

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА
В МЕДИЦИНСКОЙ ГЕОЛОГИИ:
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ
СРЕДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

*А. В. Горбунов*¹, *С. М. Ляпунов*¹, *О. И. Окина*¹,
М. В. Фронтасьева^{2, *}, *С. С. Павлов*², *И. Н. Ильченко*³

¹ Геологический институт РАН, Москва

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

³ Научно-исследовательский институт общественного здоровья
и управления здравоохранением Первого Московского государственного
медицинского университета им. И. М. Сеченова Минздрава России

ВВЕДЕНИЕ	770
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	771
МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	771
ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	773
ОТБОР ОБРАЗЦОВ	775
АНАЛИЗ ОБРАЗЦОВ	780
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	784
ВЫВОДЫ	808
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	809

*E-mail: marina@nf.jinr.ru

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА В МЕДИЦИНСКОЙ ГЕОЛОГИИ: ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

*А. В. Горбунов*¹, *С. М. Ляпунов*¹, *О. И. Окина*¹,
М. В. Фронтасьева^{2, *}, *С. С. Павлов*², *И. Н. Ильченко*³

¹ Геологический институт РАН, Москва

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

³ Научно-исследовательский институт общественного здоровья
и управления здравоохранением Первого Московского государственного
медицинского университета им. И. М. Сеченова Минздрава России

В работе описана методика проведения геолого-медицинских исследований и указано место, которое занимают ядерно-физические методы анализа в этих исследованиях. Показана необходимость создания эффективного комплекса из самых современных аналитических методов. Оценены метрологические параметры применяемых методов при анализе природных сред и биологических материалов. Охарактеризовано современное состояние загрязнения природных сред тяжелыми и токсичными металлами конкретных промышленных узлов — Гусь-Хрустального и Подольска. С учетом специфики промышленности городов и среды обитания детского населения изучены уровни загрязнения токсичными металлами диагностических биологических материалов детей (волосы, кровь), проживающих в различных районах городов. Приведены результаты исследований по оценке воздействия окружающей среды на здоровье детского населения. Определен реальный ущерб здоровью детей, их нервно-психическому развитию и поведению, а также рассмотрены последствия воздействия социально-экономических факторов. Оценены профилактические проблемы среди детского населения, подвергающегося влиянию свинца и других токсических металлов, и предложены способы их решения. Разработана система ранней диагностики и профилактических мероприятий для снижения неблагоприятного влияния токсичных металлов (Pb, Cu, Mn, Zn, Cr, Ni, As и др.) на нервно-психическое развитие детей на основе реальной эколого-геохимической оценки состояния исследуемой территории.

The paper shows a methodology for conducting geological and medical research and the place of nuclear and related analytical methods of analysis in these studies. The necessity of creating an effective set of the most advanced modern analytical techniques

*E-mail: marina@nf.jinr.ru

is shown. Metrological parameters of the methods used in the analysis of natural environments and biological materials are assessed. The current state of contamination of the environment with heavy metals and toxic elements of specific industrial sites, Gus Crystal and Podolsk, is characterized. Given the specificity of industrial cities and the environmental habitat of the child population, the levels of contamination with toxic metals of diagnostic biological materials (hair, blood) of children living in various parts of the city, were studied. The results of studies on the effects of the environment on children's health are given. The real impact on children, their neuropsychological development and behavior, as well as the impact of socio-economic factors, were determined. Prophylactic problems among children's population affected by lead and other toxic metals are discussed, and the ways of their solving are suggested. A system of early detection and preventive measures to reduce the adverse effects of toxic metals (Pb, Cu, Mn, Zn, Cr, Ni, As, etc.) on the psychological development of children based on real ecological and geochemical assessment of the study area was developed.

PACS: 07.88.+y; *91.62.Rt

ВВЕДЕНИЕ

Существует несколько толкований термина «геологическая медицина». В наиболее узком и консервативном смысле — это изучение влияния географических факторов на развитие и протекание заболеваний у человека. Развитие этого направления привело в свое время к открытию специфических заболеваний, связанных с конкретной географией распространения, — это болезнь Кешан, синдром Кашин-Бека, болезнь Итай-Итай, «черная стопа», болезнь Минамата, эндемический зоб. Было выяснено, что в основе этих заболеваний лежат особенности микроэлементного состава почв или донных отложений данного региона. Эти особенности приводили либо к избытку, либо к недостатку поступления определенных микроэлементов в организм человека [1–4]. Почва в этом случае выступает как депонирующая среда, подверженная геологическому, геохимическому и антропогенному воздействию. Почва наследует те химические элементы, которые содержатся в почвообразующих породах, как итог геологического развития данного района. В геохимическом плане почвообразование представляет собой сложный, развивающийся во времени процесс обмена вещества между литосферой, атмосферой и наземными организмами. В последние десятилетия в процессы миграции элементов в природной среде интенсивно включилась антропогенная деятельность человечества. Количество химических элементов, поступающих в окружающую среду в результате техногенеза, в ряде случаев значительно превосходит уровень их естественного поступления. Включаясь в природные циклы миграции, антропогенные потоки приводят к быстрому распространению загрязняющих веществ в природных компонентах ландшафта, где неизбежно их взаимодействие с человеком. Объемы поллютантов, содержащих тяжелые и токсичные металлы, ежегодно возрастают и наносят ущерб природной среде, подрывают

существующее экологическое равновесие и негативно сказываются на здоровье людей. Все это привело к тому, что термин «геологическая медицина» постепенно пересматривается в сторону более широкого толкования. В современном понимании это наука, которая изучает вопросы взаимодействия человека и объектов геосферы, составляя замкнутый цикл взаимозависимости. Поэтому обобщение знаний, опыта и методологии геологических, геохимических, экологических и медико-биологических дисциплин становится необходимым.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы было исследование воздействия окружающей среды на здоровье детского населения с помощью методов медицинской геологии. При этом разрабатывалась система ранней диагностики и профилактических мероприятий для снижения неблагоприятного влияния тяжелых и токсичных металлов (Pb, Cu, Mn, Zn, Cr, Ni, As и др.) на нервно-психическое развитие детей. Для достижения этой цели осуществлялось следующее:

- изучение интенсивности и пространственного загрязнения природных сред конкретных промышленных узлов;
- выбор на основе полученных данных объектов для медико-биологических исследований;
- оценка воздействия эколого-геохимических факторов на состояние среды обитания детского населения;
- изучение уровня загрязнения токсичными металлами диагностических биологических материалов детей (волосы, кровь);
- определение реального ущерба здоровью детей на основе оценки результатов тестирования их нервно-психического и физического развития и поведения, а также воздействия социально-экономических факторов;
- оценка профилактических проблем для детского населения, подвергающегося влиянию токсических металлов, и возможных способов их решения.

МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Само определение термина «медицинская геология» показывает, что исследования проводятся на границе нескольких наук: геологии, геохимии, химии атмосферы, гидрохимии, экологии, биохимии, медицины. Методика проведения исследований состоит из нескольких этапов, каждый из которых отвечает методологии своей области науки. Характер ландшафта и геохимические особенности региона исследуются с помощью методов геологии и геохимии, аэрозольные выпадения и характеристики питьевых и поверхностных вод — с помощью методов химии атмосферы и гидрохимии, почва, растительность и состав биологических материалов изучаются с помощью методов экологии и биохимии, состояние организма человека и его

здоровье изучает медицина. Следует отметить, что в каждой из этих наук применяются свои специфические методы исследования, а связующим звеном между ними служат используемые аналитические методы, в нашем случае — ядерно-физические методы анализа вещества. Последовательность выполнения медико-геологических исследований, своеобразная «дорожная карта» проведения работ, состоит из нескольких этапов.

- Изучаются все доступные литературные источники, освещающие эколого-геохимическую обстановку объекта предполагаемого исследования. По литературным данным выявляются основные источники техногенного загрязнения окружающей среды и круг основных элементов-загрязнителей. Отмечаются основные водотоки, источники питьевой воды (открытые или закрытые), выясняется роза ветров. Предварительно оценивается комплекс аналитических методов, необходимый для проведения работ.

- Осуществляется рекогносцировка на местности. Составляется план проведения работ с точками отбора образцов природных сред, оценивается объем предполагаемых полевых работ, определяется общее количество образцов природных сред. Конкретизируется объем и перечень необходимых аналитических работ.

- Проводятся переговоры и согласование плана предстоящих работ с местной администрацией и органами санитарно-эпидемиологического контроля, учитываются их замечания и рекомендации.

- По разработанному плану в ходе полевых работ проводится отбор образцов природных сред: почвы, атмосферных аэрозолей, поверхностных вод, донных отложений, сельскохозяйственной растительности.

- Отобранные образцы готовятся к анализу (высушивание, истирание, минерализация, упаковка). Проводится анализ образцов с помощью выбранного комплекса методов.

- Осуществляется обработка полученных аналитических данных, составляются карты техногенного загрязнения, оценивается эколого-геохимическая ситуация в регионе (городе) на момент проведения исследования. Подтверждаются или не подтверждаются уже известные и выявляются новые источники техногенного загрязнения, уточняется набор основных элементов-загрязнителей. Выявляются общественные объекты (детские сады и школы), находящиеся в зоне наибольшего и наименьшего техногенного воздействия.

- На выбранных объектах производится отбор образцов среды обитания — аэрозолей воздуха помещений, образцов краски стен, пылевых сметов, питьевой воды, рационов питания. Проводится добровольное анкетирование родителей детей с оценкой социально-экономического статуса, семейной обстановки, уточняется место и условия работы обоих родителей.

- На выбранных объектах у детей осуществляется отбор диагностических биоматериалов (кровь, волосы). Проводится медицинское тестирование физического и психофизического состояния каждого ребенка.

- Проводится анализ диагностических биоматериалов. С использованием данных о концентрации ксенобиотиков в биоматериалах и результатов медицинского тестирования выявляется группа риска. Оценивается вклад социально-экономической и экологической групп воздействия на здоровье ребенка.

- Разрабатывается и предлагается комплекс профилактических мероприятий для нейтрализации негативного воздействия.

Как видно из изложенного выше, комплекс аналитических методов занимает одно из ключевых мест в методике проведения исследований. Или этот комплекс непосредственно применяется в перечисленных этапах, или результаты его применения определяют направление и объем дальнейших исследований. Зачастую в рамках одного исследования возникает необходимость анализировать образцы, сильно различающиеся по макро- и микросоставу, агрегатному состоянию, уровням концентраций определяемых элементов. При этом возможна ситуация, когда возникает необходимость дополнить комплекс аналитических методов или изменить объемы уже применяемых методов.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в городах Гусь-Хрустальном Владимирской обл. и Подольске Московской обл. как типичных представителей малых городов средней полосы России с хорошо развитой инфраструктурой и технологически различной промышленностью.

Таблица 1. Объекты исследования

Город	Объект	Городская территория	Территория детских садов	Помещения детских садов
Гусь-Хрустальный (5 детских садов)	Воздух	—	5 точек отбора	8 точек отбора
	Почва	45 образцов	12 образцов	—
	Вода	1 образец	—	10 образцов
	Пылевые сметы	—	—	10 образцов
	Краска	—	—	6 образцов
	Суточные рационы питания	—	—	5 образцов
	Кровь	—	—	132 образца
	Волосы	—	—	119 образцов
Подольск (4 детских сада)	Воздух	9 точек отбора	7 точек отбора	5 точек отбора
	Почва	80 образцов	10 образцов	—
	Вода	10 образцов, р. Пахра	—	4 образца
	Донные отложения	—	—	—
	Суточные рационы питания	—	—	4 образца
	Кровь	—	—	143 образца
	Волосы	—	—	139 образцов

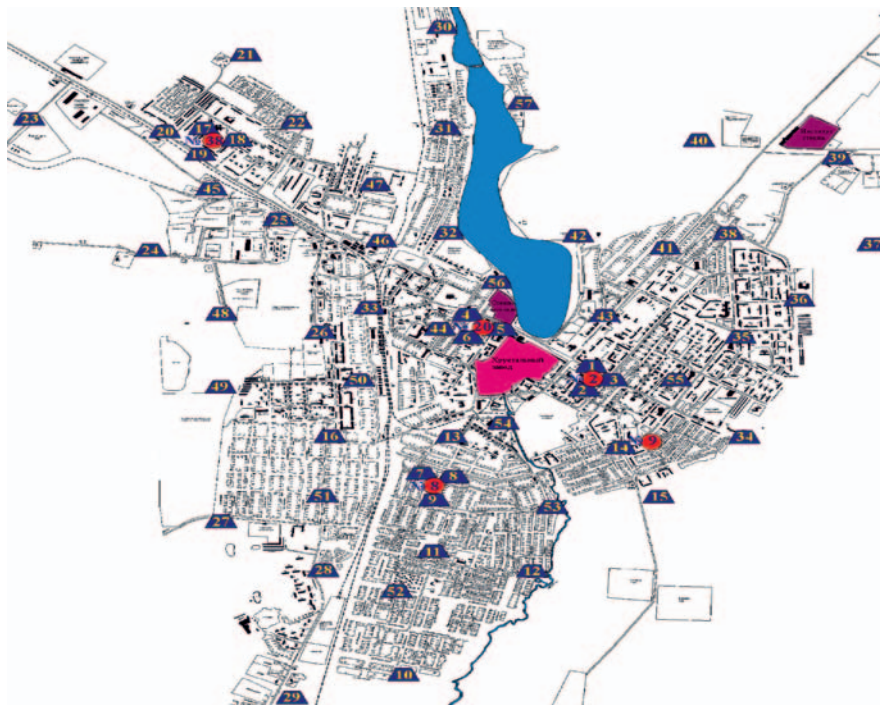


Рис. 1. Точки отбора проб почв на территории г. Гусь-Хрустального

В табл. 1 приведены объекты исследований и количество отобранных образцов.

Гусь-Хрустальный. Основными источниками загрязнения окружающей среды Гусь-Хрустального являются хрустальный завод (основан в 1750 г.) и завод стекловолокна. Эти предприятия расположены в историческом центре города, к югу от городского водохранилища (рис. 1). В атмосферный воздух г. Гусь-Хрустального выброшено (т/год): 13–38,7 свинца, 0,8–13,6 мышьяка [5].

