

DOI: 10.17117/na.2015.07.904

Поступило в редакцию: 13.07.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.07.904.pdf>

## Степанова Н.В., Фомина С.Ф., Валеева Э.Р. Биологический мониторинг, как показатель экологического благополучия территории по загрязнению тяжелыми металлами

### Stepanova N.V., Fomina S.F., Valeeva E.R. Biological monitoring as the territory ecological well-being index of heavy metals pollution

Проведено исследование содержания тяжелых металлов в биологических средах (волосы) детей, проживающих в различных зонах г. Казань по уровню загрязнения снегового покрова и почв тяжелыми металлами (ТМ). Достоверно значимые различия ( $p < 0,01$ ) в содержании отдельных металлов в волосах, особенно свинца и кадмия выявлены у детей, проживающих в техногенно-загрязненной зоне (Теплоконтроль). Определены статистически значимые гендерные различия: содержание Ni ( $p < 0,01$ ), Zn ( $p < 0,01$ ) и Cr ( $p < 0,001$ ) у мальчиков было выше, чем у девочек. Микроэлементный состав волос детей с болезнями органов дыхания (БОД) существенно различался по содержанию свинца ( $p < 0,05$ ), а при заболеваниях мочеполовой системы (МПС) определялся достоверно низкий уровень цинка ( $p < 0,01$ ) и меди ( $p < 0,05$ ) по сравнению со всеми другими группами детей. Содержание ТМ в волосах детей являются, с одной стороны, достаточно информативным дополнительным методом оценки сложившейся экологической ситуации на отдельных территориях города, а с другой – критерием объективного прогноза заболеваемости детского населения

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, биологический мониторинг, детское население

**Степанова Наталья Владимировна**  
Кандидат медицинских наук, доцент  
Казанский (Приволжский) Федеральный  
Университет  
Казань, ул. Карла Маркса, 74

The study of heavy metals content in biological media (hair) of children living in different areas of Kazan city as far as the pollution level of the snow cover and soils with heavy metals (HM) were carried out. Significant differences ( $p < 0,01$ ) in certain metals' content in hair, of lead and cadmium in particular, were revealed in children living in the technologically polluted area (Теплоcontrol). Significant gender differences were determined: the content of Ni ( $p < 0,01$ ), Zn ( $p < 0,01$ ) and Cr ( $p < 0,001$ ) is higher in boys than in girls. Microelemental composition of hair in children with respiratory diseases (RD) differed considerably in lead content ( $p < 0,05$ ), and a significantly low level of zinc ( $p < 0,01$ ) and copper ( $p < 0,05$ ) compared with all other groups of children was determined in children with diseases of the genitourinary system (GUS). On the one hand, the HM content in children hair is a sufficiently informative additional method for the current ecological situation assessment in certain city territories, but on the other hand, it is a criterion for an objective prediction of the children population disease incidence

**Key words:** heavy metals, biological monitoring, child population

**Stepanova Natalya Vladimirovna**  
Candidate of Medical Sciences, Associate Professor  
Kazan (Volga region) federal university  
Kazan, Karl Marx st., 74

**Фомина Сурьяна Фаритовна**  
Младший научный сотрудник  
Казанский (Приволжский) Федеральный  
Университет  
Казань, ул. Карла Маркса, 74

**Fomina Suryana Faritovna**  
Junior Researcher  
Kazan (Volga region) federal university  
Kazan, Karl Marx st., 74

**Валеева Эмилия Рамзиевна**  
Кандидат медицинских наук, профессор  
Казанский (Приволжский) Федеральный  
Университет  
Казань, ул. Карла Маркса, 74

**Valeeva Emylia Ramziyevna**  
Candidate of Medical Sciences, Professor  
Kazan (Volga region) federal university  
Kazan, Karl Marx st., 74

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ  
в рамках научного проекта № 15-01-00001*

На сегодняшний день, одним из подходов для установления реальной химической нагрузки и оценки степени неблагоприятного воздействия на здоровье населения является определение химических соединений в биологических средах человека. При этом важным аспектом остается установление региональных (местных) уровней, с учетом комплекса эколого-гигиенических факторов на изучаемой территории, таких как, заболеваемость населения, состояние окружающей среды и оценка риска здоровью от воздействия вредных факторов окружающей среды [1, с.269; 4, с.14].

