

УДК 546.815/.819

## Свинец в среде обитания как фактор риска для здоровья населения

**Л. И. Привалова, Б. А. Кацнельсон, В. Б. Гурвич, О. Л. Малых, С. А. Воронин,  
А. П. Маршалкин, А. А. Кошелева, А. В. Поровицина**

*ВЛАДИМИР БОРИСОВИЧ ГУРВИЧ — кандидат медицинских наук, заместитель главного врача Центра Госсанэпиднадзора (ЦГСЭН) в Свердловской области. Область научных интересов: научное обеспечение социально-гигиенического мониторинга.*

*ОЛЬГА ЛЕОНИДОВНА МАЛЫХ — кандидат медицинских наук, заведующая отделом социальной гигиены ЦГСЭН в Свердловской области. Область научных интересов: научное обеспечение социально-гигиенического мониторинга.*

*СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ВОРОНИН — кандидат медицинских наук, специалист отдела социальной гигиены ЦГСЭН в Свердловской области. Область научных интересов: научное обеспечение социально-гигиенического мониторинга.*

*АЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ МАРШАЛКИН — кандидат медицинских наук, консультант Уральского регионального центра экологической эпидемиологии (УРЦЭЭ). Область научных интересов: детская психология.*

*АННА АРКАДЬЕВНА КОШЕЛЕВА — специалист отдела социальной гигиены ЦГСЭН в Свердловской области. Область научных интересов: биостатистика.*

*АНАСТАСИЯ ВИКТОРОВНА ПОРОВИЦИНА — специалист отдела социальной гигиены ЦГСЭН в Свердловской области. Область научных интересов: биостатистика.*

*620014 Екатеринбург, ул. Попова, д. 30, Уральский региональный центр экологической эпидемиологии, тел. (343)371-84-01, факс (343)371-87-40, E-mail LPrivalova@etel.ru*

*620014 Екатеринбург, пер. Отдельный, д. 3, Центр госсанэпиднадзора в Свердловской области, тел. (343)374-17-82.*

Разнообразные проявления хронической свинцовой интоксикации (сатурнизм) изучены более детально, чем какого-либо другого профессионального отравления. Интенсивно и в целом успешно ведется поиск способов подавления токсичности и выведения свинца из организма. Отметим, что первые и наиболее заметные успехи применения ЭДТА и других комплексонов были достигнуты именно в терапии свинцового отравления. Осуществляются различные технические мероприятия, направленные на ограничение свинцовой экспозиции на предприятиях различных отраслей промышленности. Благодаря этому в настоящее время практически не встречаются классические формы профессионального сатурнизма с такими его тяжелыми проявлениями, как «свинцовая» кишечная колика, периферические парезы или параличи и энцефалопатии, а также с такими стигмами, как «свинцовая кайма» на деснах, особая бледность покровов и т.п. Однако опасность свинцового отравления не снизилась — значительно расширились контингенты, подвергающиеся слабоинтенсивному, но практически постоянному воздействию свинца и его неорганических соединений не только в условиях производства, но и в связи с техногенным загрязнением среды обитания.

С опасностью свинцового отравления, вызванного загрязнением среды обитания, человечество сталкивалось уже в прошлые тысячелетия в достаточно широких масштабах. Например, несколько поколений жи-

телей Древнего Рима снабжались водой с помощью свинцовых труб. Опыт современного Бостона и некоторых других городов, где в ряде районов сохранились старые свинцовые водопроводы и обнаруживаются опасные концентрации свинца в питьевой воде, позволяет предположить возможность свинцового отравления и в том далеком прошлом. Поэтому гипотеза о связи падения Рима с постепенной психической деградацией его граждан, вызванной именно этим фактором, представляется не лишней оснований.

Как фактор серьезного экологического риска для здоровья населения свинец привлек к себе внимание науки и общества только во второй половине XX столетия, главным образом, в связи с загрязнением воздуха выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания, работающих на горючем с антидетонационной добавкой тетраэтилсвинца, разлагающегося при вспышке до неорганических соединений свинца. В связи с этим отметим, что в последнее время в некоторых западных странах и отчасти в России наметился постепенный отказ от этой добавки [1].

Второе место в качестве источника техногенного свинцового загрязнения окружающей среды занимает цветная металлургия (выплавка свинца и его сплавов, медеплавильное производство), но локально этот источник загрязнения может преобладать над транспортным. Так, в масштабах России около 80% свинцовых эмиссий металлургических заводов приходится на Свердловскую область [2]. На третьем месте —

сжигание каменного угля и различные технологические процессы во многих отраслях промышленности, связанных с использованием свинца или его сплавов (производство аккумуляторов, пайка, лужение и пр.).

