

УДК 546.3:574.24:616-053.5

ВЛИЯНИЕ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗДОРОВЫХ ДЕТЕЙ

© 2017 г. Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, Ф. Р. Дреева, *А. А. Шевченко

Кабардино-Балкарский научный центр РАН,
*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, г. Нальчик

Работа посвящена изучению возможного скрытого генетического влияния захороненных отходов вольфрамово-молибденового горно-обогатительного комбината на детей. Обследованы дети младшего школьного возраста пос. Былым (загрязненная зона) и пос. Верхний Баксан (чистая зона) Кабардино-Балкарской Республики. Для оценки уровня загрязнения окружающей среды было определено содержание тяжелых металлов в питьевой воде, почвах, пастбищных травах, картофеле и молоке, производимых в подсобных хозяйствах, а также в волосах детей рентгено-флуоресцентным методом и методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Для определения цитогенетического статуса детей использовали полиорганный кариологический тест.

Почва, питьевая вода, картофель и молоко в зоне расположения рекультивированного хвостохранилища имеют слабую степень загрязнения тяжелыми металлами. Статистически значимых различий по содержанию тяжелых металлов в организме детей из разных зон не выявлено из-за высокой индивидуальной вариабельности. У детей, проживающих в загрязненной зоне, повышено общее число цитогенетических нарушений в 4,1 раза, показателей пролиферации в 1,5 раза, деструкции ядра в 2 раза и апоптоза в 1,2 раза по сравнению с проживающими в чистой зоне. Таким образом, выявлено скрытое генотоксическое влияние захороненных отходов горно-обогатительного комбината на детское население, проживающее в непосредственной близости от них, которое привело к значительному росту количества детей, относящихся к группам среднего и высокого риска.

Ключевые слова: горно-обогатительный комбинат, вольфрамово-молибденовые отходы, тяжелые металлы, дети

THE IMPACT OF THE REMEDIATED WASTES OF MINING PROCESSING PLANT ON CYTOGENETIC INDICES IN HEALTHY CHILDREN

N. V. Reutova, T. V. Reutova, F. R. Dreeva, *A. A. Shevchenko

Kabardino-Balkarian Scientific Center Russian Academy of Science, Nalchik
*Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education
«Kabardino-Balkarian State University named after Kh. M. Berbekova», Nalchik, Russia

Environmental pollution with heavy metals and the effects of this pollution have remained challenging since long. Particular interest represents the effects of prolonged exposure to low doses of heavy metals. In order to determine the level of environmental pollution the content of heavy metals in drinking water, soils, pasture grasses, potatoes, and milk produced in the farms and in the hair of children was determined using x-ray fluorescence method and atomic absorption spectrophotometry. Children of primary school age from the vicinity of reclaimed tailing dump of tungesto-molybdc factory and clean zone were examined. To evaluate the cytogenetic status of the children the multisystemic karyological test was used. Soil, drinking water, potatoes and milk in the area of the reclaimed tailing dump were characterized by a low level of heavy metal pollution. There were no significant differences in the heavy metal concentration in children's body from both zones due to the high individual variability. The frequency of micronuclei (4,1 times), biomarkers of cell proliferation (1,5 times), destruction of cell nuclei (2 times) and frequency of apoptotic cells (1,2 times) was higher in children from polluted area. Thus, we identified an implicit genotoxic effect of disposed wastes on the child population living in close proximity to them, which led to a significant increase in the number of children belonging to the groups of medium and high risk.

Keywords: mining processing plant, tungesto-molybdc wastes, heavy metals, children

Библиографическая ссылка:

Реутова Н. В., Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Шевченко А. А. Влияние рекультивированных хвостохранилищ горно-обогатительного комбината на цитогенетические показатели здоровых детей // Экология человека. 2017. № 12. С. 3–8.

Reutova N. V., Reutova T. V., Dreeva F. R., Shevchenko A. A. The Impact of the Remediated Wastes of Mining Processing Plant on Cytogenetic Indices in Healthy Children. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 12, pp. 3-8.