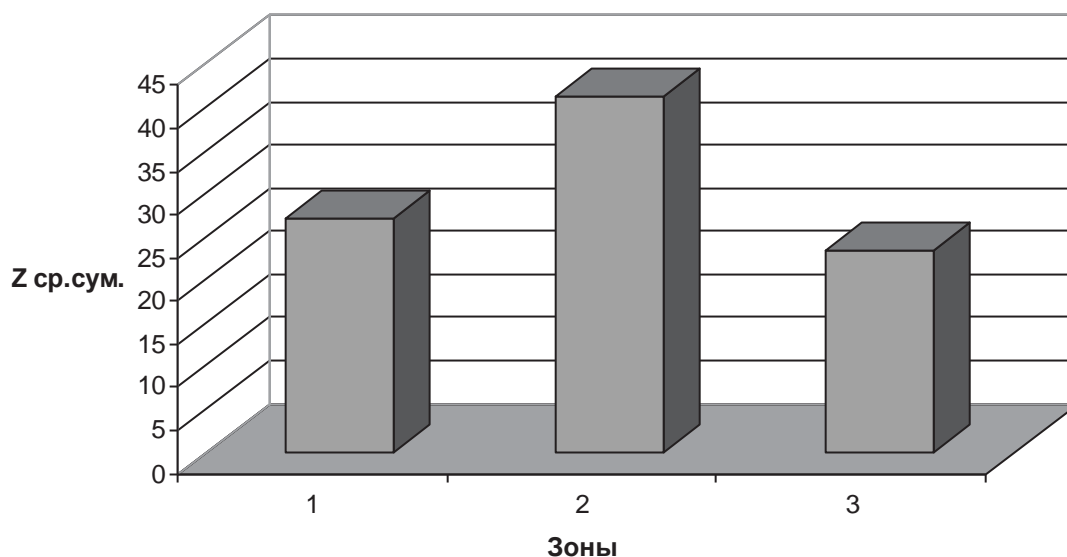
Казань – крупный индустриальный центр, по уровню развития промышленности занимающий ведущее место в РФ. На его территории размещены десятки промышленных предприятий машиностроительного, химического профиля, предприятия энергетики, развита напряженная внутригородская автотранспортная сеть. В городе к числу загрязнителей стабильно относятся тяжелые металлы (ТМ).

**Цель исследования:** изучить содержание тяжелых металлов в биологических средах (волосах) детей, проживающих в различных экологических зонах г. Казань.

**Материал и методы исследования:** На 1 этапе работы нами были определены зоны исследования на территории г. Казань. Выделение зон города Казани проводилось на основании загрязнения снегового покрова и почв тяжелыми металлами. Учитывая, что снег и почвы являются естественным накопителем химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, то в условиях крупного промышленного города они могут характеризовать многолетнее загрязнение [2, с.20; 3, с.444]. Оценка загрязненности почвы проводилась в соответствии с СанПиН «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» (2003), ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве», ГН 2.1.7.2511-09 «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве» и МУ «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест» (1999) по коэффициентам концентрации отдельных металлов ( $K_c$ ) и суммарным коэффициентам загрязнения ( $Z_c$ ).

Отбор проб волос проводили по унифицированной методике у 110 детей 8-10 лет, проживающих в выделенных зонах города. Обследованные включали группу практически здоровых и детей с различными заболеваниями, которые