Подольск. Основными источниками загрязнения природных сред на территории г. Подольска являются машиностроительный, аккумуляторный, кабельный, химико-металлургический, цементный заводы, завод огнеупоров и др. Эти предприятия выбрасывают в атмосферу значительное количество загрязняющих веществ, в том числе свинец, медь, цинк, никель, вольфрам, другие металлы, пыль и т.д. Выбросы свинца от электротехнической промышленности составляют до 3,38 т/год [6]. Следует отметить, что все эти

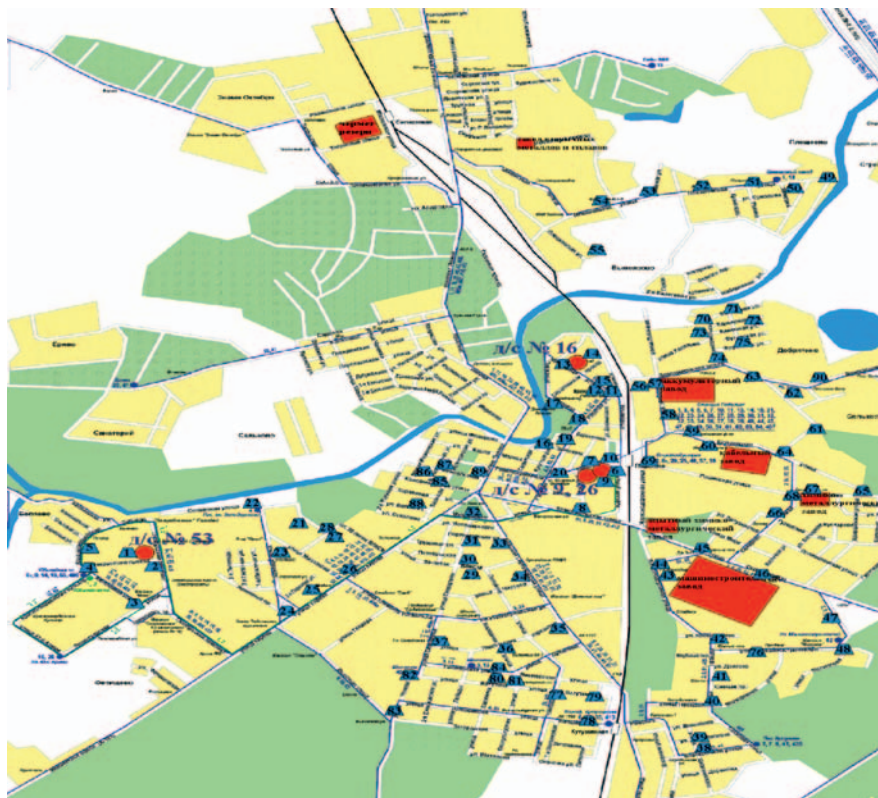


Рис. 2. Точки отбора проб почв на территории г. Подольска

предприятия в настоящее время вполне успешно функционируют, поэтому воздействие на окружающую среду носит мультиплексный характер и осуществляется в основном посредством атмосферных выбросов. Город разделен железной дорогой на жилой (западный) и промышленный (восточный) районы (рис. 2). С учетом направления «розы ветров» перенос атмосферных аэрозолей происходит в основном на юго-восток, поэтому загрязнение жилых районов должно быть минимальным.

ОТБОР ОБРАЗЦОВ

При проведении работ отбирались образцы атмосферных аэрозолей, почв, питьевой воды и воды поверхностных водотоков, растительности, рационов питания, биологических материалов. Методика отбора образцов природных

сред достаточно хорошо изучена, стандартизована и описана в ряде ГОСТов и методических указаний [7–11], поэтому останавливаться подробно на их описании нет необходимости, чего нельзя сказать о методике отбора образцов биологических материалов — крови и волос.

Кровь. Кровь состоит из жидкой части — плазмы (55–65 %) и находящихся в ней взвешенных клеток — форменных элементов (35–45 %). Плазма содержит около 94 % воды, 6 % белков и солей, а также углеводы, жиры, витамины, гормоны, ферменты и т.п. Эритроциты, лейкоциты, тромбоциты и др. составляют форменные элементы крови. Элементы-токсиканты, поступающие в кровь, отражают воздействие на организм в момент отбора образца. Более 95 % свинца, 90 % цинка, практически весь марганец и кадмий в крови находятся в эритроцитах. Для обеспечения представительности образца крови необходимо обеспечить ее однородность во время хранения. Для этого используют специальные контейнеры с антикоагулянтом — гепарином или ЭДТА [12]. Для отбора капиллярной крови используют контейнеры малого объема — до 0,5 мл — микротейнеры, при отборе венозной крови — вакуумированные контейнеры объемом до 10 мл — вакуутейнеры. В процессе отбора образца под действием вакуума кровь быстро перекачивается в вакуутейнер. При этом минимизируется опасность загрязнения пробы крови из внешней среды. Это особенно важно для определения микроэлементов, и в частности — при обследовании детей. Объем отобранной крови в лучшем случае составляет несколько миллилитров. При этом даже малые (порядка 1 мкг) количества попадающих извне микроэлементов могут внести значительную ошибку в результат анализа. Контейнеры для отбора крови также являются одним из источников внешнего загрязнения, поэтому в процессе анализа необходимо контролировать их чистоту на содержание определяемого компонента и вносить поправку в результат анализа. В целом процедура отбора проб крови состоит из следующих операций:

- надевается новая пара перчаток при приеме очередного пациента;
- целиком заполняется учетная карточка нового пациента;
- на одноразовой салфетке раскладываются все необходимые для взятия пробы материалы и инструменты;
- вскрываются все упакованные одноразовые материалы и инструменты;
- производится необходимая стерилизация места отбора пробы у пациента и забор венозной крови в одноразовый шприц;
- отобранная кровь переносится в контейнер с антикоагулянтом и перемешивается путем встряхивания;
- на контейнер с кровью наклеивается этикетка с маркировкой пробы;
- маркировка пробы заносится в учетную карточку пациента;
- маркированный контейнер помещается на хранение в холодильник или морозильник с глубокой заморозкой.

К хранению и транспортировке проб крови предъявляются особые требования. Хранение проб в пластиковых контейнерах может осуществляться в холодильнике ограниченное время или в морозильнике при температуре -20°C не более 1–20 сут. Транспортировка в течение 1–3 сут может быть осуществлена в специализированных переносных холодильниках, наполненных хладогеном или сухим льдом. Нежелательна транспортировка в течение более 3 сут. Для определения содержания элементов кровь разбавляют или частично либо полностью минерализуют в зависимости от применяемого в дальнейшем метода анализа. При анализе методом атомно-абсорбционной спектроскопии с непламенной атомизацией кровь разбавляют в 3–20 раз для уменьшения ее вязкости, облегчения ее дозирования в графитовый атомизатор и для уменьшения вспенивания на стадии сушки. В качестве разбавителей применяют водные растворы Тритон X-100, в которые вводят различные модификаторы, необходимые для последующего определения методом непламенной ААС. При частичной минерализации образец крови обрабатывают подходящим реагентом для разрушения эритроцитов и перехода содержащихся в них ионов металлов в раствор. В качестве реагента чаще всего применяют азотную кислоту концентрации 0,8–1,0 М. Иногда реагент содержит различные добавки и модификаторы, необходимые для анализа полученного раствора соответствующим методом. Полную минерализацию чаще всего проводят с использованием азотной и хлорной кислот и перекиси водорода открытым способом или в закрытой системе — в автоклавах, микроволновых системах. Главная проблема минерализации крови заключается в обеспечении минимального значения «холостого» опыта. При определении низких содержаний свинца в крови вероятность случайного загрязнения анализируемой пробы свинцом на различных этапах пробоподготовки является особенно актуальной. Существенный вклад в загрязнение пробы вносят используемые реактивы и кислоты, применяемые при разложении образцов крови. При использовании деионизованной воды, а также дополнительно очищенной азотной кислоты значение «холостого» опыта существенно уменьшается. При определении свинца в крови на нижней границе диапазона определяемых концентраций (1 мкг/дл) содержание свинца в «холостом» опыте не должно превышать 3 мкг/л при разведении 10 мл. Далее образец анализируют любым подходящим методом — атомной абсорбции или масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Волосы. Волосы являются сложной тканью эпидермального происхождения, состоящей из нескольких разновидностей клеток и множества химических компонентов. Видимая часть волоса, выступающая на поверхности кожи, называется стержнем, корень волоса с луковицей и окружающими его тканями находится в фолликуле. В основании луковицы располагается волосяной сосочек — соединительнотканное образование, содержащее нервные волокна и кровеносные сосуды и обеспечивающее ее веществами, необхо-

димыми для размножения клеток и роста волос. Основную часть волоса — 85–93 % — составляют аминокислоты протеинов. Волосы содержат 2,3 % липидов, 4–13 % (в зависимости от влажности воздуха) воды, 4,1 % серы и 0,2–0,8 % золы. Общее содержание микроэлементов в волосах складывается из микроэлементов внутреннего (эндогенного) и внешнего (экзогенного) происхождения. Эндогенные микроэлементы поступают в волос на стадии его образования из кровяного русла организма, а также из липидов и пота, которые вырабатываются сальной и потовой железами, связанными с волосяным мешочком. В процессе кератинизации происходит «фиксирование» элементов, а по мере роста волоса — их продвижение вдоль стержня. Через 3 недели волос достигает поверхности кожи. Дальнейшее изменение его микроэлементного состава определяется процессами сорбции элементов волосами из внешней среды (экзогенные элементы). Процессы сорбции зависят от множества факторов: состояния окружающей среды, состояния здоровья, использования определенных моющих средств, частоты мытья волос, курения и др. Микроэлементы эндогенного происхождения свидетельствуют о микроэлементном статусе организма в то время, когда формировался соответствующий участок волоса. Участок волос длиной в 1 см является интегральной характеристикой примерно двухмесячного промежутка времени (скорость роста волос — 1 см в месяц плюс примерно 3 недели до его появления на поверхности кожи). Каждый дополнительный сантиметр увеличивает продолжительность характеризуемого периода на месяц, т. е. сегмент длиной 3 см характеризует прошедшие 4 мес. До настоящего времени протокол МАГАТЭ [13] остается единственной рекомендацией в области отбора и подготовки волос к анализу. Согласно ему необходимо отбирать прядь волос с затылочной части головы в непосредственной близости к коже (не далее 1–2 мм). Для анализа от пряди следует отрезать проксимальный участок длиной не менее 10 см. Если длина отбираемых волос менее 10 см, анализируется проксимальный участок длиной 5 см. При этом образцы волос длиной 10 см разрезаются пополам, и полученные участки по 5 см анализируются как отдельные образцы. Не менее 100 отдельных волосков должно быть отобрано с головы одного человека. Навеска образца длиной 5 см должна быть не менее 10 мг (как правило, 100 мг).

Отбор проб волос осуществляется по следующей методике:

— надевается новая пара резиновых перчаток после взятия каждой пробы (не обработанных тальком);

— целиком заполняется учетная карточка каждого пациента, содержащая информацию об используемых шампунях и кондиционерах;

— расческа, ножницы и зажимы для волос извлекаются из раствора изопропилового спирта на одноразовую салфетку, чтобы они просохли;

— обозначается и выделяется алюминиевыми или пластиковыми заколками участок волосистой части головы, границы которого проходят между верхними кончиками ушей и задней частью шеи;

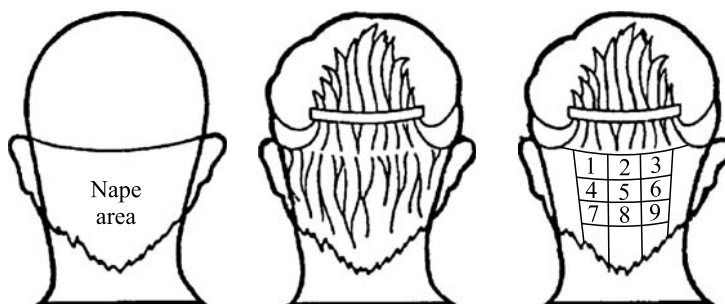


Рис. 3. Схема отбора волос

— состригаются хирургическими ножницами из нержавеющей стали 10–20 прикорневых прядей волос на 5–10 различных участках затылочной области длиной 3–5 см не полностью (рис. 3). Внешний вид пациента не должен страдать от небрежной стрижки;

— состриженные волосы помещаются в чистый герметичный пластиковый пакетик с фиксатором-застежкой, и наклеивается этикетка с маркировкой пробы;

— маркировка пробы заносится в учетную карточку пациента.

Хранение проб волос осуществляется в чистых пластиковых пакетиках с фиксатором-застежкой. Хранению и транспортировке проб волос не предъявляется специальных требований за исключением случаев физического нарушения целостности упаковочного материала. Подготовка проб волос к анализу заключается в удалении с них поверхностного загрязнения и обезжиривании. Все варианты включают мытье волос детергентом, многократное ополаскивание дистиллированной водой и обезжиривание спиртоэфирной смесью или ацетоном и сушку на воздухе при умеренных температурах. В дальнейшем при проведении ИНАА проба упаковывается и отправляется на облучение и анализ без дополнительной обработки. При проведении анализа любыми другими методами необходима минерализация образцов волос. Для минерализации волос характерны те же проблемы, что и для минерализации крови, главная из которых — минимальное значение «холостого» опыта. Сухую минерализацию проводят в муфельной печи при 480 °С, остаток растворяют в разбавленной кислоте. При кислотной минерализации волос используют различное сочетание реактивов (HNO_3 и H_2O_2 , HNO_3 и HClO_4 , H_2SO_4 и H_2O_2 и др.) с нагреванием при атмосферном или повышенном давлении в сочетании с микроволновой или ультразвуковой обработкой пробы. Анализируемая навеска обычно составляет 100–500 мг, объем кислот 2–12 мл.