От всех этих источников свинец попадает в атмосферу в виде тонкодисперсных аэрозолей оксидов, сульфатов, отчасти сульфидов и других неорганических соединений. Оседание аэрозольных частиц приводит к загрязнению свинцом почвы, откуда он переходит в растения, а затем и в организм животных и человека. В результате смыва с загрязненной почвы, а также с промышленными стоками металлургических, машиностроительных и химических производств через загрязняемые ими реки в Мировой океан ежегодно поступает 430–650 тыс. тонн свинца в виде взвесей и растворов его соединений. Дополнительным локальным источником попадания свинца в пищу и питьевую воду нередко является миграция его из свинецсодержащих глазурей, припоев, полуд и т.п.

В марте 1999 г. Правительством Свердловской области была утверждена и реализуется с нашим участием областная целевая программа «Охрана окружающей природной среды от свинцового загрязнения и снижение его влияния на здоровье населения в Свердловской области».

По данным многих исследований, основной путь свинца в организм — с пищей и питьевой водой, а для тех, кто проживает вблизи автомагистралей и в зонах, находящихся под прямым влиянием свинецсодержащих выбросов промышленных предприятий, также и с вдыхаемым воздухом, загрязненным не только непосредственно промышленными и транспортными выбросами, но и путем попадания в воздух пыли почвы, длительно накапливавшей свинец. Наибольшую озабоченность вызывает влияние свинцового загрязнения среды обитания на развитие и здоровье детей. Указанные пути экспозиции к свинцу, а также особенности поведения детей (заглатывание несъедобных предметов, которые могут быть загрязнены, в том числе земли и снега, привычка сосать пальцы, грызть ногти и т.д.) приводят к более значительному накоплению свинца в организме детей по сравнению со взрослыми, находящимися в той же среде обитания.

В организме свинец распределяется между всеми органами и тканями, действие на которые и определяет многообразие токсических эффектов. Особую опасность вызывает накопление свинца в наиболее чувствительных к его токсическому действию нервной ткани и костном мозге. Относительно стойкое отложение свинца формируется в костной ткани, которая может стать внутренним источником, поддерживающим повышенный уровень свинца в крови длительное время после прекращения или снижения внешней экспозиции, в особенности при деминерализации кости, связанной, например, с менопаузой [3].

Для оценки накопленной организмом дозы свинца обычно проводят измерение его концентрации в крови (откуда он поступает в другие ткани и выделяется, в основном, через почки). Используются также показатели выделения свинца с мочой и содержания его в костной и зубной ткани.

Специфическими эффектами хронической интоксикации свинцом являются нарушения некоторых биохимических механизмов, прежде всего, порфиринового обмена (подавление синтеза гема — основная при-

чина свинцовой анемии), а также токсическое действие на все отделы нервной системы, особенно на развивающуюся нервную систему у детей. Описаны также разнообразные патологические изменения со стороны сердечно-сосудистой системы, почек, печени и кишечника, щитовидной железы, иммунной системы, женской и мужской репродуктивной системы. Выраженность всех этих нарушений и соотношение между ними зависят от дозы свинца в организме, а также от возраста и пола человека. Приведем некоторые данные Международной программы по химической безопасности [4] и из других литературных источников.

Свинец не относится к числу физиологически необходимых биомикроэлементов, и имеющиеся эпидемиологические данные не позволяют с уверенностью говорить о низком дозовом пределе (пороге), совершенно безопасном для здоровья населения, в особенности детей. Концентрация свинца в крови детей, равная 10 мкг/дл, рассматривается как «настораживающий уровень», превышение которого может привести к задержке психического развития. Однако имеются данные, свидетельствующие о том, что этот эффект возможен и при концентрации свинца ниже указанного уровня.

При содержании свинца в крови 30 мкг/дл возможно замедление периферической нервной проводимости, при 40 мкг/дл — нарушения чувствительных и двигательных функций, а также активности автономной (вегетативной) нервной системы.

Порог, ниже которого у детей не обнаруживается снижение показателя гематокрита (свидетельствующее прежде всего об уменьшении числа эритроцитов), соответствует концентрации свинца в крови 20 мкг/дл, а снижение содержания гемоглобина в крови наблюдается при концентрации 40 мкг/дл.

Риск нефропатии заметен при содержании свинца в крови свыше 60 мкг/дл, но более чувствительные тесты выявляют нарушения почечной функции и при его меньшей концентрации.