Вопросы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) и последствий этого загрязнения остаются актуальными уже на протяжении длительного времени. Как известно, ТМ обладают как прямым мутагенным и канцерогенным действием [14, 17, 21], так и опосредованным, вызывая оксидативный стресс [18, 19, 22]. Еще более интересными являются появившиеся не так давно исследования, показывающие

опосредованное влияние (через оксидативный стресс) ТМ не только на возникновение и развитие онкологических заболеваний, но и на целый ряд других широко распространенных заболеваний человека, таких как сердечно-сосудистые и нейродегенеративные, диабет, атеросклероз [7, 20]. В связи с этим особый интерес вызывают последствия длительного влияния низких доз ТМ, с которыми достаточно часто сталкивается

население, проживающее в районах расположения соответствующих промышленных предприятий [1, 3, 9].

Целью данной работы была оценка загрязнения природных объектов (в том числе и продуктов питания) тяжелыми металлами в окрестностях рекультивированного хвостохранилища горно-обогатительного комбината и изучение возможного генетического влияния этого загрязнения на детей.

Методы

Было проведено сравнительное обследование детей, проживающих в пос. Былым (загрязненная зона) и пос. Верхний Баксан (чистая зона) Эльбрусского района Кабардино-Балкарской Республики. Поселок Былым расположен на расстоянии 1,5–2 км от рекультивированного хвостохранилища горно-обогатительного комбината. Комбинат более 60 лет занимался разработкой вольфрамово-молибденового месторождения открытым и шахтным способом и обогащением добытой руды, а к 2002 году полностью прекратил свою работу. Отходы обогатительной фабрики этого комбината складировались в хвостохранилище, на котором по мере высыхания пульпы проводились рекультивационные мероприятия, завершённые к 2010 году. В качестве зоны сравнения был выбран пос. Верхний Баксан (В. Баксан), расположенный в 30 км вверх по ущелью.

С целью сравнительного изучения содержания ТМ в окружающей среде были отобраны пробы питьевой воды, почв с приусадебных участков в обоих поселках, картофеля, выращиваемого на этих участках, и молока, производимого в подсобных хозяйствах обследуемых детей.

В сентябре 2014 года были обследованы дети младшего школьного возраста, родившиеся в указанных населенных пунктах, по 26 человек в каждом. Средний возраст составил $(8,85 \pm 0,23)$ года в пос. Былым и $(8,77 \pm 0,29)$ года в пос. В. Баксан, то есть все дети родились после закрытия комбината. В обоих поселках в выборках было по 13 мальчиков и 13 девочек. Перед проведением обследования было получено информированное согласие родителей, которые заполняли анкету на каждого ребенка. Судя по анкетам, все дети на момент исследования были здоровы, не проходили рентгеновского обследования в течение предыдущего года, не болели и не принимали лекарств в течение предыдущих двух месяцев.

Для выявления возможного накопления ТМ в организме детей у них были взяты для анализа волосы в количестве 0,2–4 г.

Минерализацию всех биологических проб после предварительной подготовки проводили смесью концентрированной азотной кислоты и перекиси водорода с использованием СВЧ-установки для минерализации проб. Содержание ТМ в минерализате определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с электротермической атомизацией.

В почвах определяли валовое содержание ТМ с использованием рентгенофлуоресцентного анализа.

Для оценки цитогенетического статуса детей использовали неинвазивный полиорганный кариологический тест [2, 10, 11]. Этот метод позволяет оценивать кроме микроядер также показатели пролиферации и апоптоза эксфолиативных клеток. Для приготовления препаратов деревянным шпателем брали соскоб слизистой правой и левой щеки в районе коренных зубов и нанесли на сухие стекла методом отпечатков. Полученные препараты высушивали на воздухе и фиксировали в спирт-уксусной (3:1) смеси. Окрашивали 2,5 % раствором ацеорсеина (orcein Merk) в течение 1 часа при 37 °С. Цитоплазму докрашивали 1 % спиртовым раствором светлого зеленого (light green, ICN Biomedicals Inc.) в течение 1 мин. Защищенные препараты анализировали с помощью светового микроскопа при увеличении 1 000.

