0,03\%$.

Среднее значение частоты клеток с протрузиями в обследованной выборке превышает фоновые показатели $0,29 \pm 0,03\%$ и составляло $1,60 \pm 0,12\%$ ($p < 0,001$). Частота встречаемости клеток с ядром атипичной формы достоверно выше фоновых значений соответствующего цитогенетического показателя ($p < 0,001$). Интегральный показатель цитогенетического действия, как суммарная величина клеток с микроядрами и протрузиями, выше в обследованной выборке в 3,2 раза по сравнению с фоновой величиной.

Таблица 1
Цитогенетические показатели эксфолиативных клеток населения г. Надыма (%)

Table 1
Cytogenetic parameters of exfoliative cells of the population of Nadym (%)

Кариологические показатели/ Karyological indicators	Биомониторинг 2019. г. Надым/ Biomonitoring 2019. the city of Nadym M±SD (n=83)	Ориентировочные нормативные вели- чины/ indicative standard values M±SD (n=205)	Пределы варьирова- ния (по Сычевой Л.П.)/ limits of variation, (by Sycheva L.P.)
Цитогенетические показатели/ Cytogenetic indicators			
Клетки с микроядрами/ Cells with micronuclei	0,11±0,04*	0,24±0,03	0-2
Клетки с протрузиями/ Cells with protrusions	1,60±0,12***	0,29±0,03	0-4
Индекс цитогенетических нарушений (сум- ма клеток с микроядрами и протрузия- ми)/ cytogenetic index (sum of cells with micronuclei and protrusions)	1,72±0,13***	0,53±0,05	0-5
Клетки с ядром атипичной формы/ Cells with atypical nucleus	0,02±0,02***	0,88±0,26	0-5

Примечание: * $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

Notice: * $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

Таблица 2
Показатели пролиферации эксфолиативных клеток населения г. Надыма (%)

Table 2
Indicators of proliferation of exfoliative cells of the population of Nadym (%)

Кариологические показатели/ Karyological indicators	Биомониторинг 2019. г. Надым/ Biomonitoring 2019. the city of Nadym M±SD (n=83)	Ориентировочные нормативные вели- чины/ indicative standard values M±SD (n=205)	Пределы варьирова- ния (по Сычевой Л.П.)/ limits of variation, (by Sycheva L.P.)
Показатели пролиферации			
Двухядерные клетки/ binucleated cells	2,40±0,19	1,06±0,07	0-5
Клетки со сдвоенными ядрами/ Dual core cells	0,89±0,12*	1,70±0,09	0-6
Частота клеток с тремя ядрами/ The frequency of cells with three cores	0,02±0,15	н.о.	0-2
Интегральный показатель пролиферации (сумма клеток с двумя ядрами и сдвоенны- ми ядрами)/ Index of proliferation (sum of binucleated cells and dual nuclei)	3,31±0,21*	2,76±0,09	0-10

Примечание * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; н.о. — не определяли.

Notice: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; n.d. — not define.

Частота двуядерных клеток в два раза выше фонового значения ($p < 0,001$) (табл. 2). Средний показатель частоты клеток со сдвоенными ядрами достоверно ниже фонового уровня. Среднее значение интегрального показателя пролиферации составляет $3,31 \pm 0,21\%$, что выше ориентировочной нормативной величины в 1,2 раза. Частота встречаемости клеток с тремя ядрами равна $0,02 \pm 0,15\%$.

При анализе показателей деструкции ядра получены следующие значения. Средняя частота клеток с перинуклеарной вакуолью составила $15,40 \pm 1,25$, что в шесть раз ниже фоновых значений $97,12 \pm 3,46$, $p < 0,001$ (таб. 3). Количество клеток с конденсацией хроматина в обследованной группе значительно превышает фон, но в целом не выходит за рамки ориентировочных нормативных величин 2-400%.

