

УДК 574.049

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ МАЛОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ  
НА ОРГАНИЗМ РЕБЕНКА (на примере г. Казани)**

*Ю.А. Тунакова*

**Аннотация**

Приведены результаты исследования степени воздействия металлов, содержащихся в снежном и почвенном покровах (косвенные характеристики аэрогенного поступления металлов в организм), и потребляемой питьевой воде (водный путь поступления) на накопление в биосредах (волосы) детей в зависимости от зоны проживания.

---

**Введение**

Одним из факторов малой интенсивности, воздействующим на человека, является поступление металлов из внешней среды. Относительно невысокие уровни загрязнения могут вызывать изменения функционального состояния организма (нарушения клеточного метаболизма, тканевого дыхания, проницаемости слизистых оболочек, сбоев ферментных систем и др.). Избыточное, как и недостаточное, содержание металлов в среде способствует формированию микроэлементного дисбаланса, дефициту одних и избытку других металлов в биологических средах организма [1–4].

Известно, что организм ребенка, находящийся в процессе развития, в силу высокого обмена веществ, меньшей интенсивности детоксикации, недостаточности адаптационных механизмов в большей степени подвержен влиянию загрязняющих факторов окружающей среды и служит более чувствительным индикатором влияния последних. Кроме того, отсутствие влияния производственных факторов, предшествующих заболеванию, и вредных привычек у детского населения позволяет изолированно изучать влияние загрязняющих факторов окружающей среды на организм человека. Состояние здоровья детского населения также позволяет учитывать воздействие факторов среды территориально дифференцированно [5, 6].

Металлы поступают в организм с водой, пищевыми продуктами и вдыхаемым воздухом. Для оценки вклада загрязнения металлами среды обитания в формирование экопатологий детского населения было проведено зонирование территории г. Казани по уровню загрязнения приземного слоя атмосферы (оценка аэрогенного пути поступления) и потребляемой питьевой воды (оценка водного пути поступления).

Для характеристики аэрогенного поступления металлов при недостатке данных систематических наблюдений (функционирование 6 постов систематических наблюдений в г. Казани дает не полную картину пространственно-временного распределения металлов) были использованы косвенные методы оценки содержания металлов в приземном слое атмосферы – по анализу проб депонирующих сред (снежный и почвенный покровы). Поступление металлов по водному пути оценивалось с помощью отбора проб в конечной точке потребления, в домах и квартирах, что позволило учесть степень вторичного загрязнения питьевых вод после прохождения по водоводам и разводящим сетям.

Для целей эколого-геохимического районирования территория г. Казани была поделена на зоны исследования по зонам обслуживания поликлиник и поликлинических отделений детских больниц (рис. 1). К зонам исследования была осуществлена привязка данных по содержанию металлов (Pb(II), Sr(II), Cr(III), Zn(II), Fe(II), Co(II), Cd(II), Cu(II)) в снежном и почвенном покровах, в потребляемой питьевой воде, отобранной в конечной точке потребления, к содержанию металлов в биосредах детей (кровь, моча, волосы).

С целью обоснования зонирования территории по уровню загрязнения объектов исследования металлами была проведена подробная оценка распределения содержания металлов в различных средах, включающая детальную информацию по каждому элементу. Полученные кривые аномального распределения позволили выделить металлы, изменчивость содержания которых может служить критерием зонирования территории города. Установлено неравномерное распределение содержания Zn, Cu, Mn в снежном покрове, Pb, Cd, Mn – в почвенном покрове, Fe, Sr – в потребляемой питьевой воде. Для биосред детей отмечена в наибольшей степени изменчивость содержания микроэлементов в волосах детей в зависимости от места проживания.

Результаты такой оценки обобщены с помощью расчета суммарных показателей загрязнения и нанесены на картооснову г. Казани. Анализ полученного геохимического поля металлов в снежном покрове показывает, что выявленные аномалии находятся на территории 2, 4, 5, 13, 15, 16 зон исследования. Анализ полученного геохимического поля металлов в почвенном покрове показывает, что эпицентр загрязненности находится в 16 зоне исследования, выявленные аномалии расположены на участках 2, 3, 4, 5, 15, 17 зон исследования. Относительно чистыми является большая часть 10, 14, 20 зон исследования.