Статистическую обработку результатов по цитогенетическим показателям проводили с использованием критерия Стьюдента для парных наблюдений.

Результаты

Так как валовое содержание ТМ в почвах определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа, эти данные включены в отдельную табл. 1. Поскольку предельно допустимые концентрации (ПДК) установлены не для всех изучаемых ТМ, в таблицах они приводятся частично.

Таблица 1
Содержание тяжелых металлов в почвах, г/кг

Населенный пункт	Mo	Cu	Pb	Mn	Zn	Cr
Былым	< ПО	0,62	0,18	3,61	1,06	0,26
В. Баксан	< ПО	0,48	0,21	3,94	1,12	0,11
ПДК _{вал}		0,55	0,03	1,5	0,1	

Примечание. ПО – предел определения.

Почвы с огородов в изучаемых поселках почти не отличались по содержанию ТМ. Обращает на себя внимание высокое содержание марганца, цинка и меди в этих почвах, что характерно для данного региона [4].

Результаты, полученные с использованием метода ААС по загрязнению остальных объектов окружающей среды тяжелыми металлами, приведены в табл. 2.

Концентрации всех изученных металлов в питьевой воде обоих поселков на порядки ниже ПДК для питьевой воды. Однако в пос. Былым, расположенном рядом с хвостохранилищем, содержание молибдена в воде в 6,8 раза выше, чем в воде контрольного пос. В. Баксан. Также повышено содержание марганца и цинка. Концентрации остальных металлов более или менее сравнимы.

Приоритетным металлом-загрязнителем в данном регионе является молибден, но его содержание в пастбищных растениях в обоих пунктах практически одинаковое. Содержание почти всех остальных металлов (кроме свинца и серебра) в растениях из пос. Былым выше, чем в растениях из контрольного пос. В. Баксан.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в объектах окружающей среды

Населенный пункт	Mo	Cu	Pb	Cd	Ag	Mn	Ni	Zn	Cr
Питьевая вода, мкг/л (СКО)									
Былым	2,10 (0,42)	1,53 (0,13)	0,41 (0,08)	0,04 (0,001)	0,83 (0,13)	3,92 (0,53)	0,85 (0,03)	9,12 (1,10)	0,51 (0,001)
В. Баксан	0,31 (0,15)	2,14 (0,30)	0,75 (0,06)	0,07 (0,007)	0,77 (0,18)	0,86 (0,02)	0,80 (0,14)	1,94 (0,44)	0,35 (0,05)
ПДК	250	1000	30	1	50	100	100	5000	500
Пастбищные растения, мкг/г сухого веса (СКО)									
Былым	2,27 (0,23)	8,83 (0,20)	0,065 (0,005)	0,040 (0,002)	0,050 (0,005)	27,88 (3,07)	1,94 (0,10)	42,75 (1,71)	0,91 (0,03)
В. Баксан	2,33 (0,20)	6,68 (0,20)	0,08 (0, 13)	0,022 (0,005)	0,082 (0,018)	26,14 (0,78)	1,08 (0,021)	29,15 (1,17)	0,66 (0,03)
ПДК*		10,0	0,5	0,1					
Картофель, мкг/г сырого веса (СКО)									
Былым	0,18 (0,018)	0,88 (0,026)	< ПО	0,004 (0,0006)	0,013 (0,001)	0,52 (0,12)	0,057 (0,000)	1,94 (0,19)	0,038 (0,00)
В. Баксан	0,073 (0,00)	0,58 (0,029)	< ПО	0,006 (0,0003)	0,014 (0,001)	1,18 (0,20)	0,053 (0,000)	2,33 (0,40)	0,030 (0,00)
ПДК		5,0	1,0	0,1			0,5	10,0	0,2
Молоко, мкг/л (СКО)									
Былым	0,024 (0,002)	0,082 (0,004)	< ПО	0,0005 (0,00)	0,011 (0,001)	0,011 (0,00)	0,028 (0,01)	4,60 (0,23)	0,024 (0,002)
В. Баксан	0,045 (0,003)	0,071 (0,005)	< ПО	< ПО	0,011 (0,001)	0,036 (0,002)	0,048 (0,004)	4,56 (0,23)	0,043 (0,00)
ПДК		10,0	0,1	0,03			0,1	5,0	0,1

Примечания.* – приведены ПДК для зерновых культур; СКО – среднее квадратическое отклонение.

