

Ю. А. Тунакова, Р. А. Шагидуллина, В. С. Валиев

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОСТАВА БИОСРЕД ЧЕЛОВЕКА КАК ОСНОВЫ ДЛЯ НОРМИРОВАНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

*Ключевые слова: полимерные производства, биосреды человека, металлы, нормирование.*

*Приводятся результаты обзора использования биосред человека для оценки поступления металлов в организм из внешней среды и обосновывается использование содержания металлов в волосах детского населения как основы для нормирования.*

*Key words: polymeric manufactures, bioenvironments of the person, metals, normalization.*

*Results of the review of use of bioenvironments of the person for an estimation of receipt of metals in an organism from an environment are resulted and use of the maintenance{contents} of metals in hair of the children's population as bases for normalization is proved.*

Существуют различные представления о выделении приоритетных загрязняющих веществ, подлежащих систематическому контролю в различных объектах окружающей среды. Нам представляется наиболее удачной формулировка, изложенная в [1]: «это вещества с высокой токсичностью, необычайной устойчивостью к действию внешних, внутренних и временных факторов, выраженной способностью сохранять токсичность в окружающей среде, а также переходить из окружающей среды в живые организмы и биоаккумулироваться в трофических цепях».

Как было показано в [2], металлы являются приоритетными загрязняющими веществами, подлежащими систематическому контролю в атмосферном воздухе в зоне действия полимерных производств. Наблюдения за металлами обязательны во всех средах за счет их высокой токсичности для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способности к биоаккумуляции и биомагнификации [3-4]. Металлы способны накапливаться в живых организмах с эффектом практически необратимого увеличения уровней содержания и связанных с их действием токсических эффектов [3-5].

Существуют различные попытки классификации металлов и отнесения к группам токсичных, эссенциальных, тяжелых и др. [5-7]. На наш взгляд любое разделение металлов на группы имеет недостатки. Воздействия металлов, на живые объекты настолько специфичны и для одного и того же металла могут меняться в зависимости от концентрации, времени воздействия, формы нахождения и т.д., что любой способ группировки будет иметь погрешности [8-12].

Поступление металлов в среду происходит обычно в малых дозах, постоянно, в течение длительного времени. Причем концентрация металлов в живом веществе прямо пропорциональна содержанию их в среде обитания с учетом растворимости их соединений, что согласуется с биогеохимической теорией академика В.И. Вернадского, согласно которой существует биогенная миграция атомов по

цепочке почва —> вода —> пища —> человек, в результате которой практически все элементы, окружающие человека, попадают внутрь его организма. Опасность постоянного поступления металлов вызвана невозможностью их самостоятельной деструкции и элиминации из организма человека [3,8,9].

Попав в организм человека, металлы распределяются между органами и тканями, избирательно накапливаясь в них. Основная роль транспорта металлов в организме принадлежит крови, белки которой связывают металлы. Металлы, находящиеся в крови в молекулярно-дисперсном состоянии, в виде ионов или в виде слабых комплексов, выделяются преимущественно с мочой. Если содержание металлов в сыворотке крови отражает интенсивность транспорта, в моче — показатель выделения, то части ретикулоэндотелиальной системы, ногти, волосы, роговой слой кожи, могут быть использованы как показатели длительного поступления металлов в организм. В условиях значительного поступления металлов извне вступает в действие система элиминации, а также отложение в депо [7,8,12].

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал по исследованию содержания металлов в различных средах организма человека. Исследования эти можно условно разделить на два основных направления:

1) изучение содержания и распределения различных металлов в организме исключительно в рамках проблемы нормы и патологии [13-16];

2) изучение содержания металлов в зависимости от геохимических особенностей среды обитания и экологических факторов, без учета особенностей их распределения при патологических процессах [17-20].

В последние годы, практически во всех широкомасштабных исследованиях, оба этих направления объединяются в одно, рассматривающее возникновение повышенных содержаний в организме в неотъемлемой связи с биогеохимическими условиями и региональными особенностями мест проживания обследуемых [21-25].

Китайские исследователи изучали накопление металлов в организме человека в районах добычи свинца и цинка. Оценивалось содержание металлов в почвах, питьевой воде, продуктах питания и воздухе, а в качестве аналитических биосред использовались образцы волос. В результате исследования однозначно установлен факт накопления в волосах людей, проживающих в районе рудников, свинца, кадмия и ртути. Особенно высоких значений достигало содержание свинца, по сравнению с контрольной группой. Авторы исследования отмечают, что основным источником поступления свинца в организм человека в этих условиях явилось загрязнение почвы, что, в свою очередь, приводило к загрязнению выращиваемых овощей и воздуха. В связи с этим, исследователи отмечают, что помимо абсолютных величин концентраций металлов в среде, важны сроки экспозиции, а интегральным показателем, отражающим как концентрацию металлов в среде, так и длительность экспозиции является их содержание в волосах [18].