Статистический анализ полученных результатов показал различие между зонами исследования в зависимости от источника питьевого водоснабжения. Зоны исследования № 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 14, 15, 16, 17 обеспечиваются поверхностными водами Волжского водозабора, а зоны № 6, 8, 10, 12, 13, 20 – подземными артезианскими источниками. При анализе корреляционной матрицы взаимосвязей концентраций элементов в воде отмечается достоверная прямая корреляционная взаимосвязь между содержаниями стронция, свинца и хрома (Sr–Pb,  $r = 0.31$ ; Sr–Cr,  $r = 0.24$ ;  $p < 0.001$ ), что отражает сопряженность поступления и распределения этих металлов в водопроводной воде. Для этих зон отмечена также обратная корреляционная связь между содержанием стронция и железа ( $r = -0.4$ ,  $p < 0.001$ ). Эти корреляции являются математическим выражением различий между поверхностными и подземными артезианскими водами.

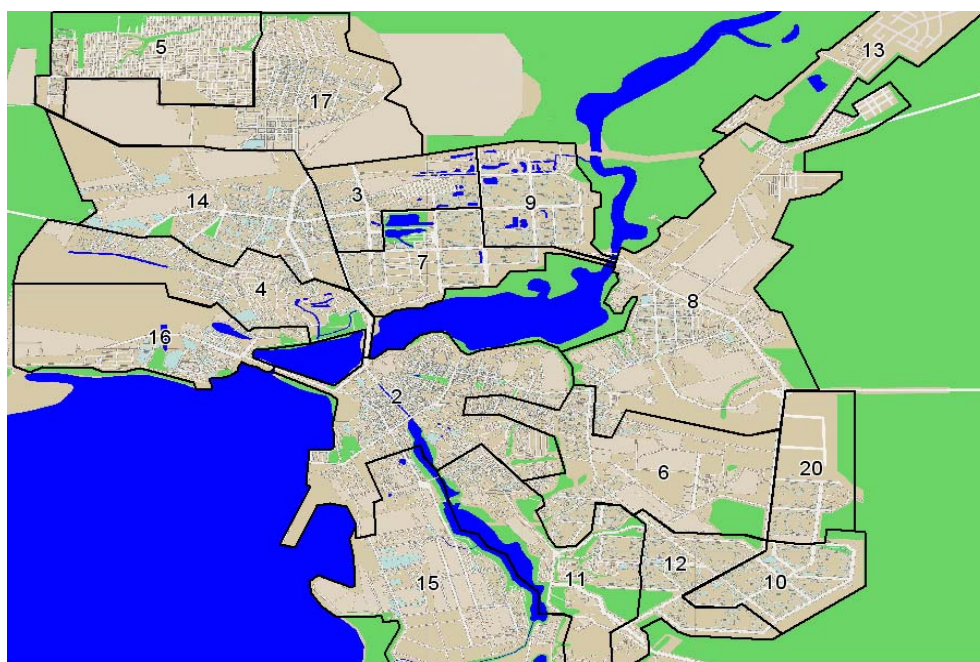


Рис. 1. Расположение зон исследования на территории города

В ходе работы оценивалась статистическая вероятность превышения показателя над фоновым значением на исследуемой территории (вероятностный риск) для содержания металлов в биосредах (кровь, моча, волосы), в снежном и почвенном покровах, в питьевой воде. Введение в оценку понятия шкалы рисков позволило не только проводить сравнение рисков по зонам, но и выявить преимущественные (лимитирующие) риски, при этом оценки степени риска не чувствительны к размерности отдельных факторов. Для нахождения фонового уровня фактора, который служил характеристикой верхнего предела допустимого риска, рассчитывалась величина первого квартиля ранжированного ряда. Показателем верхней границы умеренного риска служило значение второго квартиля (медиана), повышенного – третий квартиль.