Содержание молибдена в картофеле из пос. Былым в 2,5 раза выше, чем в картофеле из контрольного поселка, также более высокими концентрациями отличается медь. Марганца, наоборот, больше в картофеле из контрольного поселка. По всем остальным элементам значимых различий не выявлено.

Несмотря на то, что в пастбищной траве обоих поселков уровень молибдена был практически одинаковым, его содержание в молоке в контрольном пос. В. Баксан оказалось выше. Однако следует отметить, что эти концентрации, как и концентрации других металлов за исключением цинка, очень низкие. Для всех элементов они на порядки ниже, чем ПДК, и только для цинка они сравнимы с ПДК.

В табл. 3 приведены данные по содержанию ТМ в волосах обследуемых детей и имеющиеся в литературе данные по интервалам допустимых концентраций ТМ [9]. Поскольку нам не удалось найти данных по среднему содержанию серебра в волосах, в табл. 3 они отсутствуют. Для оценки содержания ТМ в организме мы выбрали именно этот показатель потому, что в волосах происходит концентрирование микроэлементов. Микроэлементный состав крови первым реагирует на повышение ТМ в окружающей среде, но может не отражать истинного уровня содержания ТМ в организме [8, 9], особенно в случае длительного воздействия низких доз.

Приоритетным загрязнителем в изучаемом районе является молибден, но у детей, проживающих в обо-

Таблица 3

Среднее содержание тяжелых металлов в волосах детей, мкг/г (СКО)

Элемент	Пос. Былым	Пос. В. Баксан (чистая зона)	Допустимый уровень	
			Нижний	Верхний
Mo	0,087 (0,014)	0,088 (0,014)	0,02	0,15
Cu	12,25 (0,63)	10,99 (0,45)	11	17
Pb	0,59 (0,06)	0,86 (0,18)	0	3
Cd	0,104 (0,012)	0,164 (0,011)	0	0,25
Ag	1,166 (0,102)	1,304 (0,103)		
Mn	0,862 (0,05)	0,732 (0,04)	0,25	1,8
Ni	0,708 (0,076)	0,934 (0,06)	0	2
Zn	186,496 (7,53)	149,610 (7,82)	180	230
Cr	0,415 (0,025)	0,372 (0,024)	0,15	1

их поселках, его содержание оказалось практически одинаковым. В волосах детей в загрязненном пос. Былым обнаружены более высокие концентрации меди, марганца, цинка и хрома по сравнению с чистой зоной, но эти различия статистически не значимы в связи с высокой индивидуальной вариабельностью.

В настоящее время широко используется методика оценки генотоксического влияния загрязнения окружающей среды с использованием микроядерного теста на эксфолиативных клетках буккального эпителия [11, 15, 16]. Поэтому для определения возможного генотоксического влияния захороненных

отходов комбината нами и был применен этот тест, результаты которого приведены в табл. 4. В понятие цитогенетических нарушений входит доля клеток с микроядрами и протрузиями, и действующий фактор считается цитогенетически активным, если вызывает статистически значимое повышение этого показателя [10], что и было обнаружено в нашем исследовании. В понятие пролиферации входят двуядерные клетки и клетки со сдвоенными ядрами. Появление таких клеток указывает на наличие токсического действия исследуемого фактора. Эти клетки образуются в процессе клеточной пролиферации, которая направлена на замещение погибших клеток и клеток с повреждениями [10]. В нашем исследовании у детей, проживающих в загрязненной зоне, показатель пролиферации повышен в 1,5 раза. У этих детей также в 2 раза выше показатели ранней деструкции ядра, а показатели апоптоза увеличены на 20 %.