Китайские ученые изучали накопление металлов в волосах жителей провинции Фэнхуанг на юго-западе Китая, известной своими горнодобывающими шахтами и рудниками. Отмечено накопление металлов в волосах жителей прилегающих к шахтам территорий. Средняя концентрация кадмия составила 0,17 мг/кг, свинца – 8,67 мг/кг, мышьяка – 0,11 мг/кг, ртути – 2,19 и селена 0,64 мг/кг ткани волос. Кроме того, отмечены статистически достоверные ( $p < 0,01$ ) корреляционные взаимосвязи между содержанием в волосах кадмия и свинца, кадмия и мышьяка, свинца и мышьяка, селена и ртути. Результаты исследования показали, что дети и женщины более восприимчивы к экспозиции кадмия и свинца – в их волосах отмечены достоверно более высокие уровни этих металлов, по сравнению с мужчинами [20].

Аналогичные результаты были получены португальскими исследователями из Национального института здоровья, которые проанализировали содержание металлов в различных биосредах людей, проживающих в районе горнорудной шахты Панасквейра, в центральной части Португалии. Было показано значительное увеличение концентраций во всех биологических образцах (волосы, ногти, кровь, моча) людей, проживающих вблизи шахты As, Cd, Cr, Mn и Pb, по сравнению с контрольной группой. Различия это оказалось настолько сильным, что было решено параллельно провести тесты на генотоксический и иммунотоксический эффекты, по которым также были отмечены статистически достоверные различия. Проживание вблизи мест добычи руды и горнообогаительных мероприятий оказалось настолько высоким фактором риска для здоровья населения, что авторы исследования объявили о необходимости осуществления для местного населения специальных реабилитационных мероприятий [25].

Свой вклад в оценку биогеохимического распределения различных металлов внесли и итальянские ученые. Они провели обширное исследование микроэлементного спектра волос детей, проживающих в различных экологических условиях и гео-

графических районах Сицилии. В исследовании участвовало в общей сложности 336 детей в возрасте 11-13 лет, методом масс-спектрометрии (ISP-MS) анализировалось содержание 19 металлов: Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, U, V и Zn. В результате исследования было установлено, что в волосах детей содержатся более высокие концентрации Al, Ba, Sr и Zn. Дети, проживающие в районах с вулканической активностью, имели в волосах более высокие концентрации As, Cr, Mn, Ni, Rb, Sb, U, V и Zn. Проживающие в районе с несколькими старыми карьерами имели более высокие уровни Al, As, Pb, Rb и U, а для волос детей, проживающих в промышленной зоне Пасе-дель-Мела характерны более высокие уровни As, Ba, Mn, Pb, Rb, Sr и U, по сравнению с детьми из контрольной группы, проживающих в сельскохозяйственном районе Палермо. Авторы исследования рекомендуют использовать анализ металлов в волосах для мониторинга и зонирования воздействия полиметаллических загрязнений [26].

В последние годы, все чаще проводятся исследования, направленные на оценку риска потребления вод различного качественного и количественного состава для здоровья населения, при содержании в них металлов чуть выше или на уровне фоновых величин. При этом оценивается так называемый совокупный неканцерогенный эффект (risk of non-carcinogenic effects). Южнокорейскими учеными проведена подобная оценка содержания металлов и микроэлементов в подземных водах бассейна реки Меконг в Камбодже [27]. Целью исследования был не только мониторинг качества этих вод, но и оценка возможных рисков для здоровья местного населения, широко использующего подземные воды для питья. При этом параллельно оценивалось содержание металлов именно в волосах, как в наиболее оптимальном, по мнению авторов исследования, объекте исследования биологических сред.

В результате проведенного исследования была отмечена четкая взаимосвязь между содержанием в воде и волосах жителей Mn, Fe и Ba. На основании результатов, полученных в ходе исследования, был рассчитан совокупный неканцерогенный риск по всем металлам, который, в зависимости от района исследования менялся от 12,4 до 98,7% (удельное количество жителей с превышением содержания металлов в волосах).

Схожие результаты получены исследователями из Вьетнама, которые оценивали содержание мышьяка в грунтовых водах, который присутствовал в них в виде арсенита As(III) и степень его накопления в волосах жителей, использующих эти воды для питья [28]. Было установлено, что более 40% жителей имеют в волосах высокий уровень мышьяка, по сравнению с теми, кто не использовал эту воду для питья.

