

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ
И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА**© 2018 М.Т. Джамбаев¹, Н.В. Барановская¹, А.В. Липихина²¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет²Научный исследовательский институт радиационной медицины и экологии,
г. Семей, Республика Казахстан

Статья поступила в редакцию 26.03.2018

В статье приведены результаты исследований элементного состава крови человека при различных уровнях индивидуальных эффективных эквивалентных доз облучения, на примере жителей территорий, прилегающих к бывшему Семипалатинскому испытательному ядерному полигону. Выявлено, что в составе крови жителей сравниваемых зон радиационного риска по сравнению с кровью жителей минимальной зоной радиационного риска концентрации таких элементов как Na, Ca, Cr, Fe, Co, Br, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Ta, Lu, Au, U имеют значимые различия. Все значимые различия, за исключением концентрации Fe, выражаются в сравнительно высоких концентрациях указанных химических элементов в крови жителей сравниваемых зон радиационного риска по сравнению с их концентрациями в крови жителей минимальной зоны радиационного риска. Концентрации Fe в крови жителей чрезвычайной, максимальной и повышенной зонах радиационного риска сравнительно ниже, чем в крови жителей минимальной зоны радиационного риска. Выявлено, что воздействие дозовых нагрузок на элементный состав крови человека наиболее ярко отражается при эффективных эквивалентных дозах облучения свыше 100 с·Зв. При дозах ниже 100 с·Зв внешние факторы воздействия на элементный состав крови человека имеют как природный, так и техногенный характер. Элементный состав крови человека может иметь как прямую, так и обратную корреляционную зависимость от уровней индивидуальных эффективных эквивалентных доз облучения человека, что говорит о том, что при оценке воздействия дозовых нагрузок на организм человека следует учитывать биогеохимическую специфику территории его проживания.

Ключевые слова: зоны радиационного риска, эффективные эквивалентные дозы облучения, элементный состав крови человека.

DOI: 10.24411/1990-5378-2018-00013

ВВЕДЕНИЕ

В результате деятельности Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП) на его прилегающих территориях образовалась сложная радиоэкологическая ситуация [1-3]. Задачи исследований по оценке радиоэкологической ситуации, в разных отрезках времени, начиная с периода проведения первых испытаний до сегодняшнего дня, менялись по степени и характеру проявленности воздействия ионизирующего излучения на окружающую среду и на организм человека. Так, в первые десять лет испытаний измерялся только мощность дозы гамма-излучения по пути прохождения радиоактивных облаков в 15 районах, в 75 населенных пунктах [4]. Детальные исследования ра-

диационной обстановки на данной территории проводились в период 1953-1996 гг. научно-исследовательским институтом Радиационной Медицины и Экологии (НИИ РМ и Э) г. Семипалатинск, в годы работы СИЯП функционировавшего под грифом секретности как «Диспансер № 4». Основной задачей института было реконструкция дозовых нагрузок на население в результате проведенных наземных и атмосферных испытаний [5].

На сегодняшний день, основными задачами исследований радиоэкологической ситуации на данной территории являются современная оценка уровня радиоактивного загрязнения, а также оценка медико-биологических эффектов хронического воздействия различных доз облучения на организм человека. В данном контексте в качестве индикаторов целесообразно применение биосубстратов человека.

По литературным данным, элементный состав крови человека отражает эколого-геохимическую обстановку территорий его проживания [6,7]. Так, элементный состав крови населения, проживающего в зоне воздействия предприятий ядерно-топливного цикла отличается накоплением ряда редкоземельных и радиоактивных элементов [8]. При использовании крови человека в качестве ин-

Джамбаев Мерей Тлеуканович, аспирант кафедры геоэкологии и геохимии Инженерной школы природных ресурсов. E-mail: merei-semei@mail.ru

Барановская Наталья Владимировна, доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии и геохимии Инженерной школы природных ресурсов.

E-mail: nata@tpri.ru.

Липихина Александра Викторовна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник научного отдела. E-mail: a.v.lipikhina@mail.ru

дикатора изменения состояния окружающей среды следует понимать, что элементный состав этого биосубстрата может изменяться по ряду причин, таких как возраст, пол, группа крови, уровень гемоглобина, характер питания человека, смена обстановки и др. [9]. По результатам исследований ученых разных стран, одной из главных причин изменения элементного состава крови человека, является изменение состояния его здоровья [10-12]. При этом остаются не решенными ряд важных вопросов о механизме взаимодействия элементного статуса организма и патологических процессов, происходящих в нем. К примеру, не известно способствует ли дисбаланс микроэлементов возникновению сахарного диабета или заболевание является причиной нарушения элементного состава [13].