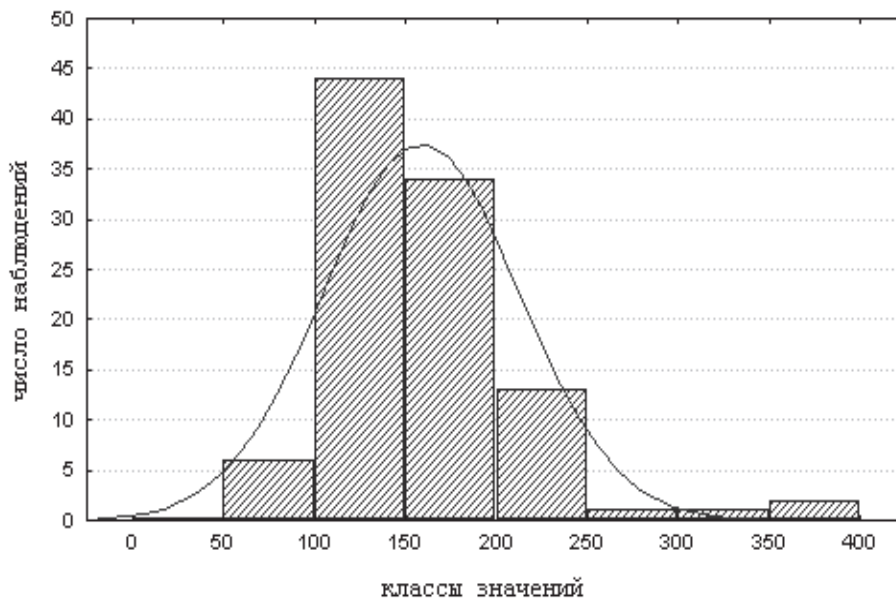
были разделены на несколько групп: 1-я – практически здоровые дети, 2-я – дети, часто болеющие и с хроническими заболеваниями верхних дыхательных путей, 3-я – с заболеваниями мочеполовой системы. Определение химических элементов в волосах детей проводилось методами ИСП-АЭС и ИСП-МС в АНО «Центр биотической медицины». На территории г. Казани были выделены три зоны: I – Дербышки; II – Теплоконтроль; III – Горки, различающиеся по суммарным коэффициентам загрязнения ТМ, расположению промышленных предприятий, производств, интенсивности движения грузового и легкового автотранспорта. Так, район Теплоконтроль в Приволжском районе города (2-я зона) является старым промышленным центром, где располагаются крупные предприятия, производящие синтетический каучук, резину и ряд автотранспортных хозяйств, в Дербышках (1-я зона) наиболее крупными по выбросам вредных веществ в атмосферу являются Казанский оптико-механический завод (КОМЗ) и предприятие по производству бытовой химии ОАО «Хитон» и 3-я – зона Горки, относятся к наиболее экологически благополучному району города. Оценка химического загрязнения подвижной формы металлов в отдельных зонах города, показала, что допустимый уровень загрязнения ( $Z_c < 16$ ) при всех методических подходах, отмечается в III зоне [3]. Уровень загрязнения II зоны Теплоконтроль относятся по оценочной шкале к опасной ( $Z_c$  находится в пределах от 30,7 до 54,8). Уровень загрязнения отдельных зон оценивался по суммарному коэффициенту загрязнения ( $Z_c$ ) (рис.1).



**Рис. 1. Суммарный коэффициент загрязнения почв в зонах г. Казани (I – Дербышки, II – Теплоконтроль, III – Горки)**

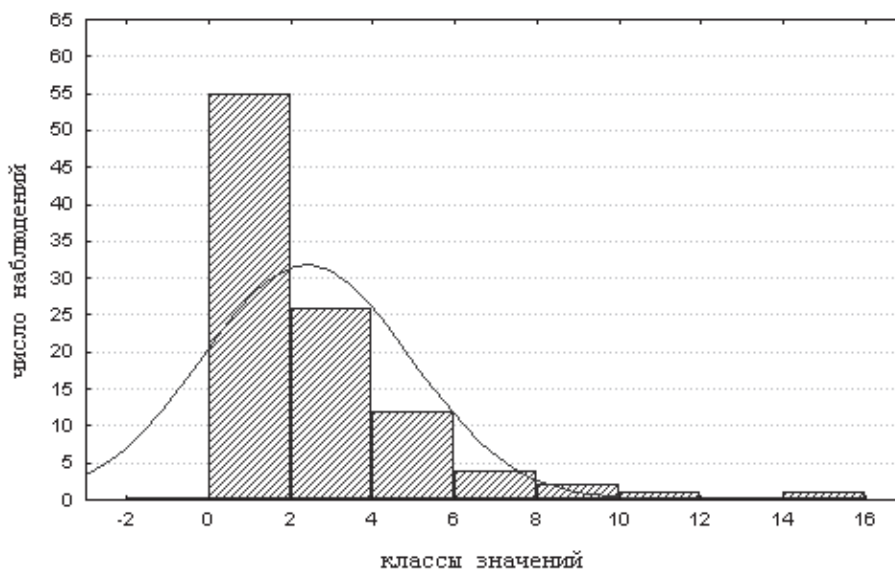
Результаты анализа волос детей, проживающих в указанных зонах города Казани, показали, что концентрации свинца, кадмия, никеля, цинка, марганца и меди характеризовались большим размахом абсолютных величин. Проверка характера распределения абсолютных значений концентраций ТМ показала, что статистическое распределение концентраций только одного биогенного

металла цинка (по критерию Колмогорова–Смирнова) подчиняется закону нормального распределения (рис.2).