Можно ориентировочно принять, что сравнительное увеличение концентрации свинца в крови в два раза от любого уровня сопровождается повышением систолического артериального давления в среднем на 1 мм рт.ст. (и в несколько меньшей степени — повышением диастолического давления).

Некоторые эпидемиологические исследования свидетельствуют о том, что дозозависимое увеличение процента преждевременных родов и задержки роста и созревания плода наблюдается при концентрации свинца в крови матери 15 мкг/дл или более.

Торможение ферментных систем и сдвиги биохимических показателей обнаруживаются (современными чувствительными методами) при содержании свинца в крови свыше 20 мкг/дл.

Экспериментальные исследования на животных (крысы, мыши) показали, что неорганические соединения свинца при разных путях введения вызывают развитие опухолей почек, глиом и легочных аденом, однако доказать их канцерогенность по отношению к организму человека не удалось даже при тщательном эпидемиологическом анализе на больших популяциях [5].

Анализ результатов обследования 1706 девочек в возрасте 8–16 лет, проведенного в США, позволил установить несомненную связь между содержанием свинца в крови и задержкой полового созревания,

которая на популяционном уровне выявляется уже при концентрации свинца в крови более 2 мкг/дл [6]. Тем не менее лимитирующим показателем свинцового риска для населения (кроме профессионального контингента, подвергающегося свинцовой экспозиции) пока служит критерий задержки психического развития детей. Социальная значимость этого эффекта и его последствия, ожидаемые в ближайшем будущем, обуславливают исключительное внимание медиков к проблеме «свинцовая экспозиция и дети».

Особая опасность свинца для детей связана не только с тем, что при одном и том же уровне его содержания в окружающей среде в детском организме свинца накапливается существенно больше, чем в организме взрослого (в расчете на единицу массы тела). Важнейшей с токсикологической точки зрения является проблема повышенной чувствительности к токсическому действию свинца развивающейся нервной системы детей. Именно по этому эффекту принят предложенный американскими центрами контроля и предупреждения болезней (Centers for Disease Control and Prevention, CDC) показатель, названный level of concern — «уровень озабоченности». Под этим показателем подразумевается та концентрация свинца в крови ребенка (PbB), превышение которой увеличивает вероятность снижения коэффициента интеллектуального развития (IQ), способности к обучению, вызывает нарастание поведенческих нарушений. В качестве такого уровня (который иногда ошибочно называют «нормой») рассматривается концентрация PbB > 10 мкг/дл.

«Уровень озабоченности» часто используется не только для оценки вредного действия свинца в индивидуальном плане, но и в популяционном, а именно, процент детей с превышением «уровня озабоченности» служит мерой популяционного риска. Такой критерий не является чрезмерно жестким, поскольку имеются данные, свидетельствующие о том, что и по коэффициенту интеллектуального развития IQ и по некоторым другим психологическим тестам или поведенческим нарушениям порог вредного действия свинца значительно ниже (если он вообще существует). Это было отмечено в [4], и такие данные продолжают публиковаться. Например, при обследовании большой группы детей, среди которых ни у одного ребенка уровень PbB не достигал 10 мкг/мл, уже при  $PbB \geq 4$  мкг/дл все использованные психологические тесты показали худшие результаты по сравнению с детьми, у которых уровень PbB был ниже [7]. К аналогичным выводам приводит исследование [8]. В обзоре [9] упоминаются данные исследований, показавших, что даже при  $PbB = 2,5$  мкг/дл наблюдаются когнитивные нарушения при чтении, выполнении математических вычислений, визуальном конструировании. А в работе [10] вообще подвергается сомнению существование такого порогового уровня внутренней дозы свинца, ниже которого не проявляются нейротоксические эффекты с нарушением когнитивных функций.

Однако даже эти нарушения, возможно, не являются самым неблагоприятным эффектом нейротоксического воздействия свинца на развивающуюся высшую нервную деятельность. В [9] приведены мнения видных американских педиатров, согласно которым еще важнее стойкие аномалии поведения, связанные с воздействием свинца еще в раннем детском возрасте и

даже внутриутробно. В дальнейшем они предрасполагают подростков к актам вандализма, агрессии, поджогам, воровству и другим правонарушениям (хотя они и не являются фатально неизбежными). Например, автор работы [9] приводит такие сведения, взятые из доклада Needleman e.a. на конференции Американского педиатрического общества (Бостон, 2000 г.). С помощью рентгенофлуоресцентной техники измерялось содержание свинца в костях у 350 подростков 12—18 лет. Оказалось, что у тех лиц, которые были осуждены за правонарушения, оно было статистически значимо выше. В другом цитируемом там же исследовании (Dietrich, 2001) была приведена линейная зависимость между PbB и числом зарегистрированных детских правонарушений.