Применение современного высокоточного метода анализа, такого как инструментальный нейтронно-активационный анализ, позволит получить важную дополнительную информацию об особенностях элементного состава крови человека подвергнувшегося воздействию различных уровней дозовых нагрузок с возможностью ее дальнейшего внедрения в качестве новых методов радиоэкологической оценки.

Цель исследования. Целью наших исследований является изучение взаимосвязи элементного состава крови человека с индивидуальными эффективными эквивалентными дозами (ЭЭД) облучения на примере крови жителей населенных пунктов, характеризующихся как территории с неравномерной дозовой нагрузкой, сформировавшейся в результате деятельности Семипалатинского испытательного ядерного полигона.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В наши исследования вошли 9 населённых пунктов, которые отнесены к разным зонам радиационного риска (З.Р.Р.). Зоны радиационного

риска установлены в соответствии с Законом Республики Казахстан от 18.12.1992 г. «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне» [14]. Для каждой зоны радиационного риска рассчитаны дозы воздействия на население за весь период испытаний облучения населения. Фоновой территорией в наших исследованиях принят населенный пункт Кокпекты, который отнесен к минимальной зоне радиационного риска, с дозовой нагрузкой от 0,1 до 7 сЗв (табл. 1). Согласно архивным материалам НИИ Радиационной медицины и экологии, любезно предоставленных нам сотрудниками института, при расчете доз облучения учитывался ряд факторов, таких как природно-климатические условия в момент испытаний, рельеф местности, продолжительность времени отселения населения после проведения взрывов, сроки прибытия населения на постоянное проживание, виды проведенных взрывов и т.п. [5].

У каждого испытуемого отбиралось по 5 мл крови. Основным критерием при выборе респондентов был факт проживания на исследуемой территории не менее 10 лет. Также было обращено внимание на отсутствие хронических заболеваний. В каждом исследуемом населенном пункте было отобрано от 5 до 10 проб. В результате было отобрано 60 проб крови. Кровь отбиралась только с информационного согласия респондентов.

Для определения элементного состава крови был применен инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), являющийся одним из самых оптимальных современных методов для анализа крови человека [15,16]. Анализ проводился на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (аналитик: с.н.с. Судыко А.Ф.).

Таблица 1. Уровни дозовых нагрузок на население в исследуемых зонах радиационного риска [5]

№	Исследуемый населенный пункт	Зоны радиационного риска	Доза воздействия на население за весь период испытаний, сЗв
1	Саржал	Чрезвычайная З.Р.Р.	свыше 100
2	Бодене		
3	Долонь		
4	Караул	Максимальная зона Р.Р.	от 35 до 100
5	Медеу		
6	Канонерка		
7	Новопокровка		
8	Зенковка	Повышенная З.Р.Р.	от 7 до 35
9	Кокпекты	Минимальная З.Р.Р.	от 0,1 до 7

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В результате проведенного нейтронно-активационного анализа в исследуемых пробах крови было определено содержание 28 химических

элементов, таких как Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U. В таблице 2 приведены концентрации химических элементов в крови населения различных зон радиационного риска.

Таблица 2. Содержание химических элементов в крови населения, проживающего в различных зонах радиационного риска