При изучении загрязнения воздуха металлами, чаще всего обращают внимание на пыль и аэрозоли. Наиболее информативным считается определение содержания металлов во фракциях пыли с диаметром частиц 10 мкм и менее. Во многих работах подчеркивается, что распространение загрязне-

ния металлами по территории обеспечивается переносом частиц именно этих фракций и концентрация металлов именно в этих фракциях пыли наиболее сильно коррелирует с их содержанием в волосах детей [29-32].

В целом, анализируя работы по оценке поступления металлов из внешней среды в организм можно отметить исследование экскреции с мочой, транспорта в сыворотке крови и накопление металлов в волосах, с доминированием исследований последних. Так, цинкдефицитные состояния, которые считаются одним из наиболее распространенных нарушений баланса металлов в организме в условиях современного города, традиционно оцениваются по уровню цинка в сыворотке крови. Обусловлено это очень высокой корреляцией уровня цинка в организме с уровнем альбуминов в сыворотке крови. Однако в последнее время проводятся исследования, направленные на замену традиционного способа оценки цинкдефицитных состояний, анализом волос и других неинвазивных биологических сред. Одно из таких исследований было проведено канадскими учеными, которые попытались ассоциировать социально-демографические и поведенческие показатели школьников Ванкувера с уровнями содержания в их волосах цинка [33,34].

Китайские ученые пошли еще дальше, разработав методику определения возраста человека по содержанию металлов в волосах. Проведя оценку содержания в волосах людей различных возрастных групп (0-15 лет, 80-99 лет, >100 лет) Li, Mg, Mn, Zn, Cr, Cu и Ni, методом нелинейных полиномиальных функций были построены модели их изменения с возрастом. Авторы исследования отмечают, что возрастные изменения изменчивости содержания металлов снижаются в ряду Cu > Zn > Ni > Mg > Mn > Cr > Li. Особенно устойчивая тенденция отмечена по снижению с возрастом меди и увеличению концентрации лития и марганца в волосах [35].

В работе [36] отмечено особое значение исследований, направленных на определение фоновых популяционных концентраций металлов в биологических средах. Обосновано, что такие исследования важны в первую очередь для вопросов нормирования вредного экологического воздействия на уровне государственной политики в области охраны окружающей среды и здоровья населения.

Подводя итоги представленного обзора использования биосред человека для оценки полиметаллического поступления металлов из внешней среды в организм можно сделать вывод, что именно уровни содержания металлов в волосах, трактуемые как накопление, прошлые экспозиции, являются наиболее точным индикатором состояния объектов окружающей среды. А содержание металлов в крови и их концентрация в моче характеризуют немедленное воздействие. И именно содержание металлов в волосах детского населения лучше всего коррелировало с внешним поступлением металлов и отражало содержание металлов в организме. Таким образом, волосы человека могут являться не только наиболее представительным объектом мониторинга,

но и объектом нормирования содержания металлов в объектах окружающей среды.

Нами предлагается использовать установленное в [37] нормативное содержание металлов в волосах человека как основу для разработки нормативов содержания металлов - приоритетных токсикантов в объектах окружающей среды. Данный подход к нормированию является наиболее адекватным, по сравнению с регламентированным, поскольку основан на анализе биосред человека-основного защищаемого объекта на урбанизированной территории. Данный подход учитывает региональные особенности территории, поскольку нормативы содержания металлов в объектах окружающей среды рекомендуется устанавливать по отношению к региональным нормативам содержания в биосредах населения. Использование биосред детского населения обосновано большей чувствительностью, отсутствием вредных привычек, профессиональных заболеваний, которые могут исказить результаты исследования и возможностью разрабатывать нормативы территориально- дифференцированно ввиду локального местонахождения детей в течение дня.