В рамках проблемы опасности свинца для детского контингента определенный интерес представляют и наши данные, полученные при медико-экологическом исследовании в городах Свердловской области, расположенных на разных расстояниях от источников техногенного загрязнения среды обитания свинцом (в основном, предприятий медеплавильной промышленности) [11]. В наших исследованиях для прогнозирования средних уровней концентрации свинца (показателя PbB) и распределения этих уровней в крови детей дошкольного возраста была использована компьютерная программа Агентства по охране окружающей среды США — «Биокинетическая модель свинца» [12], в которую вводились фактические данные о содержании свинца в объектах среды обитания. Эта модель использовалась также для оценки вклада свинцового загрязнения воздуха, питьевой воды, пищи и почвы/пыли в общую свинцовую нагрузку, определяемую по содержанию свинца в крови. Модельный прогноз сопоставлялся с результатами непосредственного измерения концентрации свинца в венозной крови (атомно-абсорбционный метод) или в капиллярной крови (экспрессный электрохимический метод). Эти же группы детей были обследованы педиатрами и детскими неврологами, а также прошли психологическое тестирование по методу прогрессивных матриц Равена [13]. Средний уровень свинца в крови у детей в одном из городов (Верхняя Пышма) был рассчитан на основе ранее опубликованных данных по измерению содержания свинца в волосах детей (метод атомно-абсорбционной спектроскопии) [14] с использованием уравнения [15].

Как видно из табл. 1, наивысший уровень PbB и наибольший процент детей с PbB, превышающим «уровень озабоченности», отмечены в Красноуральске, где крупное медеплавильное предприятие расположено вблизи жилых районов. Несколько меньшие величины характеризуют риск в Кировграде, где ситуация аналогична, но медеплавильный комбинат менее мощный. На третьем месте — города Первоуральск, расположенный на более значительном расстоянии от мощного медеплавильного комбината, и Верхняя Пышма, где выбросы свинца в процессе рафинирования меди меньше, чем от загрязняющих другие города предприятий по выплавке черновой меди. Наименьшие, но близкие к предыдущим, показатели были получены в Кушве — городе, не имеющем учтенных местных промышленных источников загрязнения свинцом и расположенном в 50 км от двух ближайших медеплавильных предприятий.

## Оценка содержания свинца в крови детей в городах Свердловской области.

Расчет на основе биокинетической модели по данным о содержании свинца в атмосферном воздухе, питьевой воде, продуктах питания и почве и результаты биомониторинга

Город	Моделирование и биомониторинг (год, число детей)	% детей с PbB > 10 мкг/дл	Среднее геометрическое PbB
Красноуральск	Моделирование	61,1	10,7
	Биомониторинг (1996, 107 детей)	64,5	11,8 ± 0,5
	Биомониторинг (1997, совместно с CDC, 250 детей)	59,5	11,2 ± 0,2
Первоуральск	Моделирование	22,5	7,2
	Биомониторинг (1999, 339 детей)	25,9	7,4 ± 0,2
Кировград	Моделирование	47,5	10,1
	Биомониторинг (2000, 135 детей)	60,7	10,8 ± 0,4
Верхняя Пышма	Моделирование	29,3	8,1
	Расчет на основе содержания Pb в волосах	—	7,3
Кушва	Биомониторинг (2000, 54 ребенка)	22,2	7,5 ± 1,08

Прогнозные величины, полученные с помощью биокинетического моделирования, в целом близки к результатам биомониторинга. С точки зрения сравнительной оценки риска важно, что показатели содержания свинца в крови, оцененные по этим двум подходам, оказываются одного и того же порядка. Эти факты позволяют предположить наличие зависимости накопления свинца в организме детей от его поступления из окружающей среды, прежде всего из тех компонентов окружающей среды, данные о которых вводились в модель.

По данным Третьего американского национального обследования здоровья и питания (NHANES III) [16], средние уровни содержания свинца в крови детей в США равны 3,6 мкг/дл — для детей 1—5 лет и 2,5 мкг/дл — для детей 6—11 лет. В России широкого скринингового обследования подобного рода не проводилось.

Для сравнения можно привести также данные обследования 226 американских детей, проживающих в районе, загрязненном отходами свинцового рудника [17]. Здесь среднее значение PbB составило 6,5 мкг/дл (в контрольной зоне 3,4 мкг/дл), а PbB > 10 мкг/дл обнаружено у 17% детей (в контрольной зоне только у 3%). У детей, проживающих вблизи заводов по выплавке свинца в Чехии [18] и в Канаде [19], средние уровни PbB найдены равными, соответственно, 11,35 и 13,1 мкг/дл, что близко к уровням, обнаруженным нами (совместно с бригадой CDC [20]) в Красноуральске.