Таблица 3
Показатели апоптоза эксфолиативных клеток населения г. Надыма (‰)

Table 3
Показатели апоптоза эксфолиативных клеток населения г. Надыма (‰) Indicators of apoptosis of exfoliative cells of the population of Nadym (‰)

Кариологические показатели/ Karyological indicators	Биомониторинг 2019. г. Надым/ Biomonitoring 2019. the city of Nadym $M \pm SD$ (n=83)	ориентировочные нормативные величины/ indicative standard values $M \pm SD$ (n=205)	пределы варьирования (по Сычевой Л.П.)/ limits of variation, (by Sycheva L.P.)
Клетки с повреждением ядерной мембраны/ Cells with nuclear membrane damage	$0,00 \pm 0,00$	н.о.	0-30
Клетки с перинуклеарной вакуолью/ Cells with perinuclear vacuole	$15,40 \pm 1,25^{***}$	$97,12 \pm 3,46$	0-50
Клетки с конденсацией хроматина/ Cells with chromatin condensation	$199,96 \pm 5,47$	$16,19 \pm 0,72$	2-400
Клетки с началом кариолизиса/ Cells with the beginning of karyolysis	$260,96 \pm 5,95$	н.о.	2-400
Клетки с кариорексисом/ Cells with karyorhexis	$25,49 \pm 1,49$	$7,13 \pm 0,58$	0-40
Клетки с кариопикнозом/ Cells with karyopyknosis	$18,49 \pm 0,96^{***}$	$25,84 \pm 0,85$	0-60
Клетки с завершённым кариолизисом/ Cells with complete karyolysis	$16,82 \pm 1,15^{***}$	$42,63 \pm 2,20$	0-60

Примечание * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; н.о. — не определяли.
Notice: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; n.d. — not define.

Доля клеток с кариопикнозом в обследованной группе в 1,3 раза достоверно меньше среднего фонового уровня, клетки с кариорексисом в обследованной группе лиц встречаются в 3,6 раза чаще, чем в фоновых ориентировочных данных. Клетки с завершённым кариолизисом встречались меньше в 2,5 раза, при сравнении с фоновыми значениями.

Интегральные цитогенетические показатели представлены в таблице 4.

Индекс цитогенетических нарушений составил $1,17 \pm 0,13$, что соответствует низкому уровню $Iac \leq 2$.

Дана оценка содержания ртути, кадмия, мышьяка и свинца в биосубстратах обследованных городских жителей. Выявлены повышенные концентрации ртути и кадмия в волосах жителей относительно референсных величин. Доля обследованных лиц с повышенными концентрациями ртути в волосах составляет 12,0% (табл. 5). Фоновый уровень ртути для городских жителей Ямало-Ненецкого автономного округа равен

$0,658 \pm 0,794$ мкг/г (среднее значение и стандартное отклонение для обследованной выборки). Концентрации ртути в биосубстратах населения варьируют от 0,033 мкг/г до 5,6 мкг/г. По критериям ФАО/ВОЗ повышенные уровни ртути в волосах взрослого населения соответствуют концентрации 2,2 мкг/г и более. Учитывая данный показатель, повышенные концентрации ртути среди жителей города выявлялись в 3,6% случаев (3 человека).

Ртуть представляет особую опасность для экосистем и относится к суперэтоксикантам. Ртуть даже в минимальных концентрациях в окружающей среде способна аккумулироваться в крови и жировой ткани рыб и животных, и по пищевой цепи поступать в организм человека, оказывая выраженный эмбриотоксический и мутагенный эффекты [9, 1, 10].

Таблица 4
Интегральные цитогенетические показатели и индексы (%)
Table 4
Integral cytogenetic indices and indices (%)

Интегральные показатели/ Integral indicator	Биомониторинг 2019. г. Надым/ Biomonitoring 2019. the city of Nadym M±SD (n=83)	Ориентировочные нормативные величины/ indicative standard values M±SD (n=205)	пределы варьирования (по Сычевой Л.П.)/ limits of variation, (by Sycheva L.P.)
Индекс цитогенетических нарушений/ Cytogenetic index	1,72±0,13	0,53±0,05***	0-5
Интегральный показатель пролиферации/ Index of proliferation	3,31±0,21	2,76±0,09*	0-8
Апоптотический индекс/ Apoptotic index	60,81±2,57	75,60±3,62**	1-100
Индекс цитогенетических нарушений(ИАС)/ Index of accumulation of cytogenetic damage (IAC)	1,17±0,13	-	-