АНАЛИЗ ОБРАЗЦОВ

При выборе аналитического обеспечения экологических работ необходимо учитывать аналитические характеристики методов, их аппаратурное оформление, методическое обеспечение, сложность подготовки проб к анализу, экономические и временные факторы. Используемые методы должны решать поставленные задачи в рамках всего исследования, и вместе с тем их количество должно быть минимальным. Поэтому разработка подходящего аналитического комплекса, обеспечивающего получение достоверных аналитических данных, является необходимым этапом в планировании наших исследований. Ввиду специфики исследований самыми важными характеристиками методов являются матричные влияния при определении различных элементов, возможность одновременного определения широкого круга элементов с необходимой чувствительностью, простота подготовки проб к анализу, стоимость анализа. С учетом этого наиболее оптимальными являются инструментальные методы анализа — рентгенофлуоресцентный (РФА) и инструментальный нейтронно-активационный (ИНАА). Эти методы позволяют почти полностью удовлетворить потребность большинства экологических исследований в микроэлементном анализе различных объектов окружающей среды: атмосферного воздуха и воздуха помещений, питьевой и поверхностной воды, продуктов питания, почв, донных отложений, а также компонентов среды обитания человека и биологических материалов человека в широком диапазоне концентраций. Совместное использование РФА и ИНАА обеспечивает определение в твердых образцах следующего набора элементов: Ag, As, Au, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Eu, Fe, Hf, Hg, Ir, K, La, Lu, Mg, Mn, Na, Pb, Rb, Re, Sb, Se, Sc, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, U, W, Yb, Zn. Исключение составляют несколько элементов, из которых наиболее важными с экологической, биохимической и медицинской точек зрения являются никель, кадмий, ртуть и свинец (в биологических образцах и воде). Для определения этих элементов в используемом аналитическом комплексе на основе РФА и ИНАА целесообразно использовать атомно-абсорбционную спектрометрию (ААС). Преимуществами ААС являются очень высокая селективность, высокая чувствительность определения, простота анализа. При этом метод ААС характеризуется слабым влиянием матрицы анализируемого объекта на результаты анализа. Это значительно снижает требования к подготовке твердых образцов к анализу и позволяет использовать практически все кислоты для их вскрытия. Большое достоинство выбранного аналитического комплекса на основе РФА, ИНАА и ААС — наличие аттестованных методик, утвержденных в качестве руководящих документов [14–25]. В случаях, когда требуется определение низких содержаний широкого круга элементов в биоматериалах и воде, может привлекаться масс-спектрометрия с индукционно связанной плазмой (ИСП МС) [23, 26].

Инструментальный нейтронный активационный анализ проводился на исследовательских реакторах ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ и ИРТ МИФИ. Наведенная активность измерялась с помощью спектрометров на основе детекторов из сверхчистого германия большого объема фирмы «Canberra» с энергетическим разрешением 1,3 кэВ по линии 1332 кэВ ^{60}Co и GEM 25185 фирмы «Ortec» с энергетическим разрешением 1,85 кэВ по линии 1332 кэВ ^{60}Co .

Атомно-абсорбционный анализ осуществлялся с помощью атомно-абсорбционного спектрометра «Квант-2А» (Москва, КОРТЭК), укомплектованного дейтериевым корректором неселективного поглощения и соответствующими лампами с полым катодом. Определение Zn, Pb, Cu и Cd проводили в пламени «пропан-воздух», Fe, Mn и Ni — в пламени «ацетилен-воздух». Анализ концентрации Hg осуществлялся с помощью атомно-абсорбционного анализатора с «холодным паром» «Юлия-5К».

Рентгеноспектральный анализ проводился с использованием последовательного волнового XRF-спектрометра «S4 Pioneer» Bruker AXS, обработка полученных результатов — с помощью пакета программ «S4 Spectra Plus».

Масс-спектрометрия осуществлялась с помощью масс-спектрометра с индукционно-связанной плазмой высокого разрешения «ELEMENT-2» (Thermo Fisher Scientific).

Наиболее важными характеристиками комплекса аналитических методов являются пределы определения элементов, правильность и достоверность анализа, стоимость анализа. Пределы определения некоторых макро- и микроэлементов, полученные в результате проведения аналитических работ с помощью выбранного комплекса аналитических методов, для грунтов, почв, биологических материалов и воды приводятся в табл. 2.

Проблема достоверности аналитических данных весьма актуальна в настоящее время. Сличительные испытания показали, что результаты определения одного и того же элемента в одном и том же специально подготовленном образце волос, полученные в разных лабораториях, могут различаться в десятки раз [23, 26]. Результаты масс-спектрометрического анализа волос, полученные в ходе межлабораторного исследования в 1999 г. с участием 20 лабораторий мира, показали удовлетворительную воспроизводимость результатов только по Zr. Минимальное и максимальное содержание по Bi и U различалось в 3 раза, по Mo и Sb — в 5 раз, по Cu и Zn — в 7 раз, по Cd — в 8 раз, для остальных 17 элементов, в том числе по As, Pb — в 10 и более раз (например, по Al — 4 порядка) [26]. В общем виде качество и достоверность проводимого анализа достигается за счет внутрилабораторного и внешнего контроля. Контроль внутри лаборатории осуществляется с соблюдением стандартных процедур, которые являются основанием для аккредитации лаборатории [27]. Внешний контроль осуществляется с помощью профессиональных аналитических тестов, когда состав контрольного образца не известен проверяемой лаборатории, а также в рамках программ аттестации

Таблица 2. Пределы определения элементов различными методами

Элемент	Грунт, почва, мг/кг				Биоматериалы, мг/кг			Вода, мг/л	
	РФА	ИНАА	АА	ИСП-МС	ИНАА	АА	ИСП-МС	АА	ИСП-МС
Na	50	5	—	5	5	—	4	0,1	0,01
Mg	20	100	—	5	50	—	1	0,1	0,01
Cl	—	50	—	—	20	—	—	—	—
K	10	150	—	5	100	—	5	0,1	0,02
Ca	4	300	—	5	100	—	5	0,1	0,01
Sc	3	0,005	—	0,1	0,001	—	0,1	—	0,0001
Ti	3	100	—	5	100	—	2	—	0,0001
V	2	50	—	0,5	30	—	0,1	—	0,0001
Cr	5	0,5	—	0,1	0,1	—	0,1	0,0002	0,0001
Mn	2	1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,005	0,0001
Fe	5	50	2	5	30	2	2	0,02	0,001
Co	0,7	0,1	0,5	0,1	0,05	0,5	0,1	0,0002	0,0001
Ni	3	—	0,5	0,1	—	0,5	0,1	0,0002	0,001
Cu	7	10	0,1	0,1	5	0,1	0,1	0,00001	0,0001
Zn	2	5	2	5	1	2	0,4	0,001	0,0005
As	3	0,05	0,1*	0,1	0,01	0,1*	0,1	—	0,00005
Se	—	0,5	0,1*	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,0002	0,0005
Br	—	0,5	—	0,1	0,1	—	0,1	—	0,01
Rb	1,5	5	—	0,1	1	—	0,1	—	0,0001
Sr	1	50	—	0,1	10	—	0,1	—	0,0005
Mo	1,5	0,5	—	0,1	0,1	—	0,1	0,0001	0,0001
Ag	—	0,5	—	0,1	0,2	—	0,1	0,00005	0,0001
Cd	—	2	0,05	0,05	1	0,05	0,05	0,00001	0,00001
Sb	—	0,05	—	0,1	0,01	—	0,1	0,0005	0,000005
Cs	—	0,1	—	0,1	0,05	—	0,1	—	0,000005
La	6	0,5	—	0,05	0,1	—	0,05	—	0,000005
Ce	10	1	—	0,05	0,5	—	0,05	—	0,000005
Hf	—	0,05	—	—	0,05	—	0,02	—	0,0001
Ta	—	0,2	—	—	0,1	—	0,01	—	0,0001
W	—	0,5	—	0,1	0,2	—	0,1	—	0,00005
Au	—	0,005	—	—	0,001	—	0,03	—	0,00005
Hg	—	0,05	0,001**	0,08	0,01	0,001**	0,08	0,0001**	0,00001
Pb	3	—	0,5	0,1	—	0,5	0,1	0,00001	0,00001
Th	2	0,1	—	0,05	0,1	—	0,03	—	0,000005
U	2	0,5	—	0,05	0,5	—	0,03	—	0,000005

* Атомно-абсорбционный анализ с генерацией гидридов.
** Атомно-абсорбционный анализ с «холодным паром».

Таблица 3. Участие ЛНФ ОИЯИ в международных программах тестирования аналитических лабораторий и аттестации стандартных образцов состава

Объект	Определяемые элементы	Индекс	Организатор	Год
Рыба	As, Br, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mn, Na, Ni, Rb, Se, Zn	IAEA-407	МАГАТЭ	2003
Рацион питания	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Na, Zn	IAEA-CRP	NFA, Швеция	2003
Лишайник	Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn	Lichen IAEA-338	МАГАТЭ	2003
Мясо моллюска	Cd, Cr, Fe, Ni, Pb	Round T-8	NFA, Швеция	2003
Мука	Cd, Cu, Mn, Pb, Zn	Round T-9	NFA, Швеция	2004
Донные отложения	As, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Sr, Zn	IAEA-433	МАГАТЭ	2004
Рацион питания	Cd, Fe, Ni, Pb	Round T-10	NFA, Швеция	2005
Рыба (тунец)	As, Br, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Rb, Zn	IAEA-436	МАГАТЭ	2006
Донные отложения	As, Ba, Br, Ce, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, La, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sr, Th, V, Zn	IAEA-158	МАГАТЭ	2007
Рацион питания	Cd, Cu, Ni, Pb, Se	Round T-15	NFA, Швеция	2007
Молоко	Cd, Pb, Zn	Round T-17	NFA, Швеция	2008
Листья табака	Ba, Br, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hf, La, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Sc, Sm, Th, Zn	INCT-OBTL-5; INCT-PVTL-6	Institute of Nuclear Chemistry and Technology	2008
Мясо моллюска	Ag, As, Br, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, La, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Sc, Se, Th, Zn	IAEA-452	МАГАТЭ	2009
Андезит	Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, Y, Yb, Zn, Zr	GeoPT27/ MGL-AND	International Association of Geoanalysts (IAG)	2010
Донные отложения	Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	IAEA-456	МАГАТЭ	2010
Сланец	As, B, Ba, Be, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Gd, Ge, Hf, Ho, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sm, La, Lu, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr	GeoPT28/ SBC-1	(IAG)	2010
Осадок сточных вод	Cd, Co, Cu, Pb, Zn	IAEA-CU-2010-02	МАГАТЭ	2011
Нефелинит	Ba, Be, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, La, Li, Lu, Nb, Nd, Ni, Pr, Rb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr	GeoPT29/ NKT-1	(IAG)	2011

Таблица 4. Результаты аттестации СОС IAEA-452 (мясо моллюска), мг/кг. Шифр лаборатории 31

Элемент	Измерено		Аттестовано	Z-Score
	C_{cp}	Стандартное отклонение		
Na, %	5,6	0,25	4,39	2,19
Sc	0,27	0,001	0,3	-0,8
Cr	6,4	0,15	4,85	2,56
Mn	263	5	273	-0,29
Fe	1026	34	1021	0,04
Co	2,1	0,17	1,62	2,37
Ni	3,2	0,27	2,99	0,56
Cu	9,1	0,17	10,8	-1,27
Zn	156	4	166	-0,48
As	18,8	1,5	17,5	0,58
Se	7,7	0,36	6,55	1,4
Br	500	35	500	0
Rb	8,2	0,43	7,85	0,36
Ag	13,1	0,74	11,8	0,88
Cd	28	0,84	29,6	-0,43
Cs	0,3	0,023	0,3	0
La	0,81	0,043	—	—
Pb	2,3	0,16	2,31	-0,03
Th	0,41	0,011	—	—

Примечание. Z-Score — показатель, характеризующий отклонение исследуемого значения от дискриминантной линии.

стандартных образцов состава. В табл. 3 указан перечень международных программ тестирования аналитических лабораторий и аттестации стандартных образцов состава, в которых использовался комплекс перечисленных выше аналитических методов. В табл. 4 приведены результаты аттестации одного из стандартных образцов состава МАГАТЭ (IAEA-452 мясо моллюска, 2009 г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почва. Наиболее опасным для населения является загрязнение почвы сельских территорий. С учетом геофазии в первую очередь это касается детей, непосредственно контактирующих с почвой во время прогулок. В ходе исследований на территории г. Гусь-Хрустального проанализировано 57 образцов почв. Диапазон содержаний валового свинца по городу составляет 4,6–15000 мг/кг, при этом фоновое содержание в песчаных и супесчаных почвах, характерных для этого района, — 6 мг/кг. Превышение ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) содержания свинца для песчаных и супесча-

ных почв (32 мг/кг), характерных для этого района (32 мг/кг), обнаружено в 30 % проанализированных проб. Содержание подвижного свинца в почвах (аммонийно-ацетатный буфер, рН = 4,8) находится в интервале 1,7–1600 мг/кг и составляет от 11 до 47 % от его валового содержания. Корреляция между содержанием подвижной и валовой форм свинца отсутствует. Максимальные валовые содержания свинца в почве 4400–15000 мг/кг найдены в точках отбора, расположенных в пойме р. Гусь ниже заводской территории. Возможно, это связано с ливневыми стоками с территории хрустального завода в реку, в результате чего происходит накопление соединений свинца в донных отложениях и их перенос в пойму при весенних разливах. Это подтверждается уменьшением валового содержания свинца в пойме вниз по течению, а также низким содержанием подвижного (аммонийно-ацетатный буфер, рН = 4,8) свинца в этих образцах (11–26 %). На основании полу-

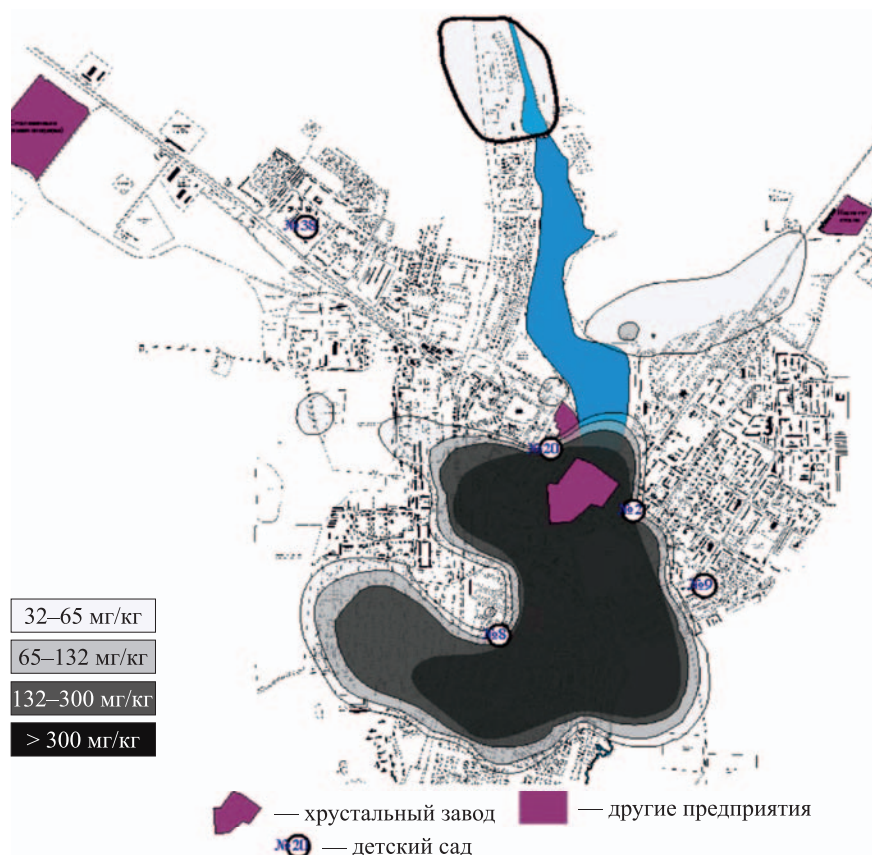


Рис. 4. Распределение свинца в почве г. Гусь-Хрустального

ченных результатов анализа построена карта распределения свинца в почвах города (рис. 4).