н.п. Х.э.	Чрезвычайная З.Р.Р. (n=15)	Максимальная З.Р.Р. (n=25)	Повышенная З.Р.Р. (n=10)	Минимальная З.Р.Р. (n=10)
Na	* 8120 ± 305	* 6664 ± 320	* 5870 ± 395	4150 ± 327
Ca	* 243 ± 29	155 ± 20	* 502 ± 135	134 ± 29
Sc	<0,003	<0,003	0,001 ± 0,0004	<0,003
Cr	* 2,0 ± 1,1	0,3 ± 0,06	0,2 ± 0,01	<0,5
Fe	* 1840 ± 81	* 1942 ± 106	2040 ± 67	2190 ± 48
Co	* 0,2 ± 0,02	0,1 ± 0,05	* 0,2 ± 0,04	0,04 ± 0,01
Zn	22 ± 1,5	24 ± 1,9	25 ± 1,8	23 ± 2,5
As	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,04	<1	0,3 ± 0,07
Br	* 8,2 ± 0,8	* 6,7 ± 0,6	* 5,0 ± 0,4	3,2 ± 0,2
Rb	6,3 ± 0,5	5,7 ± 0,3	5,0 ± 0,4	6,3 ± 0,4
Sr	0,5 ± 0,01	0,8 ± 0,2	3,3 ± 1,2	0,9 ± 0,4
Ag	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,005	0,05 ± 0,01
Sb	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,002	0,03 ± 0,02	0,01 ± 0,003
Cs	* 0,01 ± 0,002	* 0,01 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,003 ± 0,002
Ba	1,6 ± 0,3	1,7 ± 0,6	2,1 ± 1,1	0,8 ± 0,3
La	* 0,4 ± 0,3	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,002	<0,05
Ce	* 1,2 ± 0,8	<0,05	<0,05	<0,05
Nd	* 0,7 ± 0,4	0,2 ± 0,7	0,1 ± 0,003	0,1 ± 0,05
Sm	* 0,1 ± 0,06	0,001 ± 0,0004	0,001 ± 0,0005	0,001 ± 0,0006
Eu	* 0,004 ± 0,01	0,003 ± 0,0005	0,001 ± 0,0007	0,001 ± 0,0003
Tb	0,01 ± 0,006	0,01 ± 0,001	0,002 ± 0,0008	0,01 ± 0,003
Yb	0,01 ± 0,003	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,003	0,01 ± 0,004
Lu	<0,05	* 0,0009 ± 0,0001	<0,05	<0,05
Hf	0,003 ± 0,001	0,002 ± 0,002	0,002 ± 0,001	0,004 ± 0,002
Ta	* 0,004 ± 0,001	* 0,004 ± 0,001	<0,01	0,001 ± 0,0004
Au	0,001 ± 0,0002	0,001 ± 0,0001	* 0,01 ± 0,003	0,0004 ± 0,00004
Th	0,01 ± 0,03	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,0002	0,01 ± 0,002
U	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,02	* 0,07 ± 0,02	0,01 ± 0,007

Примечание: <-ниже указанного предела обнаружения; *-элементы со значимыми уровнями различия по сравнению с его содержанием в крови жителей минимальной З.Р.Р., $p < 0,05$ (По результатам теста Манна-Уитни)

Из таблицы видно, что в составе крови жителей чрезвычайной З.Р.Р. по сравнению с кровью жителей минимальной З.Р.Р. концентрации таких элементов как Na, Ca, Cr, Fe, Co, Br, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Ta имеют значимые уровни различия. В зонах максимального и повышенного Р.Р. в составе крови населения значимые уровни различия по сравнению с элементным составом крови минимальной З.Р.Р. имеют ряд таких элементов как Na, Fe, Br, Cs, Lu, Ta и Na, Ca, Co, Br, Au, U соответственно. Все значимые различия, за исключением концентрации Fe, выражаются в сравнительно высоких концентрациях указанных химических элементов в крови жителей, сравниваемых З.Р.Р. по сравнению с их концентрациями в крови жителей минимальной зоны радиационного риска концентрации Fe в крови жителей чрезвычайной, максимальной и повышенной З.Р.Р. сравнительно ниже, чем в крови жителей минимальной зоны радиационного риска.

В таблице 3 приведены результаты факторного анализа крови населения исследуемых территорий, объединенных по зонам радиационного риска. При анализе использовался метод выделения главных компонент, с нагрузкой > 0,7. Было выделено два основных фактора, которые определяют большую часть суммарной изменчивости элементного состава крови. Так для крови населения чрезвычайной З.Р.Р. наиболее значимым является первый фактор, который объединяет ряд редкоземельных и радиоактивных элементов, таких как Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Th, U. Второй, наименее значимый фактор объединяет в себе такие элементы как Cr, Ag, Cs, Au. Для крови населения максимальной зоны радиационного риска наиболее значимым также является первый фактор, который объединяет такие элементы как Na, Ca, Co, Br, Lu. Второй фактор в данном случае был значимым только для Ba. В повышен-

ной зоне радиационного риска первый и второй факторы нагрузки на элементный состав крови человека объединили такие элементы как Cr, Sr, Cs, Ce и Na, Br, Sb, Ba, La соответственно. В крови жителей минимальной З.Р.Р. наиболее значимым оказался первый фактор, который определяет уровни накопления таких элементов как As, Ag, Tb, Yb. Вторым фактор в данном случае объединяет такие элементы как Na, Au.

Судя по характеру выделяемых элементов в крови жителей чрезвычайной и повышенной З.Р.Р. первый фактор, скорее всего, является радиационным [8,17]. По характеру элементов выделяемых в крови жителей максимальной и минимальной З.Р.Р. факторы воздействия на элементный состав крови человека в данных зонах, скорее всего, носят смешанный характер.

