

**ВЗАИМОСВЯЗЬ РАДИАЦИОННОГО ФАКТОРА И БИОЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА
У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ПРОЖИВАЮЩИХ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ**

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург

В результате исследования методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой определена концентрация 30 химических элементов в волосах 332 участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, проживающих на различных территориях Северо-Западного региона Российской Федерации. Не было выявлено связи между содержанием биоэлементов и полученной дозой, но при этом получены достоверно более высокие показатели содержания свинца в группе лиц, выполнявших работы на Чернобыльской АЭС в 1988 г., по сравнению с 1986 и 1987 гг. Также уровень нагрузки свинцом прямо пропорционально зависел от длительности нахождения на загрязненной территории. Полученные данные позволяют давать дополнительные рекомендации по корректирующей терапии для ликвидаторов последствий аварии.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, радиобиология, ликвидаторы, биоэлементный статус, радиация, свинец.

Введение

Мониторинг радиационной безопасности человека является неотъемлемой частью использования ядерной энергии в мирных целях, таких как электроэнергетика и ядерная медицина. Вопрос радиационной безопасности актуален как для работников ядерной промышленности, так и для лиц, проживающих на территориях, загрязненных в результате возникновения чрезвычайной ситуации с аварийным выбросом радиоактивности.

Массовое использование ядерной энергии началось с середины 1950-х годов, что неизбежно привело к антропогенному воздействию на окружающую среду радиационных факторов. Основными источниками загрязнения выступали выбросы радиоактивных материалов как в результате повседневной работы (АЭС Sellafield), так и в случае аварийных ситуаций (Чернобыль, Фукусима). Если в первом случае оказывается влияние только на ближайшую территорию и может быть спрогнозировано, то в случае чрезвычайных ситуаций – радиоактивное загрязнение, как правило, распространяется на существенно большие расстояния. Примером служит обнаружения радиоактивного цезия (^{134}Cs , ^{137}Cs) у животных из Великобритании, перенесенного воздушными массами от места аварии в Чернобыле [6]. В последнее время нарастает актуальность вопроса захоронения ядерных отходов, что не в последнюю очередь связано с возможностью утечки при транспортировке. Одновременно повышается риск хронической интоксикации свинцом, являющимся неотъемлемой частью радиационной защиты.

В современной научной литературе описана роль радиационного воздействия в возникновении дисбаланса эссенциальных биоэлементов, которые усиленно расходуются на биологическое сдерживание как самого радиационного поражения, так и обуславливаемых им биохимических реакций. В том числе это связано с мембранотоксическим эффектом излучения [5]. В то же время, важно учитывать внутреннее облучение инкорпорированными радионуклидами, замещающими схожие по химическому строению биоэлементы в органах, приводя к нарушению их биологической функции. Наиболее показательным примером является авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), когда ^{131}I накапливался в щитовидной железе, вызывая нарушение ее функций, изменение морфологии, вплоть до возникновения опухоли. Описано, что радиоактивный стронций (^{90}Sr) концентрируется в костной ткани, а ^{131}Cs в мышечной [6]. Интенсивность вышеописанных процессов зависит, в том числе, от состояния биоэлементного статуса, в частности от уровня обеспеченности конкретного организма жизненно необходимыми элементами. Международной комиссией по радиологической защите (ICRP) был определен список элементов, дефицит которых приводит к большей вероятности попадания в организм радионуклидов и, как следствие, увеличению полученной дозы. К этим элементам относятся кальций, калий, йод, медь, железо, селен, цинк, цезий и стронций [7]. Аналогичная ситуация наблюдается при анализе вероятности интоксикации свинцом.

Уровень интоксикации свинцом, который входит в состав защитных систем ядерных уста-

новок, а также применяется в чрезвычайных ситуациях для дезактивации выбросов радионуклидов, зависит от состояния биоэлементного статуса. Наиболее важными элементами – антагонистами свинца в этом случае являются кальций, магний и цинк. Они не только помогают защитить организм от поглощения свинца, но также ускоряют его удаление при направленной терапии [8]. В нашем предыдущем сообщении показана широкая распространенность дефицита вышеперечисленных биоэлементов среди ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (ЛПА на ЧАЭС) [4].

Вклад радиационного воздействия в формирование биоэлементного дисбаланса у ЛПА на ЧАЭС в отдаленном периоде, вероятнее всего, не значителен, но это требует дальнейшего научного подтверждения.

Целью данной работы явилось выявление возможного влияния радиационного фактора на биоэлементный статус ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, проживающих в Северо-Западном регионе России.

Материалы и методы

В исследование включены 332 мужчины, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, в возрасте на момент забора материала от 34 до 70 лет, проживающих в Северо-Западном регионе России.

Биоэлементный статус участников ЛПА на ЧАЭС оценивали по результатам количественного анализа содержания жизненно необходимых и токсичных биоэлементов в пробах волос из банка биоматериалов, созданного в 2001 г. во Всероссийском центре экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова (далее – ВЦЭРМ) МЧС России [1].