В загрязненной зоне только у 2 (7,7 %) детей не было найдено клеток с цитогенетическими нарушениями, в то время как в чистой зоне таких детей было 13 (50 %).

Таблица 4

Цитогенетические показатели клеток буккальных эпителиоцитов ($X_{cp} \pm m$)		
Показатель	Доля клеток с исследуемыми показателями, %	
	Былым	В. Баксан
Доля клеток с цитогенетическими нарушениями	2,63±0,42**	0,64±0,16
Суммарный показатель пролиферации	10,43±0,84*	6,92±0,42
Ранняя деструкция ядра	29,92±3,29*	15,08±2,44
Апоптотический индекс	54,43±2,16	45,92±2,04

Примечание. * – $p < 0,01$; ** – $p < 0,001$.

Обсуждение результатов

Настоящая работа посвящена изучению возможного скрытого генетического влияния рекультивированных хвостохранилищ горно-обогатительного комбината, занимавшегося добычей открытым и шахтным способом вольфрамово-молибденовых руд и их дальнейшим обогащением. Ранее в данном регионе проводились исследования по изучению влияния этого производства на здоровье населения, проживающего в районе его расположения. В результате этих исследований было выявлено, что ни по одной из нозологий, в том числе и по онкологическим заболеваниям, уровень заболеваемости не повышен [12]. В то же время в данном регионе имела место повышенная частота спонтанных аборт, что говорит о наличии скрытого генетического влияния [13]. С 2002 года комбинат полностью прекратил свою работу, но остались сотни миллионов тонн отходов на отвалах и в хвостохранилищах (самое большое из которых было рекультивировано). В связи с этим встал вопрос о возможном генотоксическом влиянии этих отходов на население. В настоящее время наиболее

информативным, чувствительным, неинвазивным методом считается полиорганный кариологический тест, который и был использован в данном исследовании.

В результате проведенных исследований было выявлено, что содержание ТМ в объектах окружающей среды не превышает ПДК. В пос. Былым, расположенном в непосредственной близости от захороненного хвостохранилища, повышено содержание молибдена в питьевой воде и картофеле с приусадебных участков по сравнению с чистой зоной (пос. В. Баксан). Также в пос. Былым повышено содержание марганца и цинка в питьевой воде, меди в картофеле и почти всех изученных металлов (за исключением свинца и серебра) в пастбищных травах. Несмотря на это, заметного передвижения металлов по пищевым цепям мы не выявили, так как не обнаружено их накопления в молоке и организме детей. Если сравнить наши данные с имеющимися в литературе [6, 9], то выявленные нами концентрации ТМ в волосах детей соответствуют тем, которые характерны для незагрязненных районов. Это скорее всего связано с невысокими концентрациями ТМ в изученных объектах окружающей среды. Тем не менее скрытое генотоксическое влияние отходов комбината было обнаружено, о чем свидетельствуют изменения в цитогенетическом статусе обследованных детей. По литературным данным, частота клеток с цитогенетическими повреждениями в контролях варьирует от 0,53 % [11] до 0,73 % [15] и 1,1 % [16]. Полученные нами результаты для чистой зоны (0,64 %) вполне соответствуют средним статистическим показателям. В отличие от микроядер остальные показатели рассматривают значительно реже. Так, по данным Л. П. Сычевой [11], средний показатель пролиферации составляет 2,76 %, что ниже, чем в нашем исследовании. Возможно, эти отличия связаны с тем, что обследованные нами дети проживают в условиях среднегорья (1 200–1 550 м над уровнем моря), но этот вопрос требует дальнейших серьезных исследований.

У детей, проживающих в непосредственной близости от захороненного хвостохранилища, было выше общее число цитогенетических нарушений в 4,1 раза, показатели пролиферации в 1,5 раза, деструкции ядра в 2 раза и апоптоза в 1,2 раза по сравнению с проживающими в чистой зоне.