Таким образом, по результатам факторного анализа можно сделать вывод, что воздействие дозовых нагрузок на элементный состав крови человека наиболее ярко отражаются при дозовых нагрузках свыше 100 с·Зв. При дозовых нагрузках ниже 100 с·Зв основные факторы нагрузки объединяют как эссенциальные так и радиоактивные и редкоземельные элементы. Возможно, при оценке воздействия дозовых нагрузок ниже 100 с·Зв следует учитывать индивидуальные эффективные эквивалентные дозы облучения. Так, человек, проживающий в повышенной З.Р.Р. в зависимости от его радиационного маршрута (периода проживания на различных З.Р.Р., возраста, профессии, и т.д.) может иметь такую же индивидуальную эффективную эквивалентную дозу облучения, что и человек, проживающий в максимальной и чрезвычайной зонах радиационного риска.

Индивидуальные дозы облучения населения рассчитываются с применением автоматизированной программы для расчета индивидуаль-

Таблица 3. Основные факторы воздействия на элементный состав крови человека, проживающего на территориях с различной дозовой нагрузкой

Параметры	Фактор 1	Фактор 2
	Чрезвычайная зона радиационного риска, свыше 100 с·Зв (п. Бодене, п. Долонь, п. Саржал)	
Элементы, Нагрузка > 0,7	Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Th, U;	Cr, Ag, Cs, Au;
Максимальная зона радиационного риска, от 35 до 100 сЗв. (п. Медеу, п. Канонерка, п. Новопокровка)		
Элементы, Нагрузка > 0,7	Na, Ca, Co, Br, Lu;	Ba;
Повышенная зона радиационного риска, от 7 до 35 сЗв (п. Зенковка)		
Элементы, Нагрузка > 0,7	Cr, Sr, Cs, Ce;	Na, Br, Sb, Ba, La;
Минимальная зона радиационного риска, от 0,1 до 7 сЗв (п. Кокпекты)		
Элементы, Нагрузка > 0,7	As, Ag, Tb, Yb;	Na, Au;

ных доз облучения внедренной в структуру Государственного научного автоматизированного медицинского регистра (ГНАМР) [5]. Информационная база ГНАМР специально создана для регистрации лиц, пострадавших от радиационного воздействия и подвергшихся радиационному облучению в результате радиационных аварий и инцидентов, а также для определения приоритетных мер, направленных на охрану здоровья граждан этих категорий по Республике Казахстан. Каждому лицу, включенному в регистр, присвоен идентификационный код, под которым обобщена регистрационная, медицинская и дозиметрическая информация. Регистрационная информация включает: паспортные данные, возраст, пол, семейное положение, уровень образования, трудовую деятельность, жизненный статус. К медицинским данным относятся: анамнез заболеваний, причины смерти, результаты медико-лабораторных исследований. В настоящее время в Государственном научном автоматизированном медицинском регистре зарегистрировано 352600 человек (лица, непосредственно подвергавшиеся облучению и их потомки, имеющие различный жизненный статус). Информация о лицах, включенных в базу данных регистра, каждый год обновляется. В таблице 4 приведены уровни индивидуальных доз облучения населения, проживающего на территориях, вошедших в наши исследования.

Как видно из таблицы 4, индивидуальные ЭД облучения жителей чрезвычайной и максимальной З.Р.Р. варьируют в пределах 54,1-98,9 с-Зв, за исключением населенного пункта Ново-

покровка, где среднее значение индивидуальных ЭД облучения составляет 9,5 с-Зв. Среднее значение индивидуальных ЭД облучения населения минимальной зоны Р.Р. составляет 0,9 с-Зв.

При оценке уровня взаимосвязи элементного состава крови человека с индивидуальными ЭД облучения следует учитывать, тот факт, что расчет ЭД облучения человека при хроническом воздействии ионизирующего излучения основан на его радиационном маршруте. Радиационный маршрут отражает сроки пребывания респондентов в различных зонах радиационного риска с момента рождения по настоящее время. Следовательно, чем старше возраст человека, тем больше его индивидуальная ЭД облучения (рис. 1).