Зона наибольшего загрязнения охватывает район расположения хрустального завода и территорию на расстоянии до 2 км к югу от него. Превышение ОДК содержания мышьяка для песчаных и супесчаных почв (2 мг/кг) найдено в более чем половине проб (37 образцов) при максимальных содержаниях 63–230 мг/кг.

Распределение мышьяка в почвах аналогично распределению свинца, лишь зона максимального загрязнения занимает несколько меньшую площадь (рис. 5). Результаты проведенных исследований почвы стали основой для вы-

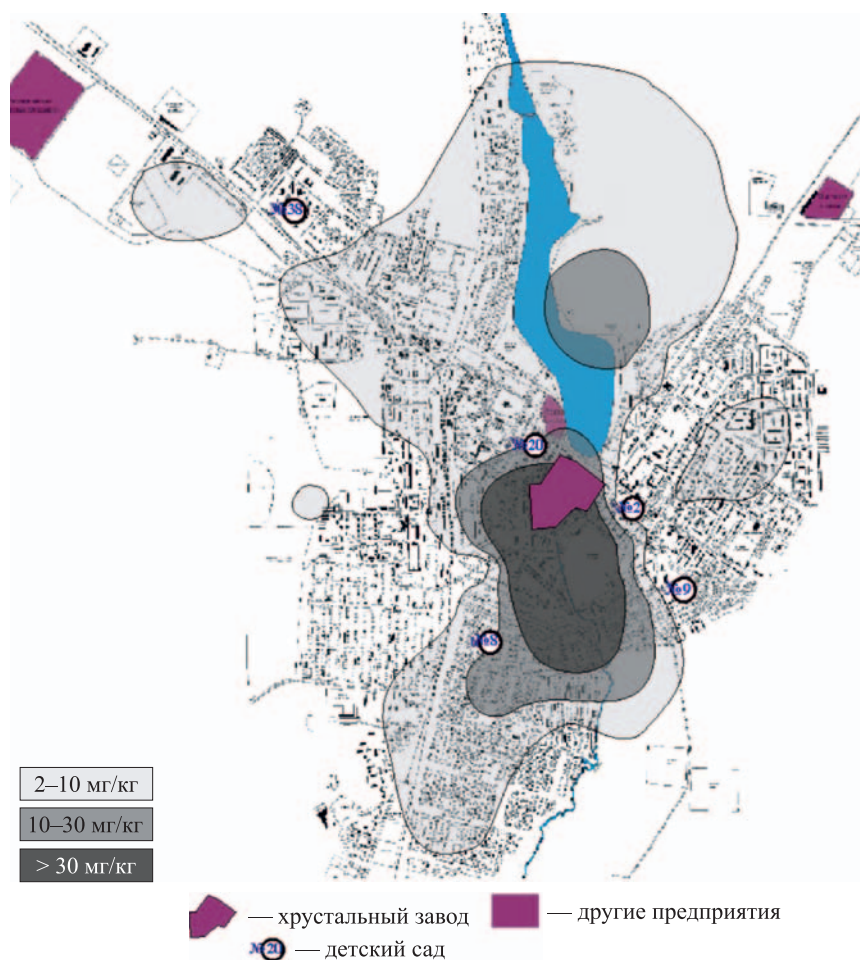


Рис. 5. Распределение мышьяка в почве г. Гусь-Хрустального

бора детских садов, на базе которых проводилось обследование детей. Детские сады выбирались в разных по уровню загрязнения свинцом городских районах на расстоянии до 1 км, 1–3 км и более 3 км от хрустального завода — основного источника свинцового загрязнения. В г. Гусь-Хрустальном в почве на территории д/с №№ 2, 20 и 8 средние содержания свинца значительно превышают ОДК для песчаных и супесчаных почв и находятся в интервале 60–100 мг/кг. Содержание свинца в почве д/с № 38, а также в песке детских песочниц всех обследованных детских садов составляет 7–10 мг/кг. Высокое содержание мышьяка найдено в почве на территории д/с №№ 8 и 20 (9–12 мг/кг), повышенное — в песочнице д/с № 8 (4,8 мг/кг). Проведена оценка степени загрязнения и суммарного показателя загрязнения отдельных участков почвы г. Гусь-Хрустального свинцом и мышьяком — элементами, относящимися к I классу опасности (табл. 5, 6) [28, 29].

В ходе исследований на территории г. Подольска проанализировано 90 образцов почв. С учетом полиэлементной антропогенной нагрузки в почвах

Таблица 5. Концентрация As и Pb в почве Гусь-Хрустального и Подольска, мг/кг

Характеристика	As		Pb	
	Гусь-Хрустальный	Подольск	Гусь-Хрустальный	Подольск
$C_{\text{ср}}$	12,9	6,65	398	97,5
Медицинская	3,6	6,4	17	46
Стандартные отклонения	38,1	2,17	2059	166
$C_{\text{мин}}$	2	2,3	4,6	12
$C_{\text{макс}}$	230	13	15000	1200
ПДК, ОДК	2–10		32–130	

Таблица 6. Оценка суммарного показателя загрязнения отдельных участков почвы г. Гусь-Хрустального свинцом и мышьяком

Участок	C_{1As} , мг/кг	C_{1Pb} , мг/кг	K_c^* (As)	K_c (Pb)	Z_c^{**}	Категория опасности загрязнения почв
1	11	520	7,3	87	93,3	Опасная
2	17	1300	11,3	217	227,3	Чрезвычайно опасная
3	63	4400	42	733	774	Чрезвычайно опасная
4	230	15000	153	2500	2652	Чрезвычайно опасная

* Коэффициент концентрации элемента в почве $K_c = C_i/C_{\text{ф}}$, где C_i — концентрация i -го элемента, $C_{\text{иф}}$ — региональный фон этого элемента, $C_{\text{фAs}} = 1,5$ мг/кг, $C_{\text{фPb}} = 6$ мг/кг.

** Суммарный показатель загрязнения $Z_c = \Sigma(K_c) - 1$ (для двух элементов); при $Z_c > 128$ загрязнение почв относится к чрезвычайно опасной категории, при $128 > Z_c > 32$ загрязнение почв относится к опасной категории.

Таблица 7. Концентрация микроэлементов в почвах г. Подольска, мг/кг

Значение	As, валовая	Cr		Cu		Mn, валовая
		Валовая	Подвижная	Валовая	Подвижная	
Минимальное	2,3	33	<0,1	9	0,16	180
Максимальное	13	520	0,2	430	19	1100
Среднее	6,7	151	—	42	2,6	540
Фон [31–33]	2,2	20	—	15	—	150
ПДК, ОДК	2–10	—	6	66–132	3	1500

Значение	Ni, валовая	Pb		V, валовая	Zn	
		Валовая	Подвижная		Валовая	Подвижная
Минимальное	4	12	1,1	16	36	3
Максимальное	54	1200	450	110	1200	400
Среднее	24	98	53	66	175	56
Фон [85]	30	15	—	—	45	—
ПДК, ОДК	40–80	32–130	—	150	110–220	23

г. Подольска наряду с As и Pb определяли Cr, Cu, Mn, Ni, V и Zn. Обобщенные результаты для валовых и подвижных форм элементов приведены в табл. 7.

В г. Подольске превышение ОДК свинца для глинистых и суглинистых кислых почв (65 мг/кг), которые характерны для природных ненарушенных почв Подольского района, установлено в 30 % образцов. В 15 % образцов (все они отобраны в промышленном районе) валовое содержание свинца выше ОДК для глинистых и суглинистых нейтральных почв, составляющих основную часть городской территории. Участки с повышенным содержанием свинца расположены в промышленной зоне и на расстоянии до 2 км к западу от аккумуляторного завода, а также вдоль основных транспортных магистралей города (рис. 6). При этом уровень загрязнения территорий, находящихся вне зоны непосредственного влияния промышленного производства, значительно ниже и не превышает норматива для нейтральных почв.

Выявлено превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) и ОДК для валовых и подвижных форм As, Cu, Pb, Zn в почве г. Подольска (табл. 7). Повышенное валовое содержание Pb, As, и Zn найдено в пределах промышленной зоны (рис. 6–8). Аномалии цинка, кроме того, располагаются вдоль транспортных магистралей города (рис. 8). Полученные результаты не противоречат литературным данным, в соответствии с которыми максимальные концентрации свинца и цинка найдены в дорожной пыли в районе с наиболее интенсивным дорожным движением [30].

В обследованных городах выявлено различие в поведении подвижной формы свинца. В г. Гусь-Хрустальном корреляция между валовой и подвижной формами отсутствует. В г. Подольске наблюдается логарифмическая зави-

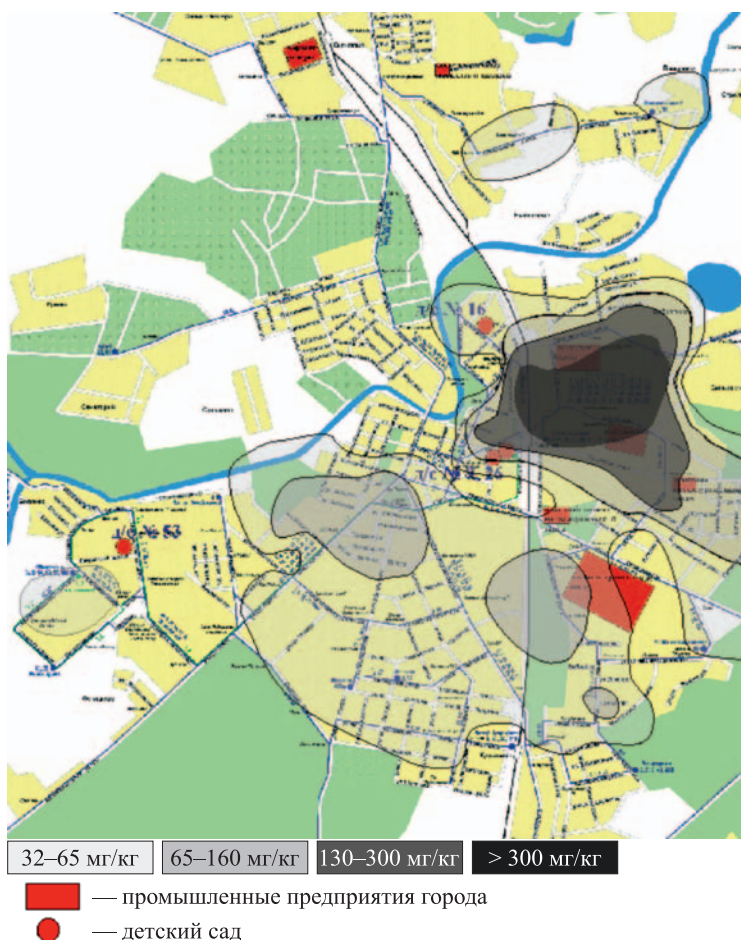


Рис. 6. Распределение свинца в почве г. Подольска

симось концентрации подвижных форм свинца, меди и цинка (аммонийно-ацетатный буфер, $pH = 4,8$) от их валового содержания (рис. 9, $p < 0,01$). Доля подвижного свинца в загрязненных пробах с валовым содержанием свинца свыше 300 мг/кг достигает 40–45%. В г. Гусь-Хрустальном содержание подвижного свинца в образцах с максимальным содержанием валового свинца составляет 11–26%. Большую роль в разном поведении подвижного свинца могут играть различные формы техногенного свинца, поступающего в окружающую среду. В г. Гусь-Хрустальном почва загрязняется практически нерастворимыми оксидами свинца, в г. Подольске это могут быть соли, связанные с особенностью технологических процессов производств.