Следует отметить, что если на популяционном уровне содержание свинца в организме детей определенного возраста зависит, судя по нашим и литературным данным, прежде всего от промышленного и транспортного загрязнения среды обитания, то на индивидуальные показатели влияют также многие другие факторы. Так, по данным [21], обследование детей в

возрасте 2—6 лет, проживающих в трех городах Катовицкого воеводства (Польша), средняя индивидуальная концентрация свинца в крови различается не только в городах, в которых живут дети, (т.е. предположительно зависит от различий свинцового загрязнения окружающей среды), но и в пределах одного города и зависит от возраста ребенка, этажа и качества квартиры, наличия ковра в детской комнате, числа детей в семье, частых поездок за пределы региона и потребления местных овощей [21].

В США обследовали 245 детей в возрасте 1—6 лет в сельских районах вблизи заброшенных медно-цинковых рудников штата Оклахома на содержание свинца в венозной крови [22]. Измерялось также содержание свинца в почве, домашней пыли, воде, краске. Родители или опекуны каждого ребенка интервьюировались в отношении его вредных привычек (сосать пальцы, класть в рот почву, песок, гравий или глину, а также игрушки, карандаши и т.п.). Были собраны также сведения о социально-экономическом статусе семьи. Уровни PbB у этих детей варьировали от 1 до 24 мкг/дл (в среднем 5,8 мкг/дл). Результаты многофакторного анализа данных свидетельствуют о том, что близость проживания к рудничному городу, загрязненность среды обитания, в частности пола в жилом доме свинецсодержащей пылью (> 10,1 мкг/кв. фут) и почвы во дворе (> 165,3 мг/кг), являются существенными индивидуальными факторами риска, способствующими накоплению в организме свинца по показателю PbB ≥ 10 мкг/дл, но наряду с этим определенный вклад вносят особенности поведения и привычки детей, бедность и низкое образование родителей (или опекунов).

Мы также проанализировали зависимость индивидуального уровня PbB у 697 детей, проживающих в городах Красноуральск, Первоуральск, Кировград и Кушва, от большого числа характеристик, оцененных

Таблица 2

**Индивидуальные факторы риска, влияющие на уровень содержания свинца в крови детей**

Факторы, повышающие PbB	Факторы, снижающие PbB
Привычка грызть ногти	Прием витаминных препаратов
Привычка есть землю, снег, краску	Регулярное употребление молока
Проживание на нижних этажах	
Окна, выходящие на проезжую часть улицы	

факторов выявлены спокойная, доброжелательная обстановка в доме, достаточное время, уделяемое общению с ребенком, более высокий уровень образования родителей. Также благоприятным оказалось влияние возраста родителей. Можно предположить, что чем старше родители, тем выше уровень внимания к воспитанию ребенка, тем стабильнее семья и тем выше (в среднем) ее материальное обеспечение.

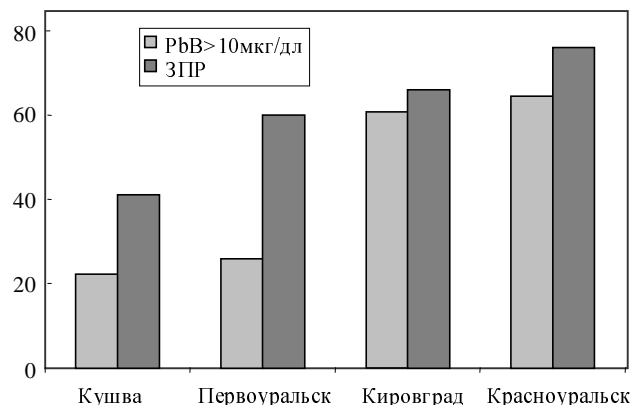
путем анкетирования. Основные результаты регрессионного анализа обобщены в табл. 2. Ориентация окон на проезжую часть способствует повышению PbB скорее всего в связи с транспортными выхлопами, содержащими свинец. В квартиры на нижних этажах больше попадает как выхлопных газов, так и свинецсодержащей почвенной пыли. Особо следует отметить, что и наши исследования подтверждают хорошо известную негативную роль извращенных пищевых привычек, а выявленные факторы положительного влияния — прием витаминов и употребление молока соответствуют концепции биологической профилактики (см. статью Б.А. Кацнельсона и соавт. в этом номере журнала).