В целях оценки уровня зависимости элементного состава крови человека от уровней его индивидуальных ЭД облучения был проведен корреляционный анализ. В качестве переменной, зависимой от индивидуальных ЭД облучения человека, был применен суммарный показатель накопления 28 химических элементов в составе его крови. В результате линейные формы зависимости от индивидуальных ЭД облучения был выявлен для основного количества проб крови, отобранных в населенных пунктах Кокпекты, Зенковка и Бодене, а также для некоторых проб крови отобранных в населенном пункте Новопокровка (Н1,Н3,Н7). При этом для основного количества проб крови населенных пунктов Кокпекты и Зенковка соответствуют низкие значения СПН в пределах 0-0,3 мг/кг при низких уровнях ЭД облучения в пределах 0-1

Таблица 4. Индивидуальные дозы облучения респондентов за весь период проживания в исследуемых территориях

Зоны радиационного риска	Населенный пункт	Индивидуальные ЭД, с-Зв
Чрезвычайная зона Р.Р. (свыше 100 сЗв)	Саржал (n=5)	$85,8 \pm 5,5$ $68,6 - 99,0$
	Бодене (n=5)	$74,7 \pm 14,2$ $25,8 - 100$
	Долонь (n=5)	$55,7 \pm 8,3$ $39,0 - 86,7$
Максимальная зона Р.Р. (от 35 до 100 сЗв)	Караул (n=5)	$69,5 \pm 18,4$ $23,8 - 100$
	Медеу (n=5)	$54,1 \pm 13,0$ $12,9 - 87,7$
	Канонерка (n=5)	$98,9 \pm 0,92$ $95,2 - 100$
	Новопокровка (n=10)	$9,5 \pm 1,2$ $0,6 - 15,4$
Повышенная зона Р.Р. (от 7 до 35 сЗв)	Зенковка (n=10)	$6,9 \pm 2,9$ $0,3 - 27,8$
Минимальная зона Р.Р. (от 0,1 до 7 сЗв)	Кокпекты (n=10)	$0,9 \pm 0,2$ $0,3 - 2,9$