Примечание. *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001

Notice: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001

Таблица 5
Содержание токсичных элементов в волосах населения г. Надыма (мкг/г)
Table 5
The content of toxic elements in the hair of the population of Nadym (µg / g)

Элемент/ element	Референсные величины/ Reference values	Содержание элемента/ The contents of the element		
		M±σ	Mmax - Mmin	% (выше верхней границы)/ (above upper limit)
Мышьяк/ Arsenic	0-1	0,039±0,057	0,0024-0,51	-
Кадмий/Cadmium	0-0,25	0,078±0,210	0,0011-1,43	7,2
Свинец/Lead	0-5	0,772±1,493	0,035-12,48	1,2
Ртуть/ Mercury	0-1	0,658±0,794	0,033-5,6	12,0

Среднее содержание кадмия в волосах жителей составляет 0,078±0,210 мкг/г. В 7,2% случаев выявлялись повышенные концентрации кадмия. Кадмий является одним из самых распространённых поллютантов, обладает канцерогенным и мутагенным действием, высокой кумулятивной способностью. В исследованиях, проведенных нами ранее, установлено влияние малых доз кадмия на цитогенетические характеристики клеток буккального эпителия [11]. Интенсивность цитогенетических нарушений повышается при накоплении в крови обследованных жителей кадмия и ртути [12].

Интерес представляет изучение влияния тяжелых металлов на процессы пролиферации (табл. 6). Концентрация ртути в волосах, равная 0,47 мкг/г, соответствует достоверно более высокой частоте клеток со сдвоенными ядрами по сравнению с более низкими содержаниями поллютанта в биосубстратах. Количество клеток с двумя и тремя ядрами чаще встречаются при накоплении данного металла в организме на уров-

не тенденций.

С увеличением концентрации мышьяка в биосубстрате человека увеличивается частота встречаемости клеток со сдвоенными ядрами, двуядерными клетками и трехядерных клеток.

С увеличением концентрации свинца, также наблюдаем увеличение встречаемости клеток со сдвоенными ядрами и клеток с тремя ядрами. Для клеток с двумя ядрами эта тенденция отсутствует.

Накопление тяжелого металла Cd в биосубстратах обследованного населения в определенных концентрациях не оказывает влияния на процессы пролиферации клеток буккального эпителия.

Таблица 6

Частота нарушений показателей пролиферации в зависимости от концентраций тяжелых металлов
Table 6
The frequency of violations of proliferation indicators depending on the concentration of heavy metals

Перцентили/ Percentiles	≤25% N=21	25–75% N=41	≥75% N=21
Показатели/ indicators			
Ртуть, мкг/г/ Mercury, µg / g			
М± SD	0,1677±0,0604***	0,4727±0,1372***	1,5095±1,1915**
Сдвоенные ядра клетки/ Dual core cell, ‰	0,6667±0,6424*	1,1707±1,3597*	0,5714±0,6598*
Двухъядерные клетки/ binucleated cells, ‰	2,0952±1,4770	2,3415±1,4916	2,8095±2,2598
Трех ядерные клетки/ three-core cells, ‰	0±0	0,0244±0,1543	0,0476±0,2130
Мышьяк, мкг/г/ Arsenic, µg / g			
М± SD	0,0084±0,0032***	0,0297±0,0077*	0,0879±0,0971*
Сдвоенные ядра клетки/ Dual core cell, ‰	0,8571±1,0367	0,8049±0,7061	1,0952±1,6302
Двухъядерные клетки/ binucleated cells, ‰	2,4762±1,9425	2,0976±1,2456	2,9048±2,1581
Трех ядерные клетки/ three-core cells, ‰	0±0	0±0	0,0952±0,2935
Кадмий, мкг/г/ Cadmium, µg / g			
М± SD	0,0060±0,0022*	0,0185±0,0077*	0,2652±0,3571*
Сдвоенные ядра клетки/ Dual core cell, ‰	1,0476±1,090	0,6341±0,6151	1,2381±1,6007
Двухъядерные клетки/ binucleated cells, ‰	3,0952±1,9249	2,2683±1,6383	1,9524±1,4953
Трех ядерные клетки/ three-core cells, ‰	0±0	0,0488±0,2154	0±0
Свинец, мкг/г/ Lead, µg / g			
М± SD	0,1218±0,0439***	0,3890±0,1590*	2,1709±2,4695*
Сдвоенные ядра клетки/ Dual core cell, ‰	0,6190±0,7854	0,8780±0,8609	1,1905±1,5922
Двухъядерные клетки/ binucleated cells, ‰	2,6190±1,7037	2,3171±1,7867	2,3333±1,6427
Трех ядерные клетки/ three-core cells, ‰	0±0	0,0244±0,1543	0,0476±0,2130