## Литература

1. В.С. Румак, Н.В. Умнова, Е.С. Бродский, А.А. Шелепчиков, *Экология и жизнь*, 8. (2012).
2. Ю.А.Тунакова, Р.А.Шагидуллина, И.Г. Григорьева, *Вестник Казанского технологического университета*, 16, 21,314-317 (2013).
3. А.Л. Бандман, *Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп*. Химия, Ленинград, 1988. 512.
4. Н.Г. Зырина, Л.К. Садовниковой, *Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах*. Издательство МГУ, Москва, 1985.
5. Дж.В.Мур, С. Рамамурти, *Тяжелые металлы в природных водах*. Мир, Москва, 1987.
6. R. Meuli, B. Steiger, R. Webster, W. Attenger, A. Grunwald, R. Schuiln, *III-dEuropean conference on ecotoxicology*(Zurich, Switzerland, 1994). P. 8-15.
7. B.Lonnerdal. *J.Nutr.*,119, 123, 839-1844 (1989).
8. W.Salomons, U. Forstner, *Metals in the Hydrocycle*. Berlin; Heidelberg; New York, Tokyo: Springer-Verlag, 1984.
9. А.П. Авцын, А.А.Жаворонков, *Микроэлементозы человека*. Медицина, Москва, 1991, 496 с.
10. В.Б. Антонов, *Клиническая медицина*, 71, 3, 15-19 (1993).
11. О.В. Бабенко, В.И. Агапов, М.М. Авхименко, *Медицинская помощь*. 6, 35-39 (2000).
12. Б.А. Ревич, Ю.Е. Сагет, *Вестн. АМН*, 8, 14(1989).
13. P.J. Aggett, *Clin. Endocrinol. Metab.* 14, 3, 513-543(1985).
14. Ozmen H, Akarsu S, Polat F, Cukurovali A. *Iran J Pediatr.* Apr 23(2), 125-30 (2013).
15. Afridi HI, Kazi TG, Kazi N, Naeemullah, Arain SS, Brahman KD, Wadhwa SK. *Clin Lab.* 59(3-4), 247-56 (2013).
16. Uetake K, Tanaka T. *Asia Pac J ClinNutr.* 22(2), 257-60 (2013).
17. Rowbottom L, Mole T, Roberts N. *BMJ Case Rep.* Mar 27, 11 (2013).
18. Phan K, Phan S, Huoy L, Suy B, Wong MH, Hashim JH, Mohamed Yasin MS, Aljunid SM, Sthiannopkao S, Kim KW. *Environ Pollut.* Jul 29, 111-119 (2013).
19. Qu CS, Ma ZW, Yang J. *China/PLoS One.* 2012;7(11):e46793.

20. Li Y, Zhang X, Yang L, Li H. *Bull Environ Contam Toxicol*. Jul 89(1), 125-8 (2012).
21. Michalak I, Mikulewicz M, Chojnacka K. *Environ Toxicol Pharmacol*. Nov;34(3):727-34 (2012).;
22. Lutsevich IN, Ivanchenko MN, Zhukov VV. *Gig Sanit*. May-Jun (3), 63-6 (2010).
23. Iskakov AZh, Perminova LA, Zazorin BV. *Gig Sanit*. Jul-Aug (4), 49-52 (2009).
24. Tarmaeva Iu. Trace element imbalance in the organized pediatric collective bodies// *Gig Sanit*. 2008 Sep-Oct;(5):74-6.;
25. Chashchin VP, Askarova ZF, Larionova TK. *Med Tr Prom Ekol*. 10, 9-13 (2007).
26. Coelho P, Costa S, Silva S, Walter A. *J Toxicol Environ Health A*. 75 (13-15), 893-908 (2012).
27. Dongarrà G, Varrica D, Tamburo E, D'Andrea D. *Environ Toxicol Pharmacol*. Sep 34(2), 160-9 (2012).
28. Phan K, Phan S, Huoy L, Suy B, Wong MH, Hashim JH, Mohamed Yasin MS, Aljunid SM, Sthiannopkao S, Kim KW. *Environ Pollut*. Jul 29, с. 182 (2013).
29. Goix S, Point D, Oliva P. *Sci Total Environ*. Dec 15, 412-413 (2011).
30. Nguyen VA, Bang S, Viet PH. *Environ Int*. Apr 35(3), 466-72 (2009).
31. Kodaira H, Ohno K, Fukase N, Kuroda M, Adachi S, Kikuchi M, Asada Y. *J Oral Sci*. 55(2), 161-5 (2013).
32. Blaurock-Busch E, Amin OR, Rabah T. *Maedica (Bucharest)*. Oct 6(4), 247-57 (2011).
33. Carneiro MF, Moresco MB, Chagas GR. *Biol Trace Elem Res*. Nov 143(2), 815-24 (2011).
34. Vaghri Z, Wong H, Barr SI, Chapman GE, Hertzman C. *Biol Trace Elem Res*. Dec 143(3), 1398-412 (2011).
35. Lv J, Wang W, Zhang F. *Biol Trace Elem Res*. 2011 Dec;143(3):1441-50.;
36. Chojnacka K, Zielińska A, Górecka H. *Environ Toxicol Pharmacol*. May 29 (3), 314-9 (2010).
37. С.В. Мальцев, В.С. Валиев, Г.Г. Зигангареева, Материалы и тезисы докладов 1-го Международного симпозиума «Современные проблемы геохимической экологии болезней». Чебоксары, с. 71 (2001).

---

© Ю. А. Тунакова – д-р хим. наук, проф. каф. технологии полимерных материалов КНИТУ, juliaprof@mail.ru; П. А. Шаги-дуллина – канд. хим. наук, нач. отдела нормирования воздействия на окружающую среду Мин-ва экологии и природных ресурсов РТ, juliaprof@mail.ru; В. С. Валиев - науч. сотр. лаб. биогеохимии Института проблем экологии и недропользования АН РТ.