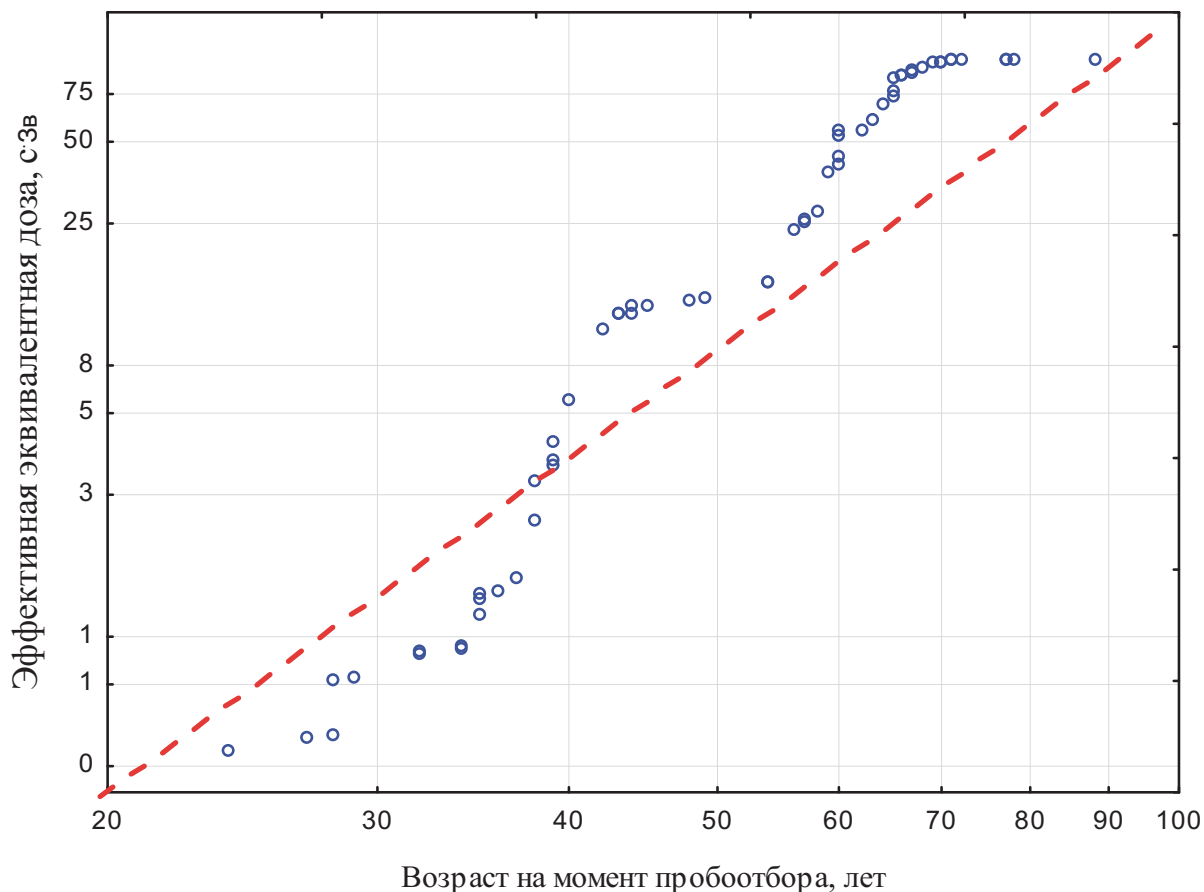


Рис. 1. Зависимость индивидуальных эффективных эквивалентных доз облучения от возраста

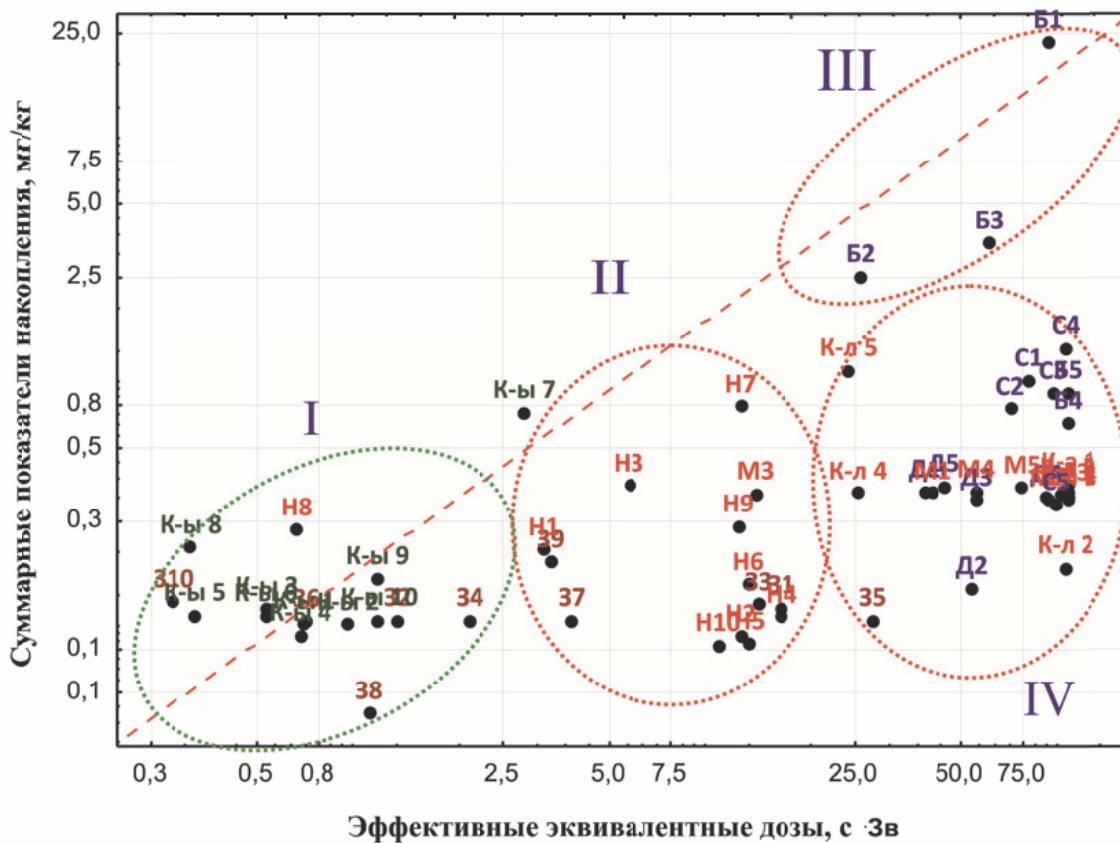


Рис. 2. Ранжирование исследуемых территорий по эффективным эквивалентным дозам облучения и суммарному показателю накопления химических элементов в крови человека