Известно, что кроме многих нейротоксичных веществ, одним из которых является свинец, на психологическое развитие ребенка может оказывать неблагоприятное воздействие целый ряд социально-экономических и индивидуальных факторов [23]. Вместе с тем существует определенная количественная зависимость между уровнем свинца в крови и потерей баллов IQ (коэффициент интеллектуального развития), установленная в ходе мета-анализа эпидемиологических данных [24]. Однако на индивидуальном уровне в нашем исследовании не была обнаружена сильная зависимость между PbB и вероятностью неудовлетворительных результатов психологического тестирования в пределах каждого отдельно рассматриваемого города. Сходную ситуацию, но при использовании другого теста (Wechsler Intelligence Scale for Children — Version III), наблюдали югославские исследователи [25]. Они установили, что социально-демографические переменные могут стирать зависимость между содержанием свинца и умственным развитием 7-летних детей.

Используя объединенный материал, полученный при обследовании в городах Красноуральск, Первоуральск, Кировград и Кушва, мы провели регрессионный анализ зависимости индивидуальной задержки психического развития от различных априорных факторов риска, выявленных с помощью анкетирования родителей с поправкой на пол, возраст и зону проживания. Наиболее важным из результатов регрессионного анализа является подтверждение негативного влияния свинцовой нагрузки на психическое развитие детей (при PbB более медианного уровня риск в полтора раза выше, чем при PbB менее медианного уровня). К индивидуальным предпосылкам задержки психического развития относится также отягощенная наследственность и ряд значимых социальных факторов. Из неблагоприятных факторов особо следует отметить алкоголизм одного или обоих родителей и курение матери во время беременности. Из благоприятных

Социально-экономические и демографические характеристики и их влияние на психическое развитие ребенка в разных семьях могут различаться, даже если они живут в одном и том же городе. Однако для жителей малых промышленных городов, расположенных в одном регионе, эти факторы, как правило, достаточно схожи. На этом фоне более четко проявляется влияние экологических различий, и если среди потенциальных нейротоксичных загрязнителей среды обитания доминирует один, то может быть выявлено влияние именно этого фактора риска. Действительно, в том же убывающем порядке, что и изменение процента детей с PbB > 10 мкг/дл, снижается и процент детей с неудовлетворительными результатами психологического тестирования в этих городах, а именно: в Красноуральске — 76%, в Кировграде — 66%, в Первоуральске — 60%, в Кушве — 41% (см. рисунок). Следует отметить, что приведенные здесь конкретные величины не всегда совпадают с соответствующим процентным соотношением детей, имеющих PbB > 10 мкг/дл. Поэтому мы полагаем, что хотя показатель PbB вполне информативен при проведении сравнительной оценки риска для развития детей, проживающих в разных городах при воздействии разных уровней свинцового загрязнения, однако необходимо более осторожно использовать этот показатель PbB даже для ориентировочного прогнозирования конкретного процента детей с психологическими проблемами в конкретной популяции.

Использованную нами биокинетическую модель можно признать вполне надежной для прогнозирования средних уровней свинца в крови и их распределе-



**Рис.** Процент детей с уровнем свинца в крови выше 10 мкг/дл и процент детей, имеющих задержку психического развития (ЗПР)

ния. Логично допустить, что и количественная оценка на ее основе вклада каждого компонента среды обитания в общую свинцовую нагрузку организма также достаточно надежна. В качестве примера приведем данные по оценке вкладов различных путей экспозиции свинца в общую свинцовую нагрузку на организм детей (4—7 лет) в Кировграде (для детей других городов результаты аналогичные):

из продуктов питания	76,0%
из почвы и пыли	21,7%
из питьевой воды	2,0%
из атмосферного воздуха	0,3%

Существенное влияние свинцового почвенно-пылевого воздействия на организм детей является хорошо известным фактом, который неоднократно подтверждался исследователями (см., например [26]), что и было учтено в использованной нами биокинетической модели [12]. Однако в данной модели почва и пыль рассматриваются как единый источник свинцовой экспозиции, хотя возможно, что пыль внутри жилых помещений для интоксикации играет даже большую роль, чем почва снаружи. Например, в работе [27] показано, что сезонные колебания PbВ в крови детей в г. Нью Джерси (США) тесно связаны с колебаниями содержания свинца в домашней пыли (основным источником которой является грязь, заносимая снаружи). Особое значение имеет контакт детей с коврами и мебельной обивкой, причем даже очистка пылесосом этих поверхностей оказывается малоэффективной для снижения свинцовой экспозиции. Поскольку мы располагали недостаточными данными о содержании свинца в пыли внутри жилых помещений, в том числе в детских садах, то при расчетах в модель вводились только показатели содержания свинца в почве (главным образом, на игровых площадках детских садов и школ). Поэтому вклад суммарной почвенно-пылевой экспозиции, возможно, был недооценен.