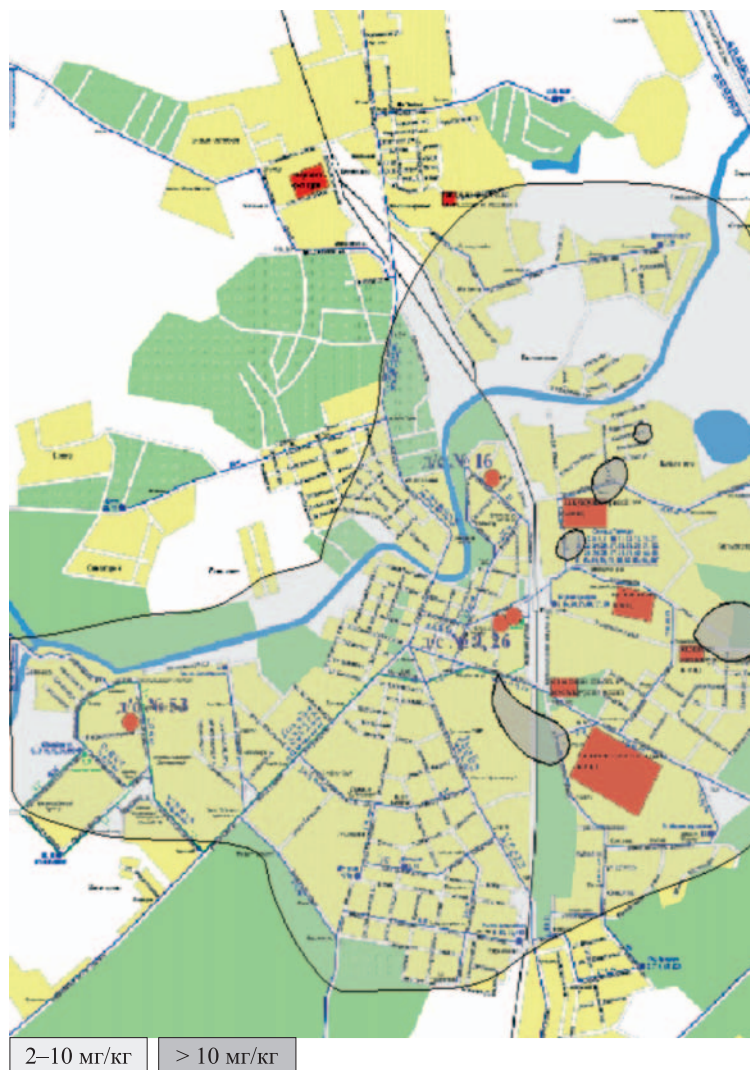


Рис. 7. Распределение мышьяка в почве г. Подольска

Содержание подвижной формы хрома в десятки раз меньше ПДК и практически не зависит от его валового содержания. Это свидетельствует о разной природе источника поступления в почву Cu, Pb и Zn, с одной стороны, и Cr, с другой. Основной вклад в содержание в почве Cu, Pb и Zn вносят выбросы промышленных предприятий. Для хрома, по-видимому, характерно преимущественно природное происхождение. Результаты проведенных исследований

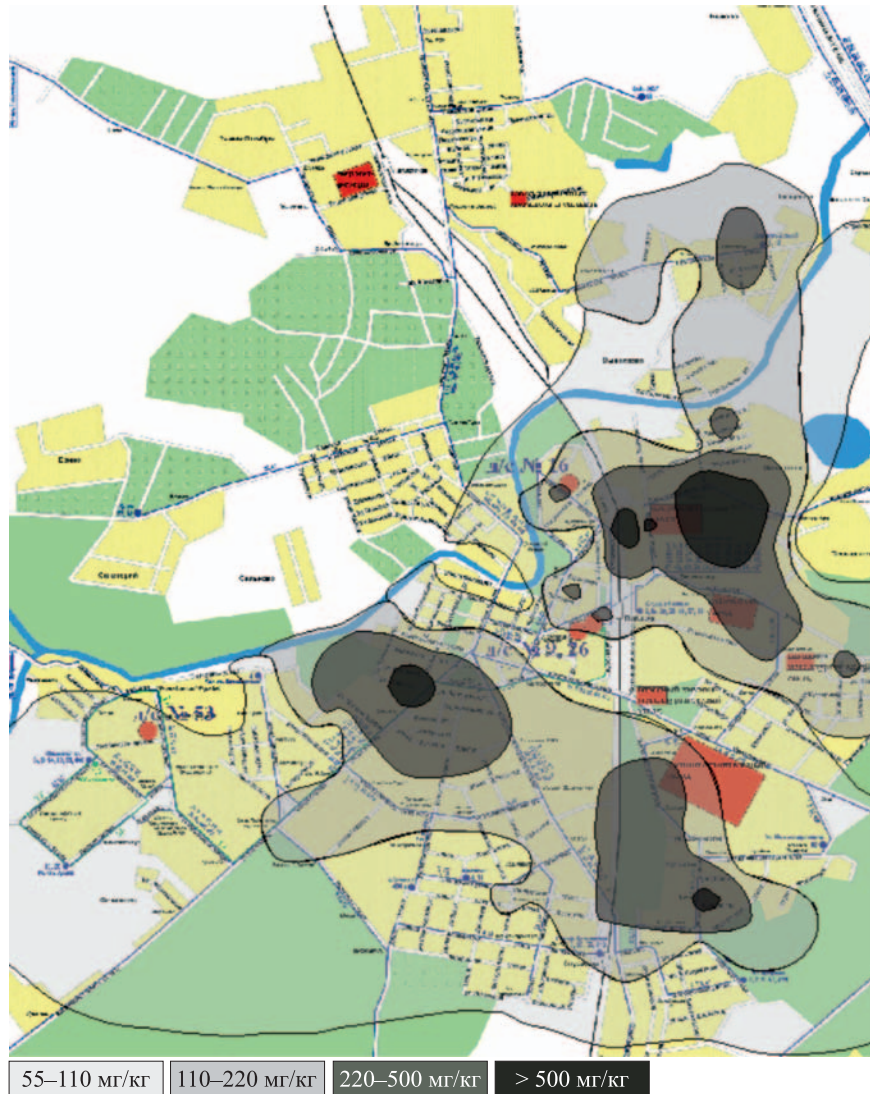


Рис. 8. Распределение цинка в почве г. Подольска

почвы так же, как и в г. Гусь-Хрустальном, стали основой для выбора детских садов с целью обследования детей. Детские сады выбирались в разных по уровню загрязнения свинцом городских районах на расстоянии до 1 км, 1–3 км и более 3 км от аккумуляторного завода — основного источника свинцового загрязнения.

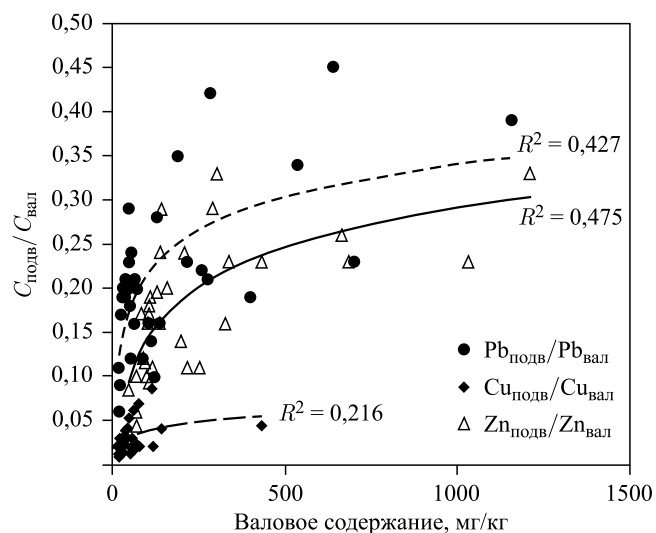


Рис. 9. Зависимость концентрации подвижных форм Pb, Cu, Zn от их валового содержания в почве г. Подольска

В г. Подольске минимальное содержание Cr, Cu, Pb и Zn выявлено в почве игровых площадок д/с № 53; максимальное — в почве д/с № 16 (табл. 8).

Таблица 8. Содержание микроэлементов в почвах на игровых площадках детских садов г. Подольска, мг/кг

Детский сад	C	As	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
№ 16 (до 1 км)	Мин.	4,6	160	30	330	12	49	39	110
	Макс.	9,9	220	110	530	22	69	59	290
	Средняя	7,3	190	72	430	17	59	49	200
№№ 9, 26 (1–3 км)	Мин.	6,7	170	28	490	19	61	57	133
	Макс.	7,3	180	36	640	31	73	110	139
	Средняя	7	175	32	515	20	67	84	136
№ 53 (более 3 км)	Мин.	6,1	57	18	560	21	19	69	66
	Макс.	6,3	91	19	650	21	22	72	68
	Средняя	6,2	74	19	610	21	21	71	67
ПДК, ОДК		2–10	—	65–132	1500	40–80	32–130	150	110–220

Атмосферный воздух, воздух помещений. В г. Подольске анализировалась аэрозольная составляющая атмосферного воздуха в точках отбора на городской территории, в том числе на игровых площадках детских садов, а также воздуха помещений детских садов. Установлены повышенные концен-

трации свинца в атмосферном воздухе на уровне 0,1–0,14 мкг/м³ (среднесуточная ПДК (ПДК_{сс}) 0,3 мкг/м³) в промышленной зоне около аккумуляторного и кабельного заводов, в том числе недалеко от детских садов №№ 16, 9, 26. В населенной части города, а также в воздухе помещений обследованных детских садов его содержание составило 0,02–0,09 мкг/м³. Найденные концентрации свинца не превышают ПДК_{сс}, но в десятки раз выше его фонового содержания в атмосферном воздухе заповедников центральных районов России — 0,003–0,01 мкг/м³ [31–33]. Выявлено превышение ПДК_{сс} меди, содержание которой в промышленной зоне в точке отбора рядом с кабельным заводом — 4,1 мкг/м³ (ПДК_{сс} 1,0 мкг/м³), а в населенной части города, в том числе на игровых площадках обследованных детских садов, — на уровне 1,5–1,7 мкг/м³. В воздухе помещений ее содержание находится в диапазоне < 0,01–0,03 мкг/м³. В г. Гусь-Хрустального анализировалась аэрозольная составляющая атмосферного воздуха на игровых площадках детских садов и в помещении детских садов. Содержание свинца в воздухе Гусь-Хрустального составило 0,03–0,09 мкг/м³. Статистически достоверных различий в содержании свинца в воздухе между Подольском и Гусь-Хрустальным не обнаружено. Распределение элементов между атмосферным воздухом и воздухом помещений обоих городов показано на рис. 10.

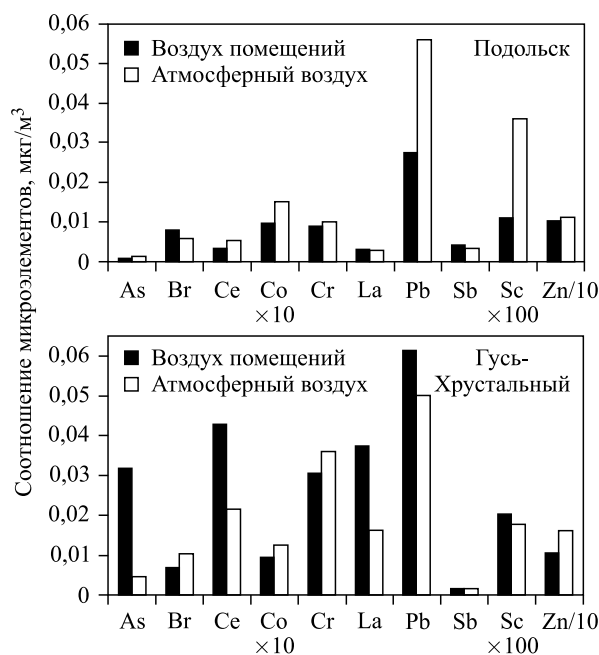


Рис. 10. Распределение микроэлементов между атмосферным воздухом и воздухом помещений детских садов в Подольске и Гусь-Хрустальном

В г. Подольске более высокие концентрации элементов наблюдаются в атмосферном воздухе, в г. Гусь Хрустальном — в воздухе помещений детских садов. Вероятнее всего, это связано с состоянием помещений и окон, а также качеством уборки помещений [34].

Содержание большинства элементов (за исключением свинца и меди) в воздухе обоих городов на 1,5–4 порядка ниже ПДК_{сс}. Тем не менее между Гусь-Хрустальным и Подольском обнаружено статистически достоверное различие в средних содержаниях тех элементов, которые характеризуют промышленную специфику города. Более высокие концентрации мышьяка, хрома, лантана и церия в воздухе помещений, а также мышьяка и хрома в атмосферном воздухе выявлены в г. Гусь-Хрустальном, что свидетельствует о составе сырья и его примесей при производстве специального и цветного стекла [35, 36]. Концентрация сурьмы в атмосферном воздухе и воздухе помещений достоверно выше в г. Подольске, что, скорее всего, связано с производством и переработкой аккумуляторов, содержащих сурьмяно-свинцовые сплавы. Эти различия выявлены на низких содержаниях элементов в воздухе: средняя концентрация хрома меньше ПДК_{сс} в 15–70 раз, сурьмы — более чем в 1000 раз. Концентрация мышьяка близка к фоновым уровням в атмосферном воздухе слабоурбанизированных районов 0,05–4 нг/м³ и в атмосферном воздухе заповедников 1,2–1,8 нг/м³. Найденные содержания лантана и церия близки к опубликованным данным по их фоновому содержанию в атмосфере [37, 38].

Краска, пыль, продукты питания, вода, донные отложения. Для более полной характеристики источников воздействия на здоровье обследуемых детей дополнительно изучены пылевые сметы и краски в детских садах, питьевая вода, продукты питания и суточные рационы питания в детских садах, поверхностная вода и донные отложения. В пробах красок, которыми выкрашены внутренние стены помещений детских садов г. Гусь-Хрустального, обнаружен целый ряд токсичных элементов — свинец, мышьяк, хром, сурьма, цинк, кобальт (табл. 9). В России установленное нормированное содержание свинца — 0,01 % — распространяется только на цинковые белила [39]. ПДК свинца в краске на уровне 0,5 % установлено в США [40].

В пыли детских садов также выявлены токсичные элементы (табл. 10). В России микроэлементный состав пыли не нормируется. Содержание свинца в пыли не превышает норматива США в 110 мкг/м².

Содержание микроэлементов в питьевой воде обоих рассматриваемых городов низкое, за исключением железа и марганца (табл. 11). Для этих элементов в обоих городах выявлено превышение ПДК (до 780 мг/дм³ для железа и 130 мг/дм³ для марганца), что свидетельствует об изношенности водопроводных труб и проблемах коммунального водоснабжения. Это подтверждается высоким разбросом между содержаниями железа в пробах питьевой воды, отобранных в разных детских садах.