Проведенный расчет вероятностного риска позволил определить вероятность превышения по зонам исследования содержания металлов над фоновым, выделить зоны по совокупности вероятностных рисков (для Sr – зоны 13 и 20; для Pb – зоны 2, 11, 12; для Cd – зоны 4 и 14; для Cu – зоны 5, 11, 15, 17; для Cr – зона 6; для Ni – зона 17; для Mn – зона 15; для Co – зона 3; для Zn – зоны 15, 16, 17) и, таким образом, обобщить результаты эколого-геохимического районирования территории.

В итоге установлено, что зоны повышенного загрязнения приурочены к стационарным источникам загрязнения и действующим автомагистралям. Определены металлы – индикаторы (маркеры) напряженности территории по уровням загрязнения исследуемых сред, проведена четкая дифференциация зон и выделены зоны риска, что позволило провести эколого-геохимическое районирование территории г. Казани.

Сравнение карт-схем распределения содержания металлов в средах и биосредах детского организма позволило установить отклонение от линейной зависимости для ряда зон исследования, что явилось необходимостью выявления причинно-значимых факторов среды. Для выделения доминирующих факторов целесообразно использовать различные подходы к обработке данных с целью повышения адекватности выводов. Нами было проведено определение вклада факторов в изменчивость всей выборки – факторный анализ (метод главных компонент с ротацией факторов методом «varimax gaw», число факторов выделялось по критерию Кэттеля). Проведение факторного анализа позволило выявить доминирующие факторы (стронций и железо воды, медь и цинк снежного покрова, свинец, кадмий и марганец почвы), вносящие наибольший вклад в изменчивость всей выборки.

Оценка схожести распределения выборок проводилась с помощью кластерного анализа (объединение по методу Варда или метод древовидной кластеризации). Проведение кластерного анализа показывает, что наибольшие различия (наибольшее расстояние объединения кластеров) в распределении по зонам исследования имеют железо и стронций в питьевой воде, марганец, цинк, свинец – в почве. Распределение металлов в снежном покрове очень вариативно (картина кластеризации более сложная, трудно выделить значимые кластеры) и зависит от изменчивости в распределении железа, марганца, цинка и меди.

Сравнение результатов, полученных в ходе факторного и кластерного анализов, позволило выделить признаки-маркеры, вносящие наибольшую изменчивость во всем объеме выборки: стронций и железо в питьевой воде, цинк и медь в снежном покрове, марганец и свинец в почвенном покрове.

Для оценки зависимости содержания металлов в биосредах детского организма от содержания их в среде использованы методы математического моделирования. Из исследуемых биосред для построения моделей взаимосвязи параметров выбраны волосы как показатель, отражающий степень хронического воздействия загрязняющих факторов.

В рамках исследования разработаны модели линейной регрессии:

$$Sr_{\text{волос}} = 3.203 + 35.16 \times Sr_{\text{воды}}$$

( $R = 0.75$ ; критерий Фишера  $F = 107.5$ ; процент «объясняемой дисперсии» – 55.6% при уровне значимости  $p = 0.00001$ );

$$Fe_{\text{волос}} = 19.82 + 62.33 \times Fe_{\text{воды}}$$

( $R = 0.28$ ; критерий Фишера  $F = 7.15$ ; процент «объясняемой дисперсии» – 18.3% при уровне значимости  $p = 0.032$ ).

Невысокий коэффициент регрессии вероятностно связан с наложением изменчивости содержания железа в исследуемых пробах в зависимости от состояния водоводов и разводящих сетей, которое в рамках представленной работы не исследовалось:

$$Cu_{\text{волос}} = 99.18 \times Cu_{\text{снега}} + 7.005$$

( $R = 0.84$ ; критерий Фишера  $F = 70$ ;  $p = 0.0001$ ; процент охвата – 70.8%);

$$Cd_{\text{волос}} = 1.29 \times Cd_{\text{почвы}} - 0.057$$

( $R = 0.70$ ; критерий Фишера  $F = 37.4$ ;  $p = 0.000027$ ; процент охвата – 72.2%);

$$Mn_{\text{волос}} = 0.014 \times Mn_{\text{почвы}} - 2.53$$

( $R = 0.81$ ; критерий Фишера  $F = 59.3$ ;  $p = 0.002$ ; процент охвата – 67.2%).