сЗв. Уровни корреляции между сравниваемыми параметрами для данных населенных пунктов составляют $r = 0,89$ и $r = 0,67$ соответственно, при значимости коэффициента корреляции $\leq 0,6$. Для основного количества проб крови населенного пункта Новпокровка характерны СПН в пределах 0,1-0,7 мг/кг при ЭД облучения в пределах 3-15 сЗв ($r=-0,11$). Для основного количества проб крови населенного пункта Бодене характерны сравнительно высокие показатели СПН в пределах 2,5-25 мг/кг при сравнительно высоких уровнях ЭД облучения в пределах 25-80 сЗв ($r=0,85$). Населенные пункты Саржал, Долонь, Канонерка, Медеу и Караул характеризуются значениями СПН в пределах 0,2-0,9 мг/кг при ЭД облучения в пределах 25-100 сЗв ($r=0,17$; $r=-0,02$; $r=0,17$; $r=-0,16$; $r=-0,6$). Таким образом, рассматриваемые населенные пункты можно разделить на IV группы по характеру разброса сравниваемых параметров (рис. 2). При этом, наличие как прямой, так и обратной корреляционной зависимости между суммарными показателями накопления химических элементов в крови и индивидуальными ЭД облучения жителей исследуемых населенных пунктов показывает необходимость учитывания биогеохимической специфики территории проживания человека, что является наиболее объективной оценкой состояния территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, была изучена взаимосвязь элементного состава крови человека с его индивидуальными эффективными эквивалентными дозами облучения на примере крови жителей населенных пунктов, характеризующихся как территории с неравномерной дозовой нагрузкой, сформировавшейся в результате деятельности Семипалатинского испытательного ядерного полигона.

Все значимые различия содержания химических элементов в крови жителей территорий с различной дозовой нагрузкой, за исключением концентрации Fe, выражаются в сравнительно высоких концентрациях в крови жителей чрезвычайной, повышенной и максимальной зонах Р.Р. по сравнению с их концентрациями в крови жителей минимальной зоны радиационного риска. Концентрации Fe в крови жителей сравниваемых зон Р.Р. сравнительно ниже, чем в крови жителей минимальной зоны радиационного риска.

Воздействие дозовых нагрузок на элементный состав крови человека наиболее ярко отражается при ЭД облучения свыше 100 сЗв. При дозах ниже 100 сЗв возможны отражения воздействия как техногенных, так и природных факторов нагрузки на элементный состав крови человека.

Элементный состав крови человека может иметь как прямую, так и обратную корреляционную зависимость от уровней индивидуальных эффективных эквивалентных доз облучения человека, что говорит о том, что при оценке воздействия дозовых нагрузок на организм человека следует учитывать биогеохимическую специфику территории его проживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семиошкина Н.А. Оценка радиологических последствий радиоактивного загрязнения территории Семипалатинского испытательного полигона: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Обнинск, 2002. 104 с.
2. Radiological Situation in the Vicinity of Semipalatinsk Nuclear Test Site: Dolon, Mostik, Cheremushka and Budene Settlements / A. Sakaguchi, M. Yamamoto, M. Hoshi, T. Imanaka, K. N. Apsalikov, B. I. Gusev // Journal of Radiation Research. 2006. № 47. P. A101–A116.
3. The application of retrospective luminescence dosimetry in areas affected by fallout from the Semipalatinsk Nuclear Test Site: an evaluation of potential / I.K. Bailiff, V. F. Stepanenko, H. Y. Göksu, H. Jungner, S. B. Balmukanov, T. S. Balmukanov, L.G. Khamidova, V. I. Kisilev, I. B. Kolyadao, T. V. Kolizhenkov, Y. N. Shoikhet // Health Physics. 2004. № 87. P. 625–641.
4. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Вып. 1, изд. 2. Радиоэкологическое состояние «северной» части территории Семипалатинского испытательного полигона. Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК. Рецензенты: М.С. Панин, В.П. Солодихин. Павлодар: Дом печати, 2011.
5. Липихина А.В. Радиоэкологическая обстановка и оценка дозовых нагрузок от долговременного воздействия радионуклидов в районе Семипалатинского испытательного ядерного полигона (на примере Абайского района) : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2005. 13 с.
6. О влиянии выбросов алюминиевого комбината на элементный состав биосубстратов человека / Л.И. Жук, Г.С. Хаджибаева, А.А. Куст и др. // Гигиена и санитария. 1991. № 10. С. 12-15.
7. Элементный состав крови и волос коренных жителей Севера России с разной биогеохимической средой обитания / К.П. Куценогий, Т.И. Савченко, О.В. Чанкина, Э.Я. Журавская, Л.А. Гырголькау // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. № 18. С. 51-61.
8. Очерки геохимии человека / Н.В. Барановская, Л.П. Рухванов, Т.Н. Игнатова [и др.]. Томск: Дельтаплан, 2015. 377 с.
9. Elinder C.G., Freiberg L. et al. Biological Monitoring of Metals. Geneva: WHO, 1990. 80 p.
10. Pasha Q., Malik S.A., Shah M.H Statistical analysis of trace metals in the plasma of cancer patients versus controls // Journal of Hazardous Materials. 2008. № 153. P. 1215-1221.
11. Hanif S., Ilyas A., Shah M. H. Statistical Evaluation of Trace Metals, TSH and T4 in Blood Serum of Thyroid Disease Patients in Comparison with Controls // Biological Trace Element Research. 2017. № august