Аналогичные исследования проводились в регионе, загрязненном нефтепродуктами. Было выявлено, что в результате воздействия этого типа загрязнений общее число цитогенетических повреждений увеличено в 2,5–4,3 раза в зависимости от степени загрязнения окружающей среды; показатели пролиферации увеличены в 1,5–3,4 раза, а апоптоза – в 2,3–3,2 раза [5].

Как известно, усиление апоптоза приводит к снижению частоты клеток с цитогенетическими повреждениями. Усиление же пролиферации способствует воспроизведению таких клеток. В связи с этим предложено ввести индекс накопления цитогенетических повреждений I_{ac} , который наиболее полно

характеризует цитогенетический статус индивида с учетом особенностей клеточной кинетики и позволяет определить группы риска [11]. Результаты таких расчетов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Группы риска по цитогенетическому статусу детей

Населенный пункт	Индекс накопления цитогенетических нарушений I_{ac}					
	$I_{ac} \leq 2$ (низкий риск)		$2 > I_{ac} < 4$ (умеренный риск)		$I_{ac} \geq 4$ (высокий риск)	
	Количество детей					
	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
Былым	7	26,92	8	30,77	11	42,31
В. Баксан	19	73,08	4	15,38	3	11,54

Как видно из данных таблицы, количество детей с высокой степенью риска почти в 4 раза больше в загрязненной зоне. В ней также в 2 раза больше детей из группы умеренного риска. Таким образом, несмотря на слабую степень загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, более 2/3 здоровых детей, подвергающихся их воздействию на протяжении всей своей жизни, оказались в группе риска.

Выводы:

- почва, питьевая вода, картофель и молоко в зоне расположения рекультивированного хвостохранилища имеют слабую степень загрязнения тяжелыми металлами;

- повышенное содержание ТМ в окружающей среде и ряде продуктов питания, производимых в подсобных хозяйствах, не привело к их накоплению в организме детей;

- выявлено скрытое генотоксическое влияние захороненных отходов горно-обогатительного комбината на детское население, проживающее в непосредственной близости от них, которое привело к значительному росту количества детей, относящихся к группам среднего и высокого риска.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках соглашения № 14-17-00474 от 01.07.2014 г.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Вельданова М. В., Скальный А. В. Экологический портрет человека и роль микроэлементов. М., 2001. 236 с.
2. Беляева Н. Н., Сычева Л. П., Журков В. С. Оценка цитологического и цитогенетического статуса слизистых оболочек полости носа и рта у человека: методические рекомендации. М., 2005. 37 с.
3. Бобун И. И., Иванов С. И., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б., Лазарева Н. К. К вопросу о региональном нормировании химических веществ в воде на примере Архангельской области // Гигиена и санитария. 2011. № 3. С. 91–95.
4. Бортников Н. С., Гурбанов А. Г., Богатиков О. А. Оценка воздействия захороненных промышленных отходов Тырнаузского вольфрамомолибденового комбината на экологическую обстановку (почвенно-растительный слой)

прилегающих территорий Приэльбрусья (Кабардино-Балкарская Республика, Россия) // Геоэкология. 2013. № 5. С. 405–416.

5. Джамбетова П. М., Сычева Л. П., Абилов С. К., Солтаева А. М.-Х. Комплексное исследование влияния нефтезагрязнения на генетическое здоровье детей // Медицинская генетика. 2014. Т. 13. Вып. 8 (146). С. 42–46.

6. Климов И. А., Трифонова Т. А. Изучение накопления тяжелых металлов в волосах детей // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 5 (2). С. 366–368.

7. Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.

8. Никанов А. Н., Кривошеев Ю. К., Гудков А. Б. Влияние морской капусты и напитка «Альгапект» на минеральный состав крови у детей – жителей г. Мончегорска // Экология человека. 2004. № 2. С. 30–32.

9. Скальный А. В., Сальникова Е. В., Кудрявцева Е. А., Кустова А. С. Аккумуляция тяжелых металлов и микроэлементов в волосах населения Оренбургской области // Микроэлементы в медицине. 2012. № 13. Вып. 4. С. 42–45.