Примечание *p<0,05

Notice: *p<0,05

Выводы

Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о повышенной распространенности клеток с протрузиями, двухъядерных клеток, клеток с конденсацией хроматина и кариорексисом.

Выявлены повышенные концентрации токсичных элементов ртути и кадмия в волосах жителей города. Учитывая критерий ФАО/ВОЗ, повышенные концентрации ртути среди жителей города установлены в 3,6% случаев (3 человека). Повышенные концентрации кадмия зафиксированы у 7,2% обследованных жителей.

Связи между накоплением тяжелых металлов в биосубстратах (волосы) и показателями пролиферации не выявлено. В результате исследования получены данные об отсутствии влияния мышьяка, кадмия и свин-

ца на процессы пролиферации в клетках буккального эпителия жителей г. Надым. Выявлено достоверное увеличение количество клеток со сдвоенными ядрами при достижении концентрации ртути 0,47 мкг/г в волосах обследуемых жителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биомониторинг человека: факты и цифры. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2015. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/276388/Human-biomonitoring-facts-figures-ru.pdf?ua=1
2. Ильинских Н.Н., Семенова А.Г., Романова М.В., Ильинских Е.Н. Биологический фактор мутагенеза // Актуальные проблемы биологии. Сборник научных работ. 2004. Том 3 №1. С.218.
3. Ильинских И.Н., Новицкий В.В., Ильинских Е.Н. и др. Инфекционная кариопатология / под ред. проф. Ильинских Н.Н. Томск: Изд-во Том. ун-та. 2005. 168 с.: ил.
4. Ильинских Н.Н., Язиков Е.Г., Ильинских Е.Н., Ильинских И.Н. Генотоксикология тяжелых металлов и радиоактивных элементов: монография. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2013. 500 с.
5. Сычева Л.П. Цитогенетический мониторинг для оценки безопасности среды обитания человека // Гигиена и санитария. 2012. №6. С.68-72. 123.
6. Сычева Л.П., Журков В.С., Рахманин Ю.А. Генетическая токсикология в гигиене на современном этапе // 4 съезд токсикологов России. 2013. б С. 33-35.
7. Беляева Н.Н., Сычева Л.П., Журков В.С., Шамарин А.А., Коваленко М.А. Гасимова З.М. и др. Оценка цитологического и цитогенетического статуса слизистых оболочек полости носа и рта у человека: Методические рекомендации. М.; 2005.
8. Сычева Л.П. Биологическое значение, критерии определения и пределы варьирования полного спектра кариологических показателей при оценке цитогенетического статуса человека. Медицинская генетика. 2007; (11): 3 – 11.
9. Sheehan M.C., Burke T.A., Navas-Acien A., Breyse P.N., McGreadyd J, Fox M.A. Global methylmercury exposure from seafood consumption and risk of developmental neurotoxicity: a systematic review. Bull World Health Organ 2014; 92: 254-269 (doi: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.12.116152>).
10. Бичева Г.Г. Гигиеническая оценка влияния ртути на здоровье сельского населения, проживающего в зоне техногенного загрязнения: Автореф. дис.... канд. мед.наук. Иркутск, 2009, 21с.
11. Агбальян Е.В., Шинкарук Е.В. Характеристика цитогенетических и цитотоксических эффектов малых доз кадмия. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 6 (ч.3). 2015. С.427-431.
12. Агбальян Е.В., Шинкарук Е.В. Характер зависимости «доза-эффект» в отношении индукции цитогенетических нарушений на воздействие поллютантов// Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2018. №1 (98). С. 56-60.