Таблица 9. Содержание микроэлементов в красках детских садов г. Гусь-Хрустального, мг/кг

№ д/с	Образец (цвет)	As	Co	Cr	Hg	Pb	Sb	Th	Zn, %
8	Голубая	6,4	25	1400	<1	3000	69	<1	24
9	Белая	<0,5	24	22	<1	2400	62	<1	12
9	Синяя	0,5	38	27	<1	1400	32	<1	1,9
38	Сиреневая	21	16	10	<1	1400	37	<1	7,3
38	Светло-сиреневая	31	21	10	<1	3800	29	1,1	7,4
38	Голубовато-зеленая	29	27	51	<1	1100	60	<1	3,9

Таблица 10. Содержание элементов в сметах пыли в помещениях детских садов г. Гусь-Хрустального, мкг/м²

№ д/с	As	Ce	Co	Cr	Fe	Hg	La	Pb	Sb	Th	Zn
2	0,34	0,49	0,015	3,4	220	0,034	0,43	19	0,20	0,031	49
20	0,88	1,0	0,044	10,2	560	0,081	0,73	3	0,34	0,08	66
8	0,36	0,59	0,023	2,8	210	0,016	0,43	90	0,16	0,049	34
9	0,05	0,38	0,002	0,64	25	<0,002	0,35	10	0,03	0,005	16
38	0,30	0,48	0,023	2,9	200	0,021	0,44	11	0,22	0,016	51

Таблица 11. Содержание микроэлементов в питьевой воде детских садов Подольска и Гусь-Хрустального, мкг/л

Элемент	Подольск				Гусь-Хрустальный				ПДК
	C _{ср}	Ст. откл.	Мин.	Макс.	C _{ср}	Ст. откл.	Мин.	Макс.	
As	1,25	0,26	0,9	1,5	н.о	—	—	—	50
Cd	0,08	0,017	0,05	0,09	<0,05	—	—	—	1
Co	<1	—	—	—	<1	—	—	—	100
Cr	<0,7	—	—	—	<0,7	—	—	—	50
Cu	8,25	3,97	4,2	13	4,2	6,7	1	22	1000
Fe	355	306	100	770	423	298	25	780	300
Mn	39	26	18	77	45	30	16	130	100
Ni	2,9	0,48	2,6	3,6	н.о	—	—	—	100
Pb	<1	—	—	—	<0,2	—	—	—	30
Zn	20	10,4	9,3	30	3,6	6,25	1	21	1000

Результаты определения микроэлементов в поверхностной воде (р. Пахра) на территории г. Подольска обнаруживают превышение ПДК в воде для железа и марганца (табл. 12). Повышенные концентрации свинца, кадмия и цинка установлены в точках отбора проб воды около мест поступления лив-

Таблица 12. Концентрация микроэлементов в поверхностной воде р. Пахры, мкг/дм³

Элемент	C_{cp}	Стандартное откл.	Мин.	Макс.	ПДК [8]
As	2	0,15	1,8	2,2	50
Cd	0,09	0,08	0,07	0,31	1
Co	0,56	0,36	0,44	1,1	100
Cr	1,2	0,7	0,67	2,3	50
Cu	2,9	1,8	2	5,4	1000
Fe	317	302	150	850	300
Mn	37	46	18	110	100
Ni	4	2,2	3,2	5,7	100
Pb	1,1	1,2	0,8	4,3	30
Zn	8,6	8,3	3,2	20	1000

Таблица 13. Содержание микроэлементов в донных отложениях р. Пахры, мг/кг

Элемент	C_{cp}	Стандартное откл.	Мин.	Макс.
As	3,8	2,1	1,9	6,6
Co	5,3	3,6	<2	9
Cr	53	51	15	220
Cu	20	12	<3	40
Mn	290	211	90	980
Ni	9,9	9,5	2	28
Pb	28	33	8,8	100
V	45	23	23	85
Zn	66	62	17	150

невых стоков с территории города (висячий мост через р. Пахру и северное окончание ул. Мраморной). Значительного накопления микроэлементов в донных отложениях р. Пахры в пределах городской территории не установлено (табл. 13).

В табл. 14 приведены данные о содержании микроэлементов в рационах питания детских садов Гусь-Хрустального и Подольска. В состав каждого образца входил завтрак, обед, полдник и ужин, включая жидкости. Каждый образец гомогенизировался, высушивался и измельчался. Превышения ПДК для всех нормируемых элементов-токсикантов не обнаружено.

Таким образом, по данным исследования состояния окружающей среды, среды обитания, питьевой воды и продуктов питания в Гусь-Хрустальном Владимирской обл. и Подольске Московской обл. можно сделать следующие выводы:

— Установлен высокий уровень загрязнения почвы на территории населенных мест свинцом (300 мг/кг и выше) и другими элементами: в г. Гусь-Хрустальном — в районе расположения хрустального завода и на расстоянии

Таблица 14. Содержание микроэлементов в суточных пищевых рационах детских садов Гусь-Хрустального и Подольска, мг/кг, (на сухую массу, 105 °С)

Элемент	Гусь-Хрустальный				Подольск				ПДК
	$C_{\text{ср}}$	Ст. откл.	Мин.	Макс.	$C_{\text{ср}}$	Ст. откл.	Мин.	Макс.	
As	0,17	0,14	0,05	0,31	0,08	0,07	0,04	0,15	1
Br	7,83	1,97	5	9,6	5,3	1,25	3,3	7,8	—
Cd	0,03	0,01	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,06	0,1
Co	0,08	0,01	0,06	0,09	0,05	0,03	0,03	0,08	—
Cr	0,33	0,25	0,13	0,7	0,19	0,15	0,1	0,23	0,3
Cu	2,25	0,58	1,6	3	2,8	1,3	1,5	3,6	10
Fe	29	8,4	16	34	33	10	21	45	—
Hg	<0,01	—	—	—	<0,002	—	—	—	0,15
Mn	8,8	2,8	6,9	13	18	8,6	9,3	25	—
Pb	0,043	0,026	0,02	0,07	0,031	0,022	0,02	0,05	0,5
Sb	0,017	0,012	0,01	0,03	0,03	0,021	0,011	0,038	0,5
Se	0,015	0,006	0,01	0,02	0,013	0,005	0,01	0,02	1
Th	<0,01	—	—	—	<0,01	—	—	—	—
U	<0,1	—	—	—	<0,1	—	—	—	—
Zn	27	7,9	18	37	15	6,3	9,2	26	40

до 2 км к югу от него, в г. Подольске — на расстоянии до 2 км к западу от аккумуляторного завода. По санитарно-гигиеническим нормативам загрязнение отдельных участков почвы As и Pb в г. Гусь-Хрустальном и Cu, Pb и Zn в г. Подольске относится к чрезвычайно опасной и опасной категории.

— В атмосферном воздухе в г. Подольска зафиксировано повышенное содержание свинца в промышленном районе и превышение ПДК_{ср} меди на территории города, в том числе на игровых площадках обследованных детских садов. Содержание остальных элементов в воздухе обоих городов на 1,5–4 порядка ниже ПДК_{ср}. В г. Подольске более высокие концентрации элементов наблюдаются в атмосферном воздухе, в г. Гусь Хрустальном — в воздухе помещений детских садов.

— Обнаружено статистически достоверное различие в средних содержаниях тех элементов, которые характеризуют промышленную специфику города. Более высокие концентрации мышьяка, хрома, лантана и церия в воздухе помещений, а также мышьяка и хрома в атмосферном воздухе выявлены в г. Гусь-Хрустальном. Концентрация сурьмы в атмосферном воздухе и воздухе помещений достоверно выше в г. Подольске.

— В пробах красок и пыли выявлен целый ряд токсичных элементов (свинец, мышьяк, хром, сурьма, цинк, кобальт). Содержание свинца во всех образцах красок и пыли находится на безопасном уровне.

— В питьевой воде, продуктах и рационах питания в детских садах отсутствуют повышенные концентрации свинца и других микроэлементов, за

исключением железа и марганца. Наблюдается увеличение содержания свинца в овощах с увеличением его содержания в почве и уменьшением расстояния от хрустального завода.

— Основными источниками поступления повышенных концентраций элементов из окружающей среды в организм человека являются атмосферный воздух (воздух помещений) и почвы (пыль).

Биологические материалы (биосубстраты). Детские сады, в которых проводилось обследование детей, выбирались в разных по уровню загрязнения свинцом городских районах на расстоянии до 1 км, 1–3 км и более 3 км от основных предприятий — источников свинцового загрязнения:

— в радиусе до 1 км (д/с №№ 2 и 20, Гусь-Хрустальный; д/с № 16, Подольск);

— 1–3 км (д/с №№ 8 и 9, Гусь-Хрустальный; д/с №№ 9 и 26, Подольск);

— 3 и более км (д/с № 38 Гусь-Хрустальный; д/с № 53, Подольск).

Для формирования стратифицированной случайной выборки детей были выполнены следующие предварительные работы:

— определена общая численность детей 4–7 лет, посещающих эти детские сады;

— рассчитан объем случайной выборки исходя из общей численности организованных детей по каждому району (всего 120–150 детей 4–7 лет);

— составлены поименные списки детей 4–7 лет, подлежащих обследованию. В исследование включались дети, постоянно проживающие в выбранном районе города с отсутствием клинически выраженных нервно-психических заболеваний: фенилкетонурии, синдрома Дауна, внутриутробного алкогольного синдрома и др. Среди обследованных детей девочки составили 46 % в г. Гусь-Хрустальном и 54 % в г. Подольске.

В настоящей работе анализировались волосы и кровь. Для исследования микроэлементного состава волос детей отбирались пряди волос с затылочной части головы на расстоянии не более 1–2 мм от кожи головы. При отборе фиксировалась длина отобранного образца. Анализировался проксимальный участок образца массой не менее 100 мг. При выборе длины анализируемого участка учитывались длины всех отобранных образцов. Реальный диапазон длин проанализированных образцов составил 2–4 см.

Одновременно с отбором проб биосубстратов специалистами-медиками проводилось обследование детей, нацеленное на выявление нарушений в их нервно-психическом развитии, что является специфичным признаком хронического субтоксического свинцового воздействия на детское здоровье. Исследование проводилось с использованием стандартных психометрических тестов, охватывающих различные сферы нервно-психической деятельности и адаптированных для российских детей [41]. В табл. 15 и 16 приведены концентрации свинца в крови и волосах детей в Гусь-Хрустальном и Подольске.

Таблица 15. Среднее содержание свинца в крови и волосах детей г.Гусь-Хрустального

Удаление от источника загрязнения	Д/с, выборка	Мин.	Макс.	$C_{p,геом} \pm СКО$	$C_p \pm СКО$	Медиана
Кровь, мкг/дл						
300 м	№ 20, п = 8	<1	5,9	$3,7 \pm 1,8$	$4,1 \pm 1,6$	4,4
500 м	№ 2, п = 31	2	13	$4,1 \pm 1,7$	$4,7 \pm 2,6$	3,9
1–2 км	№ 9, п = 27	<1	10	$3,5 \pm 1,7$	$3,9 \pm 1,9$	3,6
1,5–3 км	№ 8, п = 11	<1	8	$4,6 \pm 1,7$	$5,1 \pm 1,9$	5,2
Более 3 км	№ 38, п = 53	<1	7,3	$3,3 \pm 1,4$	$3,5 \pm 1,2$	3,4
Всего	п = 132	<1	13	$3,7 \pm 1,6$	$4,1 \pm 1,9$	3,7
Волосы, мкг/г						
300 м	№ 20, п = 8	2,1	27	$4,4 \pm 2,3$	$6,6 \pm 8,3$	3,5
500 м	№ 2, п = 31	0,9	21	$3,9 \pm 2,0$	$5,0 \pm 4,1$	3,7
1–2 км	№ 9, п = 21	<0,5	6,9	$2,3 \pm 2,1$	$2,9 \pm 1,6$	2,4
1,5–3 км	№ 8, п = 12	0,9	8,8	$2,7 \pm 2,0$	$3,4 \pm 2,4$	2,6
Более 3 км	№ 38, п = 46	0,5	16,4	$2,3 \pm 2,2$	$3,1 \pm 2,8$	2,2
Всего	п = 118	<0,5	27	$2,8 \pm 2,2$	$3,8 \pm 3,7$	2,9

Таблица 16. Среднее содержание свинца в крови и волосах детей г. Подольска

Удаление от источника загрязнения	Д/с, выборка	Мин.	Макс.	$C_{p,геом} \pm СКО$	$C_p \pm СКО$	Медиана
Кровь, мкг/дл						
600 м	№ 16, п = 50	1,6	20	$4,4 \pm 1,9$	$5,4 \pm 3,8$	4,8
1 км	№ 9, п = 35	<1	7,7	$2,6 \pm 1,7$	$3,0 \pm 1,8$	2,5
1 км	№ 26, п = 29	1,6	13,6	$4,0 \pm 1,7$	$4,6 \pm 2,8$	3,6
Более 3 км	№ 53, п = 29	1	20	$2,3 \pm 1,9$	$3,0 \pm 3,5$	2,1
Всего	п = 143	<1	20	$3,3 \pm 1,9$	$4,2 \pm 3,3$	3
Волосы, мкг/г						
600 м	№ 16, п = 49	0,8	15	$3,4 \pm 2,0$	$4,4 \pm 3,4$	3,2
1 км	№ 9, п = 34	0,8	12,2	$2,7 \pm 2,1$	$3,5 \pm 2,5$	2,9
1 км	№ 26, п = 28	1	17	$4,4 \pm 1,9$	$5,3 \pm 3,5$	4,7
Более 3 км	№ 53, п = 28	0,6	20	$4,2 \pm 2,0$	$5,1 \pm 3,7$	4,5
Всего	п = 139	0,6	20	$3,5 \pm 2,0$	$4,5 \pm 3,3$	3,5

В соответствии с разработанной центром по контролю и профилактике заболеваний (CDC, США) классификацией полученное в обоих городах содержание свинца в крови интерпретируется как нормальное и тревожное. Концентрация свинца в крови большинства детей в обоих городах находится в диа-

пазоне <1–10 мкг/дл. Превышение уровня «обеспокоенности» 10 мкг/дл выявлено у 2,3 % детей г. Гусь-Хрустального и 7,0 % детей г. Подольска. У 25 % детей г. Гусь-Хрустального и 28 % детей г. Подольска содержание свинца в крови выше границы безопасного содержания 5 мкг/дл [42, 43].

Для волос не установлены критерии содержания свинца. Концентрация свинца 70 мкг/г приведена как референтный предел для детских волос. По [44] 90 %-я отрезная точка для непрофессионального населения соответствует 10,8 мкг/г. В качестве допустимого содержания свинца отдельные авторы принимают уровень 8–9 мкг/г [44–46].