Полученные результаты позволяют обосновать важнейшие направления эффективной профилактики экологического свинцового воздействия на детский контингент. Это

- обеспечение детей пищевыми продуктами, содержащими минимально возможные концентрации свинца (в первую очередь, овощами и молоком, завозимыми из районов, не загрязненных свинцом);
- снижение контакта детей с почвой и почвенной пылью вне помещений путем благоустройства и озеленения территорий в детских садах и на игровых площадках, асфальтирования улиц, переулков и их частого мытья и т.д.;
- снижение контакта детей с пылью внутри помещений путем частого мытья и пылесосной очистки полов, ковров, подоконников и других поверхностей, на которых оседает пыль в домах и в детских садах;
- гигиеническое воспитание детей и их родителей.

Указанные профилактические мероприятия раньше всего начали реализовываться в Красноуральске. Их эффективность характеризуют показатели, представленные в табл. 3.

В связи с особой опасностью внутриутробного свинцового воздействия важное значение имеет мониторинг содержания свинца в пуповинной крови. Известно, что эта величина коррелирует с содержанием свинца в венозной крови беременных женщин (см., например [28]), а следовательно, в конечном счете зависит от свинцового загрязнения среды обитания. В известной нам литературе мы не нашли критерии токсикологической оценки концентрации свинца в пуповинной крови. Учитывая имеющиеся данные о влиянии низких концентраций этого металла в крови детей и принимая во внимание, что формирующаяся центральная нервная система плода, безусловно, еще более чувствительна к его нейротоксическому действию, мы условно приняли в качестве такого критерия концентрацию свинца более 1 мкг/дл.

В табл. 4 представлены результаты определения

Таблица 3

**Результаты биомониторинга воздействия свинцового загрязнения на детей дошкольного возраста (г. Красноуральск)**

Год и число обследованных детей	% детей с PbВ > 10 мкг/дл	Среднее геометрическое PbВ, мкг/дл
<i>До разработки реабилитационной программы</i>		
1996 г., 107 детей	64,5	11,8 ± 0,5
1997 г., 250 детей	59,5	11,2 ± 0,2
<i>После введения программы (1998—1999 гг.)</i>		
2000 г., 175 детей	26,0	7,4 ± 0,3
2001 г., 201 ребенок	14,4	6,2 ± 0,2

Таблица 4

**Результаты определения содержания свинца в пуповинной крови у новорожденных в трех городах Свердловской области (2002—2003 гг.)**

Город (число проб)	Средняя концентрация свинца, мкг/дл	% проб с концентрацией свинца	
		> 1 мкг/дл	> 10 мкг/дл
Екатеринбург (265)	1,06 ± 0,10	37,4%	0,4%
Первоуральск (209)	2,16 ± 0,19	46,4%	1,4%
Ревда (143)	4,72 ± 0,32	86,0%	8,4%

свинца в пуповинной крови у новорожденных в трех городах Свердловской области, существенно различающихся по интенсивности свинцового загрязнения среды обитания. В г. Ревда имеется мощный промышленный источник этого загрязнения — Средне-Уральский медеплавильный завод. Первоуральск находится на расстоянии 10 км с подветренной стороны от того же источника. Также в подветренном направлении от него, но на расстоянии около 40 км начинается территория Екатеринбурга, в котором дополнительным источником свинцового загрязнения является интенсивный автомобильный транспорт. Ранее проведенные нами в этих же городах обследования групп детей дошкольного возраста на содержание свинца в крови и в моче показали, что средний уровень свинцовой нагрузки населения убывает в порядке: Ревда > Первоуральск > Екатеринбург. Как видно из данных табл. 4, тот же порядок городов выявлен и по критерию снижения концентрации свинца в пуповинной крови.

Особую тревогу вызывает то обстоятельство, что в отдельных пробах пуповинной крови превышен предел 10 мкг/дл, который считается несомненно неблагоприятным для детей дошкольного и младшего школьного возраста. Процент таких результатов также наиболее высок в г. Ревда, на втором месте стоит г. Первоуральск, на третьем — г. Екатеринбург.

Тот же порядок прослеживается и по средним концентрациям свинца, которые различаются статистически высоко значимо ( $p < 0,001$ ). При этом средний показатель для г. Ревда близок к 5 мкг/дл, т.е. находится на том уровне, об опасности которого для развития у детей дошкольного и младшего школьного возраста свидетельствуют многие литературные данные. Отметим также, что именно для условий этого города методом регрессионного анализа показано, что с повышением индивидуальной концентрации свинца в пуповинной крови значимо возрастает вероятность развития плацентарной недостаточности — одного из наиболее серьезных осложнений беременности. Таким образом, свинцовая нагрузка вредна не только для развития нервной системы плода.