2017. P. 1-13.
12. Heitland P., Koster H.D. Biomonitoring of 37 trace elements in the blood samples from inhabitants of northern Germany by ICP-MS // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2006. 20. P. 253-262.
 13. Alterations of serum trace elements in patients with type 2 diabetes / H. Zhang, C. Yanb, Z. Yanga, W. Zhanga, Y. Niua, X. Lia, L. Qina, Q. Sua // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2017. № 40. P. 91-96.
 14. Закон Республики Казахстан от 18 декабря 1992 года № 1787-ХІІ «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне». URL: <http://online.zakon.kz/> (дата обращения 03.02.2018).
 15. Trace element analysis of human blood serum by neutron activation analysis / H. Nakahara, Y. Nagame, Y. Yoshizowa at oth. // *J. of Radioan. Chem.* 1979. Vol. 54, № 12 P. 183 - 190.
 16. Будников Г.К. Определение следовых количеств веществ как проблема современной аналитической химии // *Соросовский образовательный журнал*. 2000. №3. С. 45-51.
 17. Игнатова Т.Н. Элементный состав организма человека и его связь с факторами среды его обитания: Автореф. дис. ... канд. геол.мин.наук. Томск, 2010. 19 с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

1. СИЯП - Семипалатинский испытательный ядерный полигон
2. Зона Р.Р. - Зона радиационного риска
3. НИИ РМ и Э - Научный исследовательский институт радиационной медицины и экологии
4. ЭЭД - эффективные эквивалентные дозы
5. ИНАА - инструментальный нейтронно-активационный анализ
6. ГНАМР - Государственный научный автоматизированный медицинский регистр

INDIVIDUAL EFFECTIVE EQUIVALENT DOSES AND THE ELEMENTAL COMPOSITION OF HUMAN BLOOD

© 2018 M.T. Dzhambaev¹, N.V. Baranovskaya¹, A.V. Lipihina²

¹ National Research Tomsk Polytechnic University

² Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology, Semey, Republic of Kazakhstan

In the article results of researches of elemental structure of a blood of the person at various levels of individual effective equivalent doses of an irradiation, on an example of inhabitants of the territories adjoining to the former Semipalatinsk nuclear test site are resulted. It was revealed that in the blood of residents of compared radiation risk zones compared to the blood of residents with a minimal zone of radiation risk, concentrations of such elements as Na, Ca, Cr, Fe, Co, Br, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Ta, Lu, Au, U have significant differences. All significant differences, with the exception of Fe concentration, are expressed in comparatively high concentrations of these chemical elements in the blood of residents of compared radiation risk zones in comparison with their concentrations in the blood of residents of the minimal radiation risk zone. Fe concentrations in the blood of residents of extreme, maximum and high radiation risk zones are comparatively lower than in the blood of residents of the minimal zone of radiation risk. It was found that the effect of dose loads on the elemental composition of human blood is most clearly reflected at effective equivalent doses above 100 sSv. At doses below 100 sSv, external factors affecting the elemental composition of human blood are both natural and technogenic. The elemental composition of human blood can have both direct and inverse correlation dependence on the levels of individual effective equivalent doses of human irradiation, which suggests that when assessing the effect of dose loads on the human body, it is necessary to take into account the biogeochemical specificity of the territory of its residence.

Keywords: zones of radiation risk, effective equivalent doses of radiation, elemental composition of human blood.

DOI: 10.24411/1990-5378-2018-00013

Merey Jambayev, Post-Graduate at the Geology Department of Engineering School of Natural Resources.

E-mail: merei-semei@mail.ru

Natalia Baranovskaya, Doctor of Biological Sciences, professor at the Geology Department of Engineering School of Natural Resources. E-mail: nata@tpu.ru

Alexandra Lipikhina, Candidate of Biological Sciences, Senior Research Fellow. E-mail: a.v.lipikhina@mail.ru