Содержание свинца в волосах, полученное в настоящей работе, соответствует «фоновым» уровням, опубликованным в литературе. Повышенная (>8 мкг/г) концентрация обнаружена у 7,6 % детей г. Гусь-Хрустального и 10,8 % детей г. Подольска. Содержание свинца в крови детей в г. Гусь-Хрустальном находится в диапазоне <1–13 мкг/дл, в г. Подольске — <1,0–20 мкг/дл. Исходя из этого, можно предположить, что абсолютное количество эндогенного свинца, в целом, меньше в волосах детей г. Гусь-Хрустального. Одинаковая методика отмыкания волос от внешнего загрязнения, в основном, обеспечивает одинаковое абсолютное количество остаточного экзогенного свинца. Таким образом, по-видимому, доля эндогенного свинца в волосах детей в г. Гусь-Хрустальном меньше, чем в г. Подольске. Полученные различия в значимости корреляций могут свидетельствовать о более высоком уровне воздействия свинца в г. Подольске по сравнению с г. Гусь-Хрустальным. Подтверждением этому является более высокое максимальное содержание свинца в крови детей г. Подольска (табл. 15, 16), а также большее количество детей с повышенным (более 10 мкг/дл) содержанием свинца в крови — 7,0 % по сравнению с 2,3 % в г. Гусь-Хрустальном.

Микроэлементы в волосах. Результаты микроэлементного анализа волос детей приведены в табл. 17.

Найдены различия в содержании элементов, характеризующих промышленную специфику конкретного города. Для г. Гусь-Хрустального характерны более высокие концентрации в волосах детей мышьяка, лантана, церия, концентрация которых значительно выше, чем указано в литературных источниках. В г. Гусь-Хрустальном в воздухе помещений детских садов выявлено более высокое содержание As, Se, La, в атмосферном воздухе — As и Sr (рис. 10). Эти элементы связаны со спецификой хрустального и стекольного производства: мышьяковистый ангидрид используется в качестве осветлителя; редкоземельные элементы и хром добавляются в сырье при производстве специальных стекол [35]. В Подольске обнаружено более высокое содержание сурьмы в волосах детей. Сурьма входит в состав сурьяно-свинцовых сплавов, используемых в производстве аккумуляторов, и, как следствие, в атмосферном воздухе и воздухе помещений г. Подольска найдено более высокое содержание сурьмы.

Таблица 17. Концентрация микроэлементов в волосах детей Гусь-Хрустального и Подольска, мкг/г

Элемент	Гусь-Хрустальный					Подольск				
	$C_{\text{ср}}$	Ст. откл.	Мед.	Мин.	Макс.	$C_{\text{ср}}$	Ст. откл.	Мед.	Мин.	Макс.
Na	48,9	14,7	45	12,7	90	55	21	51	21	120
Ca	1422	536	1330	534	2830	1155	553	1100	310	2510
Sc	0,007	0,002	0,007	0,002	0,013	0,004	0,002	0	0,001	0,008
Cr	0,53	0,33	0,4	0,1	2,1	0,5	0,29	0,5	0,2	1,7
Fe	35	12	35	10	69	43	15	37	15	77
Co	0,084	0,023	0,08	0,02	0,14	0,04	0,03	0,04	0,01	0,17
Zn	96,7	35,2	94	23	180	99	45	89	32	220
As	0,12	0,07	0,11	0,013	0,43	0,09	0,05	0,07	0,01	0,23
Se	0,37	0,16	0,3	0,1	0,9	0,34	0,16	0,3	0,1	0,7
Br	5,3	8,6	3,3	0,4	62	5,3	4,6	3,8	0,8	19
Ag	<0,1	—	—	—	—	0,4	0,48	0,3	0,1	2,4
Sb	0,04	0,05	0,03	0,01	0,41	0,1	0,05	0,09	0,04	0,32
La	0,45	0,42	0,3	0,1	2,1	0,05	0,02	0,05	0,02	0,09
Ce	0,65	0,52	0,5	0,2	2,8	0,09	0,05	0,08	0,03	0,21
W	<0,05	—	—	—	—	0,07	0,03	0,05	0,01	0,17
Au	0,021	0,032	0,013	0,002	0,221	0,06	0,13	0,03	0,005	0,774
Hg	0,23	0,12	0,2	0,1	0,6	0,23	0,1	0,19	0,08	0,57
Th	0,015	0,005	0,015	0,005	0,02	0,015	0,008	0,01	0,007	0,03
U	0,2	0,12	0,16	0,1	0,5	<0,1	—	—	—	—

Кроме перечисленных элементов многоэлементная техногенная нагрузка на население г. Подольска отражается в содержании в детских волосах серебра и вольфрама. У 90 % обследованных детей Подольска найдены вольфрам и серебро, а у детей из г. Гусь-Хрустального их содержание ниже предела определения. Эти элементы характерны для атмосферных выбросов предприятий по переработке цветных металлов, машиностроения и металлообработки, химико-металлургических производств, расположенных в г. Подольске. Таким образом, по данным исследования микроэлементного состава биосубстратов детей в Гусь-Хрустальном Владимирской обл. и Подольске Московской обл. можно сделать следующие выводы:

- повышенные концентрации свинца в биосубстратах детей являются специфическим признаком свинцового воздействия в обоих городах;
- среднее содержание практически всех элементов не превышает фоновых уровней, опубликованных в литературе, за исключением лантана и церия в волосах детей г. Гусь-Хрустального;
- установлено различие между городами в концентрациях элементов, характеризующих промышленную специфику городов, в атмосферном воздухе, воздухе помещений, с одной стороны, и в детских волосах, с другой, в том числе на уровне фоновых содержаний As, Ce, La и Sb.

Оценка степени воздействия загрязнения внешней среды на здоровье детского населения. Результаты выборочного эпидемиологического обследования детей г. Подольска показали, что по основным показателям нервно-психического развития большая часть детей характеризуется нормальным развитием, соответствующим возрасту и полу. Так, средние значения по индексам памяти и обучаемости у всего массива обследованных детей составляют 100,7 ед. — для индекса вербальной памяти, 106,5 ед. — для индекса обучаемости. При ранжировании полученных результатов обследования детей по районам города получены достоверные различия между детьми по возрасту. Поэтому все представленные результаты психометрического тестирования в представленных таблицах и на рисунках стандартизированы по возрасту.

На рис. 11 представлены средние уровни индексов вербальной памяти и обучаемости в зависимости от уровня антропогенной химической нагрузки свинцом. Установлено статистически значимое снижение этих показателей от чистого района города к загрязненному, расположенному в зоне влияния аккумуляторного завода. Степень снижения составила 9–12 единиц.

Аналогичные, статистически значимые закономерности прослеживаются и в отношении других показателей нервно-психического развития детей. По мере роста антропогенной нагрузки свинцом отмечается достоверное снижение показателей тонкой моторики, выразительности речи, общего нервно-психического развития детей (рис. 12). Кроме того, возрастает степень неврологических нарушений (рис. 13). У детей, проживающих в загрязненном рай-

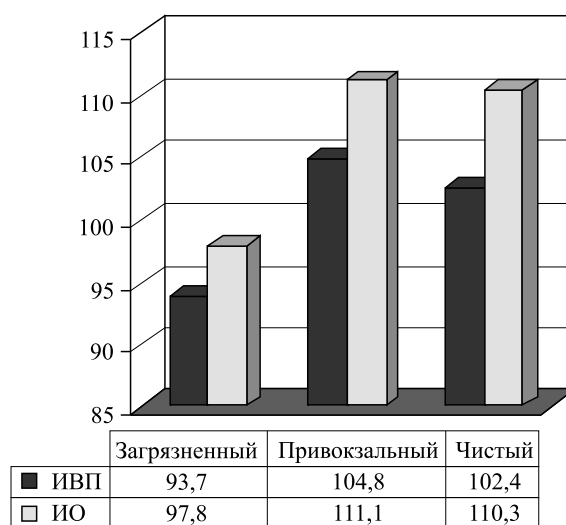


Рис. 11. Средние уровни индекса вербальной памяти (ИВП) и индекса обучаемости (ИО) у детей по районам г. Подольска

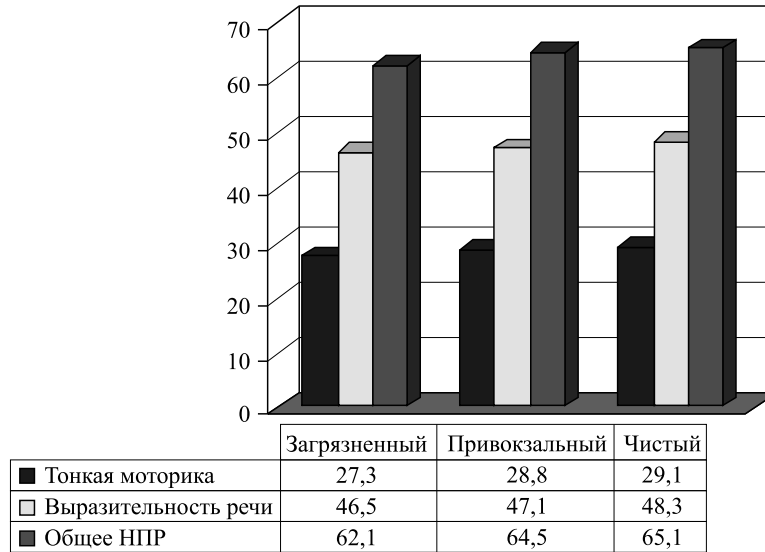


Рис. 12. Средние значения показателей моторики, речевого развития и общего невро-психического развития у детей по районам г. Подольска



Рис. 13. Минимальные неврологические отклонения у детей по районам г. Подольска

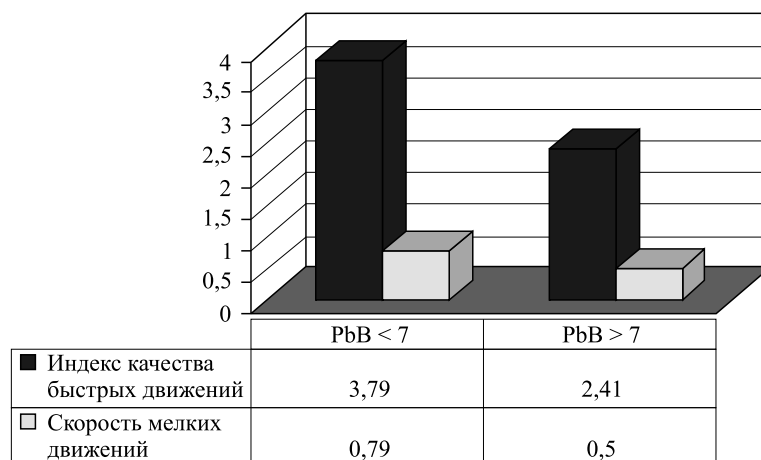


Рис. 14. Минимальные неврологические отклонения у детей в зависимости от уровней свинца в крови (мкг/дл)

оне города, почти в два раза ниже скорость мелких движений, чаще встречаются избыточные оролицевые и проксимальные последовательные движения.

При анализе результатов психометрического тестирования детей в зависимости от концентрации свинца в крови получены близкие результаты. На рис. 14 продемонстрировано, что при уровнях свинца в крови выше 7 мкг/дл достоверно снижается качество быстрых движений и возрастает скорость мелких движений. В ходе проведенного исследования установлено, что на нервно-психическое развитие детей влияет не только уровень антропогенной нагрузки свинцом и другими токсичными металлами, но и взаимодействие с другими факторами риска, в частности с курением в семье. На рис. 15 показано, что более высокие уровни свинца в крови детей в сочетании с курением в семье приводят дополнительно к снижению на 3 единицы вербальной памяти. Аналогичные, статистически значимые закономерности получены для долговременной памяти, обучаемости.

Следует отметить, что курение в семьях достаточно распространено. По результатам опроса родителей обследованных детей, в семьях курят 53,6 % отцов, 25 % матерей. В большинстве случаев курит один член семьи (57,5 %), реже два члена семьи (40 %). Однако самым неблагоприятным является то, что в 36,4 % случаев курящие члены семьи курят в квартире, в 23 % случаев в присутствии ребенка. По данным множественного регрессионного анализа установлено, что наибольший негативный вклад в показатели нервно-психического развития (НПР) детей дают высокие концентрации свинца в крови (объясняют около 30 % изменчивости НПР детей). Наряду с кон-

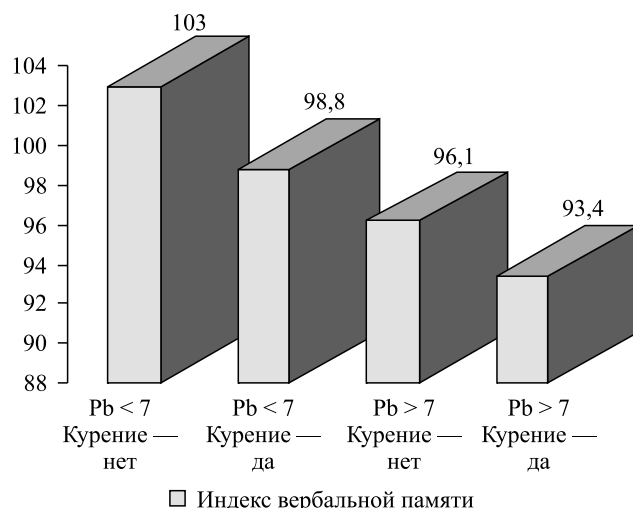


Рис. 15. Зависимость индекса вербальной памяти от уровней свинца в крови и статуса курения в семье

центрацией PbВ значимую роль играет потребление алкоголя матерями во время беременности и курение в семье, которые объясняют около 40 % изменчивости НПР детей (табл. 18). Таким образом, планируя профилактические мероприятия, направленные на улучшение показателей НПР детей, необходимо воздействовать на комплекс факторов риска, т. е. на экологические (свинец и другие нейротоксичные тяжелые металлы), поведенческие, психологические составляющие. Сравнивая распространенность показателей, характеризующих НПР детей с различным уровнем антропогенной химической нагрузки тяжелыми металлами, установлено, что экологическая составляющая колеблется от 3 до 8 % (для разных показателей НПР). На рис. 16 показана

Таблица 18. Значимость концентраций тяжелых металлов в крови детей и медико-социальных факторов в развитии памяти и обучаемости детей (данные многофакторного регрессионного анализа)

Показатели памяти и обучаемости детей	Значимые факторы из числа тяжелых металлов (суммарный вклад = R^2)	Значимые факторы из числа медико-социальных (суммарный вклад = R^2)
Индекс вербальной памяти, индекс обучаемости	PbВ ($R^2 = -0,26-0,27$)	Кол-во выкуриваемых сигарет в семье ($R^2 = -0,24$) Потребление алкоголя матерями при беременности ($R^2 = -0,48$)



Рис. 16. Распространенность сниженного ИВП у детей г. Подольска в зависимости от уровней свинца в крови

распространенность сниженного индекса вербальной памяти ($< 1,5$ SD) в двух группах детей с концентрациями свинца в крови выше и ниже допустимых.