**Рис. 2. Распределение значений содержания Zn в волосах детей города (K-S d=0,10879)**

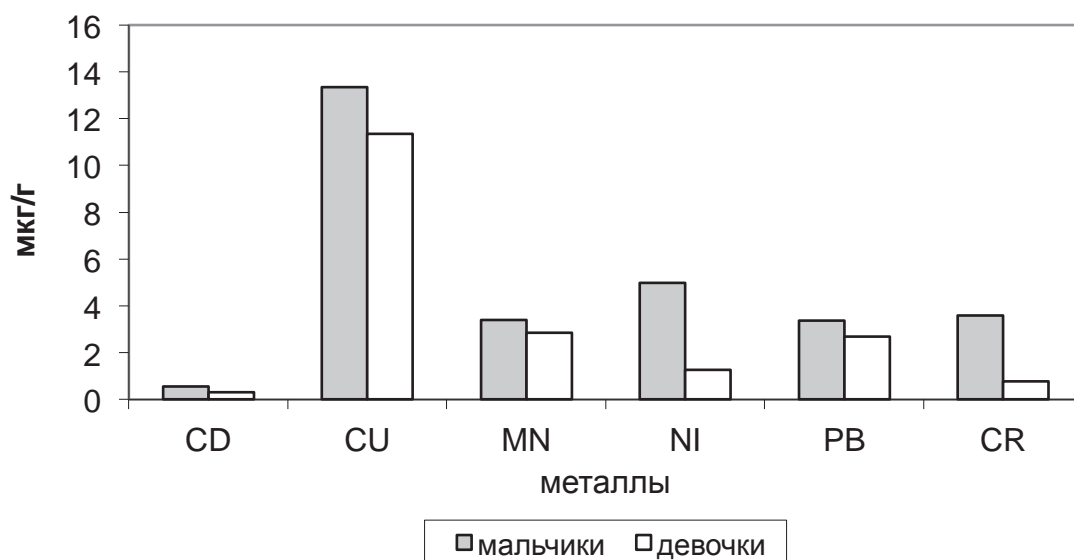
В отношении остальных металлов (токсичных и условно – эссенциальных) график выборки имел ассиметричный вид, со сдвигом в правую сторону (рис.3).



**Рис. 3. Распределение значений содержания Pb в волосах детей (K-S d=0,17905, p<0,01)**

Как известно, к величинам, не подчиняющимся закону нормального распределения, не применимы методы традиционной вариационной статистики.

Поэтому в последующем анализе мы проводили центильную оценку полученных результатов. Однако соблюдая традиционный подход, на предварительном этапе мы провели сравнение среднеарифметических значений содержания ТМ в волосах детей, различающихся по полу, возрасту и зоне проживания в городе. Все изученные металлы в волосах у мальчиков были выше, чем у девочек. Микроэлементный состав волос существенно различался по содержанию Ni ( $p < 0,01$ ) и Cr ( $p < 0,001$ ) (рис.4). Статистически значимые половые различия обнаружены и по содержанию в волосах Zn ( $p < 0,01$ ). Если у мальчиков среднее содержание составляло 168,9мкг/г, то у девочек – 142,9 мкг/г.



**Рис. 4. Среднее содержание металлов в волосах девочек и мальчиков, мкг/г**

Отдельно изучалось среднее содержание металлов в волосах детей, проживающих в ранее выделенных трех зонах города, отличающихся по эколого-гигиенической ситуации (табл.1).