Определение концентрации 30 химических элементов осуществляли в специализированной лаборатории ВЦЭРМ на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной аргонной плазмой (X-SERIES II ICP-MS) в соответствии с методическими указаниями, утвержденными главным государственным санитарным врачом Российской Федерации [3].

Обоснование выбранного биоматериала (волос) для исследования и методика проведения этапов анализа подробно изложено в нашем предыдущем сообщении [2].

Для оценки возможного влияния радиационного фактора фиксировались данные, отраженные в индивидуальной регистрационной карте Российского государственного медико-дозиметрического регистра: полученная доза внешнего облучения, год и продолжительность

участия в аварийно-восстановительных работах.

В зависимости от полученной дозы внешнего облучения ЛПА на ЧАЭС были разделены на следующие группы: 1-я – до 10 сГр (93 человека), 2-я – от 10 до 20 сГр (67 человек) и 3-я – более 20 сГр (41 человек). У 131 человека, вошедших в обследование, доза облучения не была официально зарегистрирована. Среди обследованных 175 человек принимали участие в аварийно-восстановительных работах на ЧАЭС в 1986 г., 113 – в 1987 г. и 43 – в 1988 г. Продолжительность пребывания в зоне аварии составила от 5 до 210 дней.

Результаты исследований обрабатывали с помощью программного обеспечения Plasma-Lab 2.5.4. Для статистической обработки данных использовался программный продукт Statistica 6.0. Ввиду того, что распределение значений изучаемых признаков в выборке оказалось отличным от нормального, в работе применялись методы непараметрической статистики. Сравнение групп проводили с использованием U-критерия Манна–Уитни, корреляционный анализ – с применением метода ранговой корреляции по Спирмену.

Результаты

Результаты анализа биоэлементного статуса в группах с различной полученной дозой внешнего облучения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Медианы содержания биоэлементов в пробах волос у ЛПА на ЧАЭС в зависимости от полученной дозы внешнего облучения (мкг/г)

Биоэлемент	Дозовые группы, сГр		
	1-я	2-я	3-я
Алюминий	14,70	10,07	12,92
Барий	2,570	2,280	2,670
Бор	2,300	1,740	1,570
Железо	15,66	16,09	15,29
Йод	0,028	0,033	0,043
Кадмий	0,130	0,110	0,120
Калий	149,7	167,9	160,4
Кальций	400,0	385,5	395,1
Кобальт	0,020	0,020	0,020
Магний	32,79	40,33	33,39
Марганец	1,000	1,000	1,030
Медь	7,710	7,770	6,730
Мышьяк	0,063	0,069	0,073
Натрий	302,6	346,9	309,1
Никель	1,080	0,460	0,680
Ртуть	0,350	0,450	0,350
Свинец	2,820	2,280	2,110
Селен	0,240	0,260	0,320
Серебро	0,049	0,042	0,078
Стронций	1,9300	2,4500	1,9800
Фосфор	101,8000	99,5500	94,1500
Хром	1,0100	0,6100	0,6200
Цинк	72,1800	72,8500	70,3000

Таблица 2

Медианы содержания биоэлементов в пробах волос у ЛПА на ЧАЭС в зависимости от года участия (мкг/г)

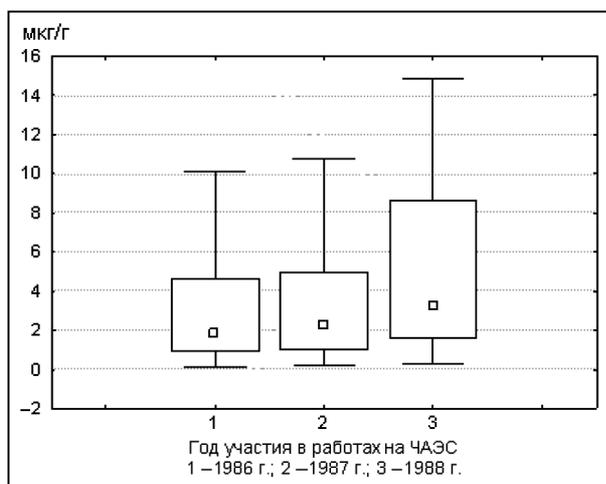
Биоэлемент	Год участия			p < 0,05		
	1986	1987	1988	1-2	1-3	2-3
Алюминий	14,39	20,51	18,83	+		
Свинец	1,890	2,290	3,240		+	+
Селен	0,250	0,300	0,230			+
Цинк	70,47	78,04	65,86			+

Здесь и в табл. 3: + номер группы, отличия между которыми значимы при p < 0,05.

При анализе полученных данных установлено, что ни по одному элементу достоверных различий в анализируемых группах не выявлено. Это дает основание констатировать, что взаимосвязи между полученной дозой облучения и содержанием биоэлементов в пробах волос выявлено не было. Вероятно, одной из причин может быть высокая неопределенность дозы облучения, зарегистрированная в ряде случаев на основании расчетного метода, так как далеко не все ликвидаторы были охвачены индивидуальным дозиметрическим мониторингом.

Результаты анализа выявленной статистически достоверной взаимосвязи между концентрацией отдельных химических элементов в организме участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС и годом участия в аварийно-восстановительных работах приведены в табл. 2.