Распространенность отклонений НПР детей при концентрации свинца в крови ниже допустимых уровней принята за фоновую. Экологозависимых изменений в НПР детей не так много: на их долю приходится 3,3 % детей с отклонениями в показателях вербальной памяти. В то же время настораживает высокая фоновая распространенность, что свидетельствует о том, что данную проблему нужно рассматривать не только как экологическую, но и как медико-социальную, и нужно искать другие причины развития отклонений в нервно-психическом развитии детей. На рис. 17 представлен аналогичный анализ по показателям индекса обучаемости, который показывает, что на долю экологозависимых нарушений приходится 7,9 % а фоновые нарушения, не связанные с действием экологических факторов, почти в два раза выше — 13,2 %. Анализ общей информированности родителей обследованных детей, медицинского и педагогического персонала детских дошкольных учреждений, детских поликлиник по вопросам влияния металлов-токсикантов на здоровье детей показал, что она чрезвычайно мала (практически отсутствует). Изучалась осведомленность девушек и молодых женщин в вопросах влияния алкоголя, курения, солей тяжелых металлов на течение беременности и здоровье детей. Она также оказалась неудовлетворительной. По итогам обследования всем родителям через заведующих детских садов были предоставлены заключения о состоянии НПР детей, а также даны лечебно-профилактические рекомендации.

Выявленное повышенное содержание свинца в биосубстратах детей является специфическим признаком свинцового воздействия в обоих городах. Это подтверждают и результаты медицинского обследования детей, одновременно проведенного с микроэлементными исследованиями. Целью меди-

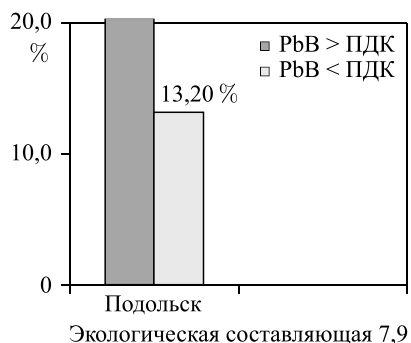


Рис. 17. Распространенность сниженного ИО у детей в зависимости от уровня свинца в крови

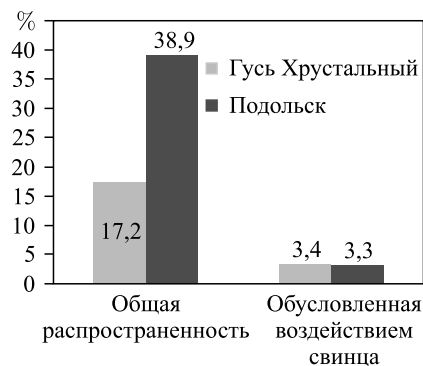


Рис. 18. Общая и обусловленная воздействием свинца распространенность задержек в НПР детей (в %, по индексу вербальной памяти)

цинского обследования стало выявление нарушений в нервно-психическом развитии детей, что является специфичным признаком хронического субтоксического свинцового воздействия. Исследование проводилось с использованием стандартных психометрических тестов, охватывающих различные сферы нервно-психической деятельности и адаптированных для российских детей [42, 43, 45].

Результаты обследования показали, что по основным показателям НПР большая часть детей Гусь-Хрустального и Подольска характеризуется нормальным развитием, соответствующим возрасту и полу. Средние значения индексов памяти и обучаемости достоверно ниже у детей из г. Подольска, чем у детей того же возраста из г. Гусь-Хрустального. Зафиксированы отклонения нервно-психического развития уже при содержании свинца в крови ребенка на уровне 7 мкг/дл. По результатам определения свинца в крови и медицинского обследования детей установлено, что по отдельным показателям НПР только воздействие свинца является причиной 3–8 % нарушений состояния детского здоровья в обоих городах (рис. 18). Большое значение имеет сочетание неблагоприятных факторов, усиливающих негативное воздействие свинца, в частности курение в семье. На рис. 19 продемонстрировано уменьшение индекса вербальной памяти в связи с курением в семье и повышением содержания свинца в крови.

По итогам обследования всем родителям через заведующих детских садов были предоставлены заключения о состоянии НПР детей, а также даны лечебно-профилактические рекомендации. По результатам исследования определены нужды профилактики. Учитывая, что экспозиционные нагрузки свинцом и другими токсичными металлами очень малы (число детей с кон-

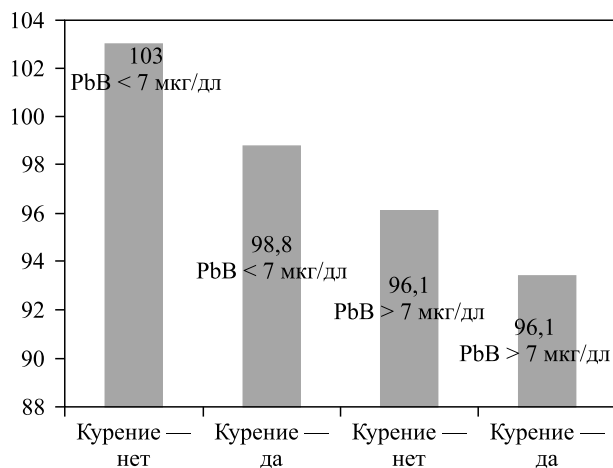


Рис. 19. Средние значения индекса вербальной памяти в зависимости от концентрации свинца в крови и курения в семье (г. Подольск)

центрацией свинца в крови >10 мкг/дл составляет около 5 %; в районе влияния аккумуляторного завода — 12 %), акцент должен делаться на укреплении здоровья детей, в том числе нервно-психического, и первичной профилактике экологозависимых изменений здоровья. Потребность обследованного детского населения в комплексных лечебных мероприятиях фактически отсутствует.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведения данного исследования была разработана методика ранней диагностики и оценки риска воздействия тяжелых и токсичных металлов на здоровье детей дошкольного возраста. Эта методика состоит из трех основных блоков (экологического, аналитического и медицинского) и включает в себя эколого-геохимическое исследование территории и среды обитания детей, изучение химического состава диагностических биосубстратов детей, медицинское тестирование и оценку нервно-психического развития детей, выдачу рекомендаций по нейтрализации воздействия в каждом конкретном случае.

2. При планировании мероприятий по укреплению здоровья детей и профилактике экологозависимых изменений целесообразно систематически контролировать состояние окружающей среды в отношении приоритетных загрязнителей (Pb, Cd, Hg, Zn, Cu и др.) в промышленных выбросах основных предприятий города, увеличить осведомленность населения об экологических,

поведенческих и социальных факторах риска. Кроме того, необходимо совершенствовать и расширять консультирование специалистов по этим вопросам и более активно вовлекать медиков и гигиенистов в профилактические и образовательные работы с населением.

3. Основной технологией при реализации такой программы должны стать образовательные модули для целевых групп. К целевым группам следует отнести работников практического здравоохранения, образования, работников службы санитарно-эпидемиологического надзора, население (прежде всего родителей). Залогом успеха подобной программы должно стать широкое использование местных СМИ для информирования и мотивирования населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцин А. П. и др. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 496 с.
2. Ревич Б. А., Авалиани С. Л., Тихонова Г. И. Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека / Центр экол. политики России. М., 2004. 267 с.
3. Emsley J. The Elements. Oxford: Clarendon Press, 1991. 255 p.
4. Ершов Ю. А., Плетнева Т. Н. Механизмы токсического действия неорганических соединений. М.: Медицина, 1989.
5. Гусева Т. В., Печников А. В., Цевелев В. Н. Оценка влияния хрустальных производств на распределение свинца на прилегающих территориях // Хим. промышленность. 1994. № 6. С. 382–388.
6. Оценка влияния загрязнения окружающей среды Подольского промышленного узла на состояние здоровья населения / Под ред.: Б. А. Ревича, Ю. Л. Мизерницкого. Ин-т экологии человека. АЕН РФ, 1992. 40 с.
7. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнений.
8. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
9. ГОСТ 17.1.5.05-85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.
10. ГОСТ 17.1.5.01-80. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность.
11. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
12. Руководство ИЮПАК по отбору образцов мочи и крови для определения микроэлементов. 1995.

13. *Ryabukhin Y. S.* International Coordinated Program on Activation Analysis of Trace Element Pollutants in Human Hair // *Hair, Trace Elements, and Human Illness* / Eds.: Brown A. C., Grounse R. G. New York, 1980. P. 3–34.
14. *Беклемишев М. К. и др.* Объекты окружающей среды и их аналитический контроль. Кн. 2. Методы анализа объектов окружающей среды: Учеб. пособие. Краснодар: Арт-Офис, 2007. 380 с.
15. *Ширкин Л. А.* Рентгенофлуоресцентный анализ объектов окружающей среды: Учеб. пособие. Владимир: Изд-во Владимирск. гос. ун-та, 2009. 57 с.
16. Активационный анализ. Методология и применение. Ташкент, 1990. 244 с.
17. *Чупарина Е. В., Мартынов А. М.* Применение неdestructивного РФА для определения элементного состава лекарственных растений // *Журн. анал. химии*. 2011. Т. 666, № 4. С. 399–405.
18. Определение химических соединений в биологических средах. Методы контроля. Химические факторы: Сб. метод. указаний МУК 4.1.763-4.1.779-99. Мин-во здравоохранения России. М., 2000. С. 20–127.
19. НСАМ 155-ХС. Определение меди, цинка, кадмия, висмута, сурьмы, свинца, кобальта, никеля, железа и марганца атомно-абсорбционным методом в твердых сыпучих материалах.
20. РД 52.18.289-90. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом.
21. НСАМ 510-ЯФ. Определение микроэлементов в горных породах, рудах, почвах, донных отложениях, золах растений и в твердых биологических материалах растительного и животного происхождения нейтронно-активационным методом. М., 2011. 38 с.
22. *Gorbunov A. V. et al.* Nuclear and Related Analytical Techniques in Ecology: Impact of Geocological on the Balance of Trace Elements in the Human Organism // *Phys. Part. Nucl.* 2012. V. 43, No. 6. P. 783—824.
23. *Серегина И. Ф. и др.* Определение химических элементов в биологических жидкостях и диагностических субстратах детей методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // *Журн. анал. химии*. 2010. Т. 65, № 9. С. 986–994.
24. *Handbook on Metals in Clinical and Analytical Chemistry*. New York, 1993. 800 p.
25. *Cortes Toro E. et al.* The Significance of Hair Mineral Analysis as a Mean for Assessing Internal Body Burdens of Environmental Pollutants: Results from an IAEA Co-ordinated Research Program // *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles*. 1993. V. 167, No. 2. P. 413–421.
26. *Rodushkin I., Axelsson M. D.* Application of Double Focusing Sector field ICP-MS for Multielemental Characterization of Human Hair and Nails. Part I. Analytical Methodology // *Scie. Total Environ.* 2000. V. 250. P. 83–100.
27. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025.

28. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.
29. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почв.
30. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства / Госстрой России. М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997. 41 с.
31. Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2003 г. / Под ред. Ю. А. Израэля. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 74 с.
32. Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2007 г. / Под ред. Ю. А. Израэля. М.: Росгидромет, 2009. 98 с.
33. Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2008 г. / Под ред. Ю. А. Израэля. М.: Росгидромет, 2010. 104 с.
34. *Тараненко Н. А., Ефимова Н. В., Рычагова О. А.* К вопросу изучения химического загрязнения воздушной среды закрытых помещений детских учреждений городов Иркутской области // *Экология человека*. 2009. №4. С. 3–7.
35. *Федорова В. А.* Использование редких и редкоземельных элементов в стекольной промышленности // *Стекл. тара*. 2010. №5. С. 14–16.
36. *Гамаюрова В. С.* Мышьяк в экологии и биологии. М.: Наука, 1993. 208 с.
37. *Ровинский Ф. Я. и др.* Фоновое содержание свинца, ртути, мышьяка и кадмия в природных средах (по мировым данным) // *Мониторинг фонового загрязнения природных сред*. Вып. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 14–35.
38. *Савенко В. С.* О фоновом содержании редкоземельных элементов в атмосфере // *Мониторинг фонового загрязнения природных сред*. Вып. 6. Л.: Гидрометеиздат, 1990. С. 50–59.
39. ГОСТ 202-84. Белила цинковые. Технические условия.
40. Guidelines for Evaluations and Control of Lead-Based Paint in Housing. Department of Housing and Urban Development (HUD). Washington, DC: U.S. Department of Housing and Urban Development, 1995.
41. *Ильченко И. Н. и др.* Методы диагностики экологически зависимых отклонений в нервно-психическом развитии детей: Пособие для врачей. М., 2004. 50 с.
42. Preventing Lead Poisoning in Young Children: A Statement by the Center for Disease Control / Ed.: W. L. Roper. Atlanta, GA. CDC, 1991. 108 p.
43. Medical Management Guidelines for Lead-Exposed Adults. Washington, DC: Association of Occupational and Environmental Clinics, 2007.
44. *Ревич Б. А.* Химические элементы в волосах человека как индикатор воздействия загрязнения производственной и окружающей среды // *Гигиена и санитария*. 1990. №3. С. 55–59.
45. Клиническое руководство по лабораторным тестам: Пер. с англ. / Под ред. В. В. Меньшикова. М.: Юнимед-пресс, 2003. 960 с.
46. *Черняева Т. К. и др.* Содержание тяжелых металлов в волосах детей в промышленном городе // *Гигиена и санитария*. 1997. №3. С. 26–28.