10. Сычева Л. П. Биологическое значение, критерии определения и пределы варьирования полного спектра кардиологических показателей при оценке цитогенетического статуса человека // Медицинская генетика. 2007. Вып. 11. С. 3–11.

11. Сычева Л. П. Цитогенетический мониторинг для оценки безопасности среды обитания человека // Гигиена и санитария. 2012. Вып. 6. С. 68–72.

12. Реутова Н. В., Воробьева Т. И., Реутова Т. В., Тумова А. М. Анализ заболеваемости населения в районе расположения вольфрамомолибденового комбината // Гигиена и санитария. 2007. № 4. С. 13–15.

13. Реутова Н. В., Джамбетова П. М., Подзюбан С. Б., Реутова Т. В. Влияние отходов горно-обогатительного комбината на некоторые показатели репродуктивного здоровья населения // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. № 3 (6). С. 1224–1228.

14. Bertin G., Averbek D. Cadmium: cellular effects, modifications of biomolecules, modulation of DNA repair and genotoxic consequences (a review) // Biochimie. 2006. Vol. 88 (11). P. 1549–1559.

15. Bonassi S., Coskun E., Ceppi M. et al. The Human MicroNucleus project on exfoliated buccal cells (HUMN_{XL}): the roll of life-style, host factors, occupational exposures, health status, and assay protocols // Mutat. Res. 2011. Vol. 728. P. 81–172.

16. Ceppi M., Biasotti B., Fenech M., Bonassi S. Human population studies with the exfoliated buccal micronucleus assay: statistical and epidemiological issues // Mutat. Res. 2010. Vol. 705. P. 11–19.

17. Costa M. Toxicity and carcinogenicity of Cr(VI) in animal models and humans // Crit. Rev. Toxicol. 1997. Vol. 27. P. 431–442.

18. Ercal N., Gurer-Orhan H., Aykin-Burns N. Toxic metals and oxidative stress. Part I. Mechanisms involved in metal-induced oxidative damage // Curr. Top. Med. Chem. 2001. Vol. 1. P. 529–539.

19. Galanis A., Karapetsas A., Sandaltzopoulos R. Metal-induced carcinogenesis, oxidative stress and hypoxia signaling // Mutat. Res. 2009. Vol. 674. P. 31–35.

20. Lomova K., Valko M. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease // Toxicology. 2011. Vol. 283 (2–3). P. 65–87.

21. Salnikow K., Zhitkovich A. Genetic and epigenetic mechanisms in metal carcinogenesis and cocarcinogenesis: nickel, arsenic, and chromium // *Chem. Res. Toxicol.* 2008. Vol. 21. P. 28–44.

22. Valko M., Rhodes C. J., Moncol J. et al. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer // *Chem. Biol. Interact.* 2006. Vol. 160. P. 1–40.

References

1. Agadzhanyan N. A., Vel'danova M. V., Skal'nyi A. V. *Ekologicheskii portret cheloveka i rol' mikroelementov* [Environmental portrait of the man and the role of trace elements]. Moscow, 2001, 236 p.

2. Belyaeva N. N., Sycheva L. P., Zhurkov V. S. *Metodicheskie rekomendatsii «Otsenka tsitologicheskogo i tsitogeneticheskogo statusa slizistykh obolochek polosti nosa i rta u cheloveka»* [Guidelines «Assessment of cytological and cytogenetic status of the mucous membranes of the nasal cavity and mouth in humans»]. Moscow, 2005, 37 p.