Как следует из полученных данных, достоверно более высокие показатели содержания свинца выявлены в группе лиц, выполнявших работы на ЧАЭС в 1988 г., по сравнению с 1986 и 1987 гг. Повышенная нагрузка свинца среди ЛПА на ЧАЭС 1988 г. участия, вероятно, связана с тем, что в разрушенный реактор непосредственно



Содержание свинца в пробах волос у ЛПА на ЧАЭС в зависимости от года участия в работах на ЧАЭС.

Таблица 3

Медианы коэффициентов соотношения содержания свинца и его жизненно необходимых антагонистов у ЛПА на ЧАЭС из Санкт-Петербурга в зависимости от года участия

Соотношение	Год участия			p < 0,05		
	1986	1987	1988	1-2	1-3	2-3
Ca/Pb	248	204	173		+	+
Mg/Pb	22	17	11		+	+
Zn/Pb	37	35	20		+	+

после аварии было сброшено около 2500 т металлического свинца, который постепенно вошел в пищевую цепочку. Наглядно данные о содержании свинца в пробах волос у участников аварийно-восстановительных работ на ЧАЭС представлены на рисунке.

Повышение содержания свинца у участников 1987 г. по сравнению с участниками 1986 г. не является статистически достоверным, хотя тенденция и прослеживается. В то же время, повышение содержания свинца у участников 1988 г. по сравнению с 1986 и 1987 гг. является статистически достоверным (p < 0,05). Это дополнительно подтверждается выявленной статистически достоверной положительной корреляционной взаимосвязью между продолжительностью участия в аварийно-восстановительных работах и концентрацией свинца в пробах волос у ЛПА на ЧАЭС (r = 0,23; p < 0,05).

Многие биоэлементологи отмечают, что для нормального функционирования организма важно не только абсолютное содержание биоэлементов, но и их соотношение. В табл. 3 приведены статистически достоверные различия между группами обследованных ликвидаторов коэффициентов соотношения свинца и его основных антагонистов из числа жизненно необходимых элементов.

Необходимо отметить статистически достоверно более низкие показатели соотношения Ca/Pb, Mg/Pb и Zn/Pb у ЛПА на ЧАЭС 1988 г. по сравнению с двумя предыдущими годами. Это может быть связано с выявленным повышенным уровнем свинца и одновременным вытеснением из организма природных эссенциальных антагонистов.

С помощью корреляционного анализа полученных результатов выявлена статистически достоверная обратная зависимость между коэффициентами Ca/Pb, Mg/Pb, Zn/Pb и продолжительностью участия ликвидаторов в аварийно-восстановительных работах, приведенная в табл. 4.

Как следует из представленных данных, с увеличением продолжительности участия в ава-

Таблица 4

Корреляционные взаимосвязи коэффициентов соотношения содержания свинца и его жизненно необходимых антагонистов в пробах волос у ЛПА на ЧАЭС и продолжительностью участия в аварийно-восстановительных работах

Соотношение	Коэффициент Пирсона
Ca/Pb	-0,18
Mg/Pb	-0,19
Zn/Pb	-0,23

рийно-восстановительных работах на ЧАЭС коэффициенты содержания свинца и его природных антагонистов смещались в сторону накопления в организме токсичного свинца.

Заключение

Полученные результаты позволяют рекомендовать врачам, занимающимся диспансеризацией ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС, проводить определение биоэлементного статуса пациентов с целью включения направленной биоэлементной коррекции в терапию основного заболевания. Особое внимание следует уделить выведению свинца у пациентов, принимавших участие в аварийно-восстановительных работах в 1988 г., а также длительно находившихся на загрязненной территории. Выведение свинца целесообразно осуществлять как с помощью хелатирующих препаратов, так и за счет увеличения поступления в организм природных антагонистов, в первую очередь, кальция, магния и цинка.

Литература

1. Банк биоматериалов от ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС как основа проспективного изучения влияния малых доз радиации на организм человека // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. – 2011. – № 2. – С. 116–121.
2. Микроэлементный статус участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, проживающих в Санкт-Петербурге / И.И. Шантырь, М.В. Яковлева, И.Э. Ушал, М.А. Власенко // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. – 2008. – № 2. – С. 23–28.
3. Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой: метод. указания. – М.: Федер. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 56 с.
4. Парфенов А.И., Шантырь И.И., Ушал И.Э. Региональные особенности биоэлементного статуса участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС Северо-Западного региона России с учетом их радиационного анамнеза // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. – 2012. – № 4. – С. 73–77.
5. Скальный А.В., Кудрин А.В. Радиация, микроэлементы, антиоксиданты и иммунитет. – М., 2000. – 427 с.
6. Selinus O., Alloway B.J. Essentials of medical geology: impacts of the natural environment on public health. – Academic Press, 2005. – 812 p.
7. Reference asian man: ingestion and organ content of trace elements of importance in radiological protection: ICRP. – 2008. – 100 p.
8. Watts D.L. Implications of lead toxicity // TEI Newsletter. – 1985. – Vol. 1. – P. 6.