Полученные данные позволяют существенно расширить границы рассмотрения эколого-токсикологической проблемы «свинец и здоровье населения» и дополнительно обосновывают особую актуальность разработки и реализации программ управления свинцовым риском для обеспечения здоровья населения как на местном, так и на федеральном уровнях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- UN Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals. «Global Opportunities for Reducing the Use of Leaded Gasoline», Geneva, UNEP/Chemicals, 1998, 59 p.
- Белая Книга «Доклад о свинцовом загрязнении окружающей среды Российской Федерации и его влиянии на здоровье населения». Москва: Гос. Комитет РФ по охране окружающей среды, 1997; Гос. Комитет РФ по охране окружающей среды, 1997, 47 с.
- Gulson B., Mizon K., Smith H. e. a. Environ. Health Perspect., 2002, v. 110, № 10, p. 1017—1024.
- IPCS Environmental Health Criteria 165. Inorganic Lead. Geneva: WHO, 1995, 300 p.
- Jemal A., Graubard B.I., Devesa S.S., Flegal K.M. Environ. Health Perspect., 2002, v. 110, № 4, p. 325—330.
- Wu T., Buck G.M., Mendola P. Ibid., 2003, v. 111, № 5, p. 737—741.
- Sovickova E., Wsolova L., Ursinyova M. e. a. Epidemiology, 1998, v. 9, № 4, p. 139. (Abstract).
- Behrendt J., Norska-Borowka I. Epidemiology, 1998, v. 9, № 4, p. 140. (Abstract).
- Wakefield J. Environ. Health Perspect., 2002, v. 110, № 10, p. A574—A580.
- Tong S. Epidemiology, 1998, v. 9, № 4, p. S141. (Abstract).
- Привалова Л.И., Кузьмин С.В., Малых О.Л. и др. Вестник РАМН, 2002, № 11, с. 50—53.
- White P.D., Van Leeuwen P., Davis B.D. e. a. Environ. Health Perspect., 1998, v. 106, Suppl. 8, p. 1513—1530.
- Raven J.K., Kurt J.H., Raven J. Guide to Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales. М.: «Когитоцентр», 1996 (русский перевод).
- Фомин В.В., Липатов Г.Я., Мурзин М.М. В сб.: Вторичные иммунодефицитные состояния. Екатеринбург: УГМА, 1997, с. 260—272.
- Bergomi M., Borella P., Fantuzzi G. Ann Ig., 1989, v. 1, № 5, p. 1185—1196.
- Pirkle I.L., Kaufmann R.B., Brody D.J. e. a. Environ. Health Perspect., 1998, v. 106, № 11, p. 745—750.
- Evans R.G., Shadel B.N., Scott M.P.H. e. a. Epidemiology, 1998, v. 9, № 4, p. 138. (Abstract).
- Cikrt M., Smerhovsky Z., Blaha K. e. a. Environ. Health Perspect., 1997, v. 105, № 4, p. 406—417.
- Hilts S.R., Bock S.E., Oke T.L. e. a. Ibid., 1998, v. 106, № 2, p. 79—83.
- Rubin C., Esteban E., Reissman D. e. a. Environ. Health Perspect., 2002, v. 110, № 6, p. 559—562.
- Zeida J.E., Grabecki J., Krol B. e. a. Centr. Eur. J. Public Health, 1997, v. 5, № 2, p. 60—64.
- Malcoe L.H., Lynch R.A., Kegler M.C., Skaggs V.J. Environ. Health Perspect., 2002, v. 110, suppl. 2, p. 221—231.
- Weiss B. Ibid., 2000, v. 108, suppl. 3, p. 375—381.
- Schwartz J. Environ. Res., 1994, v. 65, p. 42—55.
- Wasserman G.A., Liu X., Lolocono N.J. e. a. Environ. Health Perspect., 1997, v. 105, № 9, p. 956—962.
- Mielke H.W., Dugas D., Mielke P.W. e. a. Ibid., 1997, v. 105, № 9, p. 950—955.
- Yiin L.M., Rhoads G.G., Rich D.Q. e. a. Ibid., 2002, v. 110, № 12, p. 1233—1237.
- Shamsudin S., Hashim S., Jamal A.R. e. a. Epidemiology, 2003, v. 14, № 5, suppl., p. 23—24. (Abstract).