

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 биомagniфикации [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 Фэнгхуанг 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. Различие 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 горнообогатительных 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 географических 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 Расе-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 загрязнения 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.