REFERENCES

1. Human biomonitoring: facts and figures. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2015 http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/276388/Human-biomonitoring-facts-figures-ru.pdf?ua=1
2. Ilinsky N.N., Semenova A.G., Romanova M.V., Ilinsky E.N. Biological factor of mutagenesis. Actual problems of biology. Collection of scientific papers. 2004. Volume 3, No. 1. P.218. (in Russ)
3. Ilinsky I.N., Novitsky V.V., Ilinsky E.N. and other Infectious karyopathology. ed. Ilinsky N.N. Tomsk: Tomsk University Press. 2005. 168 p .. (in Russ)
4. Ilinsky N.N., Yazikov E.G., Ilinsky E.N., Ilinsky I.N. Genotoxicology of heavy metals and radioactive elements: monograph. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Press. 2013. 500 p. (in Russ)
5. Sycheva L.P. Cytogenetic monitoring for assessment of the safety of human environment. Gигиена i Sanitariya. – 2012. – No. 6. – pp. 68-72. (in Russ)
6. Sycheva, L.P., Zhurkov, VS, Rakhmanin, Yu.A. Genetic toxicology in hygiene at the present stage. 4th Congress of Toxicologists of Russia. 2013. b P. 33-35
7. Guidelines «Assessment of cytological and cytogenetic status of human nasal and oral mucosa.» Belyaeva N.N., Sycheva L.P., Zhurkov V.S., Shamarin A.A., Kovalenko M.A., Gasimova Z.M., et al. M. – 2005 – 37 p. (in Russ)
8. Sycheva L.P. Biological significance, determining criteria and variation limits of the full range of karyological indicators in assessing of human cytogenetic status. Medicinskaya Genetika. – 2007 – No. 11. – pp. 3-11. (in Russ)
9. Sheehan M.C., Burke T.A., Navas-Acien A., Breyse P.N., McGreadyd J, Fox M.A. Global methylmercury exposure from seafood consumption and risk of developmental neurotoxicity: a systematic review. Bull World Health Organ 2014; 92: 254-269 (doi: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.12.116152>)
10. Bicheva G.G. Hygienic assessment of the effect of mercury on the health of the rural population living in the zone of technogenic pollution: Avtoref. Dis Candidate of Medical Sciences Irkutsk, 2009, 21p. (in Russ)
11. Agbalyan E.V., Shinkaruk E.V. Characteristics of cytogenetic and cytotoxic effects of low doses of cadmium. International Journal of Applied and Basic Research. Number 6 (part 3). 2015. pp. 427-431. (in Russ)
12. Agbalyan E.V., Shinkaruk E.V. The nature of the dose-effect relationship in relation to the induction of cytogenetic disorders on the effects of pollutants. Scientific Herald of the Yamalo-Nenets Autonomous District. 2018. No. 1 (98). pp. 56-60. (in Russian)

Авторы

Шинкарук Елена Владимировна
Научный сотрудник сектора эколого-биологических исследований
SPIN-код автора 5764-1897
elena1608197@yandex.ru

Агбалян Елена Васильевна
Доктор биологических наук, заведующая сектором эколого-биологических исследований отдела естественно-научных исследований
SPIN-код автора 9788-4400
agbelena@yandex.ru

ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»
Российская Федерация, 629007, ЯНАО, г. Салехард, ул. Республики, д.20, офис 203

Authors

Elena V. Shinkaruk
Researcher of Environmental studies sector Scientific Center of Arctic
elena1608197@yandex.ru

Elena V. Agbalyan
Dr. Sci. (Biology), Chief researcher, Head of Environmental studies sector Scientific Center of Arctic Research
agbelena@yandex.ru

State Public Institution of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug «Scientific Research Centre of the Arctic Republic str. 20, office 203, Salekhard YaNAO Russian Federation, 629007