3. Bobun I. I., Ivanov S. I., Unguryanu T. N., Gudkov A. B., Lazareva N. K. On the issue of regional normalization of chemicals in water as an example of the Arkhangelsk Region. *Gigiena i Sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 2011, 3, pp. 91-95. [in Russian]

4. Bortnikov N. S., Gurbanov A. G., Bogatkov O. A. i dr. Influence of Buried Industrial Waste from Tynnyuz Tungsten-molybdenum Mining Complex on the Ecological Conditions (soil-plant layer) in Elbrus Area (Kabardino-Balkar Republic). *Geoekologiya* [Geoecology]. 2013, 5, pp. 405-416. [in Russian]

5. Dzhambetova P. M., Sycheva L. P., Abilev S. K., Soltaeva A. M.-Kh. Comprehensive Study of the Impact of Oil Pollution on the Genetic Health of Children. *Meditinskaya genetika* [Medical Genetics]. 2014, 13, 8 (146), pp. 42-46. [in Russian]

6. Klimov I. A., Trifonova T. A. Studying the Accumulation of Heavy Metals in Children's Hair. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of Russian Academy of Sciences]. 2012, 14, 5 (2), pp. 366-368. [in Russian]

7. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [in Russian]

8. Nikanov A. N., Krivosheev U. K., Gudkov A. B. Influence of laminaria and the drink "Algapekt" on blood mineral composition in children - residents of Monchegorsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 2, pp. 30-32. [in Russian]

9. Skal'nyy A. V., Sal'nikova E. V., Kudryavtseva E. A., Kustova A. S. Accumulation of Heavy Metals and Trace Elements in Hair of Population of the Orenburg Region. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2012, 13 (4), pp. 42-45. [in Russian]

10. 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. *Meditinskaya genetika* [Medical Genetics]. 2007, 11, pp. 3-11. [in Russian]

11. Sycheva L. P. Cytogenetic Monitoring for Assessment of Safety of Environmental Health. *Gigiena i Sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 2012, 6, pp. 68-72. [in Russian].

12. Reutova N. V., Vorob'eva T. I., Reutova T. V., Tumova A. M. An Analysis of Morbidity of Population from the Vicinity of Tungsten-molibdenic Factory. *Gigiena i Sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 2007, 4, pp. 13-15. [in Russian]

13. Reutova N. V., Dzambetova P. M., Podzyuban S. B., Reutova T. V. Influence of Mining-enriching Industrial Complex Waster on Some Indicators of Reproductive Health of the Population. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of Russian Academy of Sciences]. 2013, 15, 3 (6), pp. 1224-1228. [in Russian]

14. Bertin G., Averbeck D. Cadmium: cellular effects, modifications of biomolecules, modulation of DNA repair and genotoxic consequences (a review). *Biochimie.* 2006, 88 (11), pp. 1549-1559.

15. Bonassi S., Coskun E., Ceppi M. et al. The Human MicroNucleus project on exfoliated buccal cells (HUMN_{MI}): the roll of life-style, host factors, occupational exposures, health status, and assay protocols. *Mutat. Res.* 2011, 728, pp. 81-172.

16. Ceppi M., Biasotti B., Fenech M., Bonassi S. Human population studies with the exfoliated buccal micronucleus assay: statistical and epidemiological issues. *Mutat. Res.* 2010, 705, pp. 11-19.

17. Costa M. Toxicity and carcinogenicity of Cr (VI) in animal models and humans. *Crit. Rev. Toxicol.* 1997, 27, pp. 431-442.

18. Ercal N., Gurer-Orhan H., Aykin-Burns N. Toxic metals and oxidative stress. Part 1. Mechanisms involved in metal-induced oxidative damage. *Curr. Top. Med. Chem.* 2001, 1, pp. 529-539.

19. Galanis A., Karapetsas A., Sandaltzopoulos R. Metal-induced carcinogenesis, oxidative stress and hypoxia signaling. *Mutat. Res.* 2009, 674, pp. 31-35.

20. Lomova K., Valko M. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology.* 2011, 283 (2-3), pp. 65-87.

21. Salnikow K., Zhitkovich A. Genetic and epigenetic mechanisms in metal carcinogenesis and cocarcinogenesis: nickel, arsenic, and chromium. *Chem. Res. Toxicol.* 2008, 21, pp. 28-44.

22. Valko M., Rhodes C. J., Moncol J. et al. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem. Biol. Interact.* 2006, 160, pp. 1-40.

Контактная информация:

Реутова Нина Васильевна — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»

Адрес: 360002, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Балкарова, д. 2

E-mail: reutova371@mail.ru