Поскольку зависимость содержания металлов в биосредах детей (биоматрицах при мониторинге здоровья) от содержания в окружающей среде может носить нелинейный характер, использована полиномиальная модель подбора функций распределения:

$$Pb_{\text{волос}} = 0.7466 \times Pb_{\text{почвы}} - 0.0078 \times (Pb_{\text{почвы}})^2 - 4.454,$$

$$Zn_{\text{волос}} = 92.5097 + 449.5881 \times Zn_{\text{снега}} - 427.8502 \times (Zn_{\text{снега}})^2.$$

Разработанные модели полиномиальной подгонки и линейной регрессии позволили рассчитать содержание металлов в волосах детей, отражающее степень накопления в организме в зависимости от содержания в исследуемых средах. На основании полученных моделей предлагается принципиально новый подход к нормированию содержания металлов в среде (снежный и почвенный покровы, питьевая вода) – на основе региональных нормативов содержания в волосах.

В ходе исследования рассчитаны пороговые величины концентраций металлов-маркеров в исследуемых средах, превышение которых приведет к накоплению в биосредах и к формированию у детей нарушений микроэлементного обмена:  $Zn_{\text{снежный покров}} = 0.375$  мг/л;  $Fe_{\text{питьевая вода}} = 0.564$  мг/л;  $Cu_{\text{снежный покров}} = 0.181$  мг/л,  $Mn_{\text{почва}} = 752.1$  мг/кг;  $Pb_{\text{почва}} = 27.5$  мг/кг;  $Sr_{\text{питьевая вода}} = 0.307$  мг/л;  $Cd_{\text{почва}} = 1.129$  мг/кг. Полученные пороговые концентрации являются более жесткими, чем нормативы ПДК для металлов: Sr в питьевой воде – в 23 раза, Zn в снежном покрове – в 2.5 раза, Cd в почве – в 2 раза, Pb в почве – на 20%. Для содержания Mn в почвенном покрове величина ПДК отличается незначительно (в пределах 10%). Величины пороговых концентраций для металлов Fe в питьевой воде и Cu в снежном покрове в 2 раза больше, чем ПДК.

Поскольку каждому из исследуемых металлов, относящихся не только к группе токсичных и тяжелых, но и к группе эссенциальных, присущ как диапазон безопасности, так и спектр токсичности (при накоплении в биосредах), неправомерно отнесение металлов ни к одной из перечисленных выше групп.

### Summary

*J.A. Tunakova.* Ecologo-geochemical approaches to an estimation of influence of factors of small intensity on an organism of the child (by the example of Kazan).

Results of research of a degree of influence of the metals contained in snow and soil covers (indirect characteristics of aerogenic receipt of metals in an organism) and consumed potable water (a waterway of receipt) on accumulation in bioenvironments (hair) of children are resulted depending on a zone of residing.

### Литература

1. *Авцын А.П., Жаворонков А.А. и др.* Микроэлементозы человека. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
2. *Авцын А.П., Строчкова И.С., Жаворонков А.А.* Клеточный гомеостаз и микроэлементы // *Арх. патологии.* – 1988. – № 9. – С. 3–6.
3. *Хьюз М.* Неорганическая химия биологических процессов. – М., 1983.
4. *Ноздрюхина Л.Р.* Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. – М.: Наука, 1977. – 184 с.
5. *Бабенко О.В., Агапов В.И., Авхименко М.М.* Экстремальное химическое воздействие соединениями тяжелых металлов: первыми страдают дети // *Медицинская помощь.* – 2000. – № 6. – С. 35–39.
6. *Протасова Н.А.* Микроэлементы: биологическая роль, распределение в почвах, влияние на распространение заболеваний человека и животных // *Соровский образоват. журн.* – 1998. – № 12. – С. 32–37.

Поступила в редакцию  
12.05.06

---

**Тунакова Юлия Алексеевна** – кандидат химических наук, доцент кафедры промышленной экологии Казанского государственного технического университета.

E-mail: [juliaprof@mail.ru](mailto:juliaprof@mail.ru)