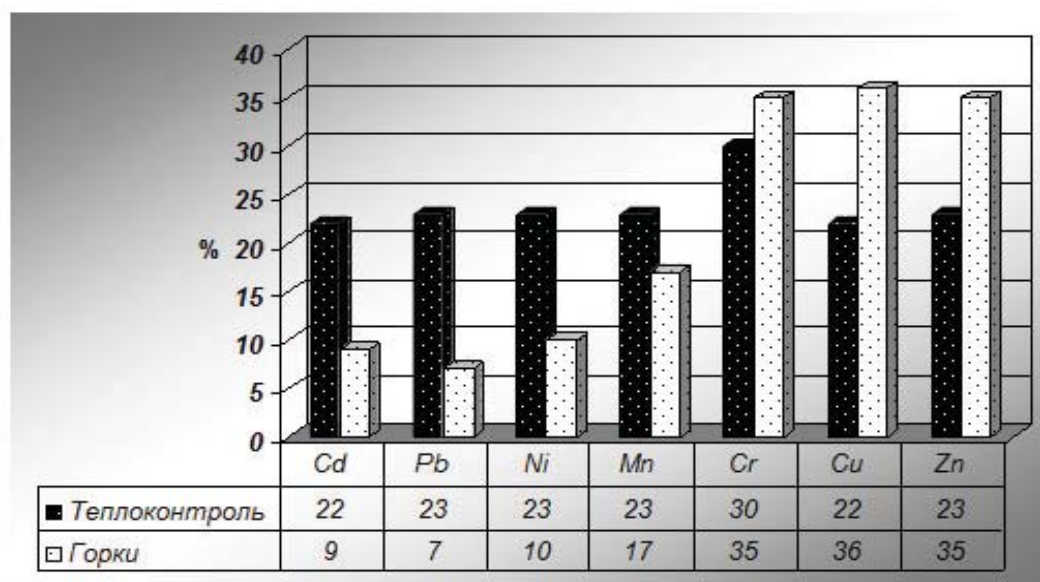
**Таблица 1. Среднее содержание металлов в волосах детей, проживающих в различных зонах города, мкг/мг**

Металлы	I зона	II зона	III зона
Zn	136,12±7,42	150,06±8,2	159,19±9,85
Cd	0,68±0,20	0,51±0,12	0,58±0,20
Cu	12,42±0,99	10,84±1,06	12,75±1,77
Mn	2,88±1,26	2,01±0,31	1,513±0,33
Ni	3,49±1,83	4,55±2,26	1,92±0,95
Pb	3,27±0,68	5,87±0,96	3,37±0,99
Cr	0,67±0,32	2,79±1,45	1,01±0,19

Так, у детей, проживающих в I зоне (Дербышки), достоверно ниже, по сравнению с детьми из II зоны (Теплоконтроль) в волосах было содержание свинца ( $p < 0,01$ ). Самое высокое среднее содержание кадмия (0,51 мкг/г) в волосах наблюдалось у детей II зоны. Содержание ТМ в волосах детей III зоны не



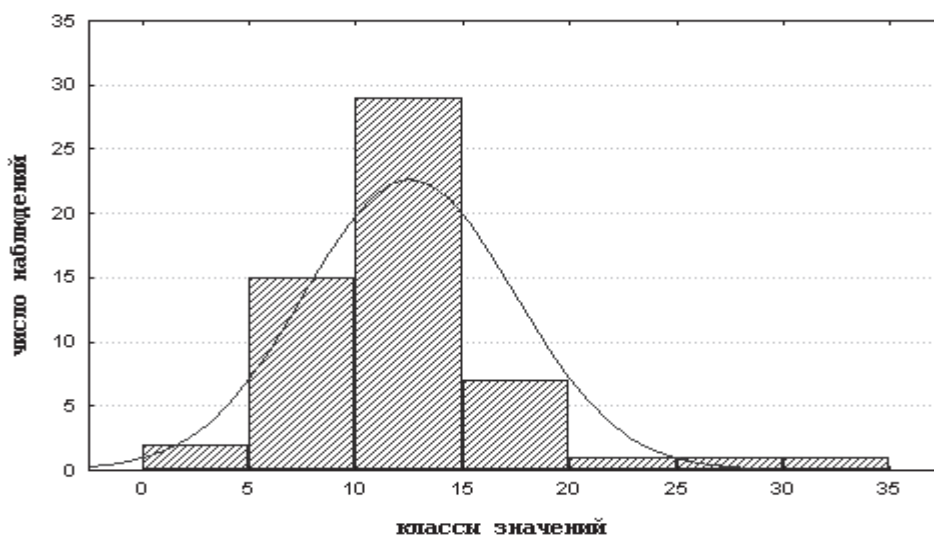
имело достоверных различий от аналогичных из других зон, хотя Горки традиционно считаются экологически благополучным районом города. Однако учет ряда факторов позволил интерпретировать полученные результаты: во-первых, некоторые из детей проживают на границе двух диаметрально противоположных по экологической ситуации зонах (Теплоконтроль и Горки); во-вторых, среди детей, проживающих во II зоне, более высокий процент детей с повышенным содержанием токсичных ТМ в волосах, чем на Горках и, в-третьих, доля детей, имеющих высокое количественное содержание эссенциальных ТМ в биосубстратах (Cu и Zn), оказалась в техногенной зоне меньшей, чем в III зоне (рис.5). Таким образом, наиболее значительные различия в содержании отдельных металлов в волосах, особенно свинца и кадмия выявляются у детей, проживающих в техногенно-загрязненной зоне (Теплоконтроль), выражающееся в их более высоком их уровне.



**Рис. 5. Доля детей, в волосах которых содержание металлов выше допустимого уровня, %**

Исследование показало, что характер распределения отдельных ТМ в группе здоровых и больных детей различался. Если выборка значений содержания меди у больных детей имела выраженную правостороннюю асимметрию, то статистическое распределение металла в группе здоровых детей было нормальным (рис.6). По-видимому, состояние здоровья является значимым фактором, определяющим частотную характеристику выборки по меди.

Сравнительный анализ элементного состава волос в этих двух группах выявил достоверно повышенные концентрации свинца в волосах больных детей ( $p < 0,01$ ) и тенденцию к росту концентраций хрома, никеля и кадмия при пониженном содержании меди. Содержание свинца в волосах детей часто и длительно болеющих болезнями органов дыхания было статистически значимо выше, чем у здоровых ( $p < 0,05$ ). У детей с заболеваниями мочеполовой системы (МПС) определялось достоверно низкое содержание в волосах цинка ( $p < 0,01$ ) и меди ( $p < 0,05$ ) по сравнению со всеми другими группами детей (табл.2).



**Рис. 6. Распределение значений содержания Cu в волосах здоровых детей (K-S  $d=0,13799$ ,  $p>0,20$ )**

**Таблица 2. Среднее содержание металлов в волосах детей с различными группами заболеваний, мкг/г**

Металлы	I группа	II группа	III группа
Zn	151,40 ± 6,32	154,72 ± 11,1	114,38 ± 8,02
Cd	0,348 ± 0,06	0,59 ± 0,16	0,45 ± 0,24
Cu	12,52 ± 0,66	13,90 ± 2,40	7,63 ± 0,97
Mn	2,96 ± 0,35	3,37 ± 0,67	2,25 ± 0,50
Ni	2,24 ± 0,57	2,70 ± 0,73	1,89 ± 0,39
Pb	2,29 ± 0,28	3,79 ± 0,64	4,88 ± 2,66
Cr	1,17 ± 0,34	2,56 ± 0,91	2,89 ± 1,59

*Примечание: I группа – практически здоровые дети, II – дети, часто болеющие и с хроническими заболеваниями верхних дыхательных путей, III – дети с заболеваниями мочеполовой системы*

Наличие выраженной правосторонней асимметрии в распределении концентраций токсичных и условно-эссенциальных металлов определила необходимость использования центильного метода анализа для разработки эталонных шкал по тяжелым металлам в волосах детей (табл.3). В результате проведенных исследований были установлены границы стандартных центильных интервалов для детского населения города. В качестве нормы, типичного содержания нами рассматривался интервал от 25-го до 75-го центиля, как соответствующий средним значениям концентрации данного химического элемента в волосах детской популяции города Казани (табл.3). Медиана центильного распределения (50 центиль) концентраций свинца в волосах во всех изученных зонах города не превышает принятого допустимого уровня свинца в волосах, колеблясь от 2,02 до 5,27 мкг/мг.

**Таблица 3. Содержание тяжелых металлов (мкг/мг)  
в волосах детей по зонам города, М (q 25 – q 75)**

Металлы	I зона Дербышки	II зона Теплоконтроль	III зона Горки
Zn	131,4 (111,4-158,9)	143 (117,4-166,9)	155,5 (122,8-173,6)
Cd	0,45 (0,23-0,94)	0,3 (0,19-1,05)	0,32 (0,032-0,64)
Cu	11,19 (8,5-16,4)	9,97 (9,33-11,9)	11 (8,67-13,4)
Mn	1,12 (0,48-2,91)	2,14 (4,29-4,79)	0,89 (0,65-1,38)
Ni	1,11(0,27-2,25)	2,07 (9,42-41,8)	0,68 (0,22-1,13)
Pb	2,38 (0,9-5,1)	5,27 (15-15,1)	2,02 (0,87-3,71)
Cr	0,27(0,091-0,6)	0,7 (7,98-24,41)	0,91 (0,43-1,13)

Верхние границы кадмия выше допустимых величин в двух зонах, но в II – ой зоне содержание кадмия превышает рекомендуемый уровень уже на уровне 75-го центиля. Во всех зонах города, кроме Горок, более 50% детей имели выше допустимых уровней содержание в волосах никеля и цинка. В волосах детей города верхняя граница повышенных концентраций превышает допустимый уровень по свинцу, достигая 11,03 мкг/мг; никелю (до 23,25 мкг/мг); цинку (до 232,4 мкг/мг); кадмию (до 2,39 мкг/мг); меди (до 75,7 мкг/мг); марганцу (до 17,2 мкг/мг) и хромуму (до 6,62 мкг/мг). В заключение отметим, что для детей I зоны характерно повышенное содержание в волосах цинка, меди и никеля; II – кадмия, марганца и никеля, при пониженном количестве цинка и меди. Таким образом, зона Теплоконтроль вновь определяется как зона риска (дисбаланса эссенциальных микроэлементов и повышенного содержания ТМ).

Нами были получены линейные статистические зависимости содержания в волосах от валового содержания свинца и подвижной формы кадмия в почве (95% ДИ), коэффициент регрессии  $r = 0,878$ ,  $r^2 = 0,772$ , что свидетельствует о возможном влиянии места проживания на накопление токсичных элементов у детей отдельных зон. Следовательно, содержание эссенциально и условно необходимых микроэлементов (цинка и меди), как правило, в волосах детей проживающих в экологически неблагополучных зонах города было ниже, по сравнению, с благополучной по экологии зоной. В то же время, концентрации токсичных элементов (кадмия, свинца, никеля, хрома и марганца) были выше допустимых для нашего города уровней в волосах детей из зоны Теплоконтроль. Использование центильного метода для оценки содержания ТМ в волосах детей позволяет обосновать и внести определенность в понятие «норма» с учетом местных – региональных особенностей и провести корректный отбор детей в группы риска развития заболеваний, связанных с дефицитом или избытком микроэлементов. Полученные результаты свидетельствуют, что методы определения химических соединений в биологических средах наряду с клинико-диагностическими, эпидемиологическими, статистическими и другими методами исследований, позволяют комплексно подойти к решению вопросов по изучению механизмов взаимодействия организма человека с химическими факторами окружающей среды, и выявлению риска для здоровья при малых



уровнях воздействия различных контаминантов в биологических средах. С целью объективизации прогнозов заболеваемости детского населения в рамках социально-гигиенического и экологического регионального мониторинга необходимо проведение систематического исследования металлов в биологических средах детей и использование центильного метода статистической обработки полученных результатов исследования.

**Список литературы:**

1. Степанова Н.В., Фомина С.Ф. Региональные особенности показателей биологического мониторинга детского населения // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. №12. С. 269-273.
2. Степанова Н.В., Хамитова Р.Я., Петрова Р.С. Оценка загрязнения городской территории по содержанию тяжелых металлов в снежном покрове // *Гигиена и санитария*. 2003. №2. С. 18-21.
3. Степанова Н.В., Хамитова Р.Я. Гигиеническая оценка почв г. Казани // *Казанский медицинский журнал*. 2004. №6. С. 443-447.
4. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Уланова Т.С. Контроль содержания химических соединений и элементов в биологических средах. П.: Книжный формат, 2011. 520 с.

---

© 2015, Степанова Н.В., Фомина С.Ф., Валеева Э.Р.  
*Биологический мониторинг, как показатель экологического благополучия территории по загрязнению тяжелыми металлами*

---

© 2015, Stepanova N.V., Fomina S.F., Valeeva E.R.  
*Biological monitoring as the territory ecological well-being index of heavy metals pollution*