

**Б.А. Кухта, Н.Н. Кононыкина, В.И. Краснюк, А.А. Молоканов,
А.Г. Цовьянов, В.Н. Яценко, П.П. Ганцовский, Е.О. Грановская,
О.А. Касимова, А.С. Кретов**

**ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ И ЭКСПЕРТИЗА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ
ПРИГОДНОСТИ ПРИ АЛИМЕНТАРНОМ ПОСТУПЛЕНИИ ЦЕЗИЯ-137**

**B.A. Kukhta, N.N. Kononykina, V.I. Krasnyuk, A.A. Molokanov,
A.G. Tsovyanov, V.N. Yatsenko, P.P. Gantsovsky, E.O. Granovskaya,
O.A. Kasymova, A.S. Kretov**

**Assessment of the Dose and the Occupational Suitability in Case
of Ingestion Intake of Cesium-137**

РЕФЕРАТ

Представлены результаты разных видов биофизических обследований (измерения содержания ^{137}Cs в теле на спектрометре излучения человека и в пробах экскретов) для случая с алиментарным поступлением цезия и стронция на производстве. Проведена оценка уровней поступления и ожидаемой эффективной дозы. Продемонстрировано совпадение дозиметрических оценок, полученных на основании результатов измерений содержания ^{137}Cs в теле и пробах мочи. Сделан вывод о непревышении предельных значений основных нормируемых величин.

Ключевые слова: цезий-137, алиментарное поступление, спектрометр излучения человека, биофизические методы, дозы внутреннего облучения, основные дозовые пределы

ABSTRACT

The results of different bioassays (measurements of ^{137}Cs content in the body using whole-body counter and in excreta samples) in the case of ingestion intake of cesium and strontium at workplace are presented. Intake and committed effective dose have been assessed. Coincidence of the dose estimates based on measurements of ^{137}Cs content in the body and in urine samples has been demonstrated. It's concluded that the limit values of the basic standardized parameters were not exceeded.

Key words: cesium-137, ingestion intake, whole-body counter, bioassay, internal doses, basic dose limits

Больная С., 1971 г.р., находилась на обследовании и лечении в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2010 г. Была госпитализирована на основании результатов первичного обследования, проведенного сразу после того, как при прохождении радиационного контроля по окончании рабочего дня был зафиксирован повышенный уровень гамма-излучения тела (при отсутствии поверхностного загрязнения). По результатам анализа сопутствующих обстоятельств было сделано предположение о пероральном поступлении в организм радионуклида ^{137}Cs . При входном осмотре отклонений в соматическом статусе пациентки не отмечалось.

Для ускорения выведения радиоцезия из организма больной С. был назначен прием внутрь ферроцина в дозе по 1,0 г 4 раза в день. Результаты исследований по оценке эффективности ферроцина при инкорпорации цезия, а также предварительные результаты биофизических исследований для данного случая приведены в работах [1, 2].

С целью проведения оценок уровней поступления и значений ожидаемой эффективной дозы (ОЭД) в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна был проведен необходимый комплекс биофизических обследова-

ний. Поскольку для оценок ОЭД при поступлении γ -излучающих радионуклидов в организм определяющими являются результаты измерений активности в организме с использованием установок СИЧ — спектрометров излучения человека [3], были проведены соответствующие исследования. Кроме того, измерялись уровни активности ^{137}Cs , выводящегося с мочой и калом, а также содержащегося в крови. Для получения информации о возможных уровнях поступления α - и β -излучающих радионуклидов был выполнен радиохимический анализ проб мочи и кала на содержание урана, плутония и ^{90}Sr . Вышеупомянутые измерения выполнялись с использованием следующей аппаратуры:

- содержание ^{137}Cs в теле — на спектрометре гамма-излучения с высокочувствительным коаксиальным германиевым детектором GC 10021 (Canberra Industries Inc., США) и анализатором спектров DSA-1000 (Canberra Industries Inc., США);
- содержание ^{137}Cs в пробах мочи, кала и крови — на гамма-спектрометре InSpector-2000 с полупроводниковыми детекторами BE3830 из сверхчистого германия (Canberra Industries Inc., США);

- содержание ^{90}Sr в пробах мочи — на бета-спектрометре «Прогресс» (ООО НТЦ «Амплитуда», Россия);
- содержание α -излучающих радионуклидов в пробах мочи — на сцинтилляционном альфа-радиометре «Прогресс-БИО» (ООО НТЦ «Амплитуда», Россия) и радиометре-спектрометре альфа-излучения Alpha Analyst с пассивированными ионно-имплантированными планарными кремниевыми детекторами (PIPS-детекторами) площадью 1200 мм² (Canberra Industries Inc., США);

Радиохимический анализ и измерения проводился согласно следующим методикам:

- содержание ^{137}Cs в теле — согласно [4];
- содержание ^{137}Cs в пробах мочи, кала и крови — [5];
- содержание ^{90}Sr в пробах мочи — [6, 7];
- содержание α -излучающих радионуклидов в пробах мочи — [8, 9].

Кроме того, для дозиметрических оценок были использованы результаты аналогичных измерений, выполненных (до госпитализации больной С. в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России) в Центре гигиены и эпидемиологии (ЦГиЭ), обслуживающем предприятие, на котором до инцидента работала данная больная.

При измерениях на установке СИЧ на 15-й день после предполагаемого поступления радиоактивного вещества было зарегистрировано содержание ^{137}Cs в теле больной в количестве (2820 ± 20) кБк. Ежесуточное выведение ^{137}Cs с мочой на 11–14 сут после предполагаемого поступления было зарегистрировано на уровнях 17000–21000 Бк/сут (спектр приведен на рис. 1). Содержание радионуклида ^{137}Cs в пробах крови составило порядка 14–20 Бк/г (спектр приведен на рис. 2).

При выполнении бета-спектрометрических измерений на 9–10 сут после предполагаемого поступле-

ния было зарегистрировано ежесуточное выведение радионуклида ^{90}Sr из организма на уровнях 270–390 Бк (погрешность измерений — порядка 10 %).

Для α -излучающих радионуклидов были получены значения содержания их в пробах мочи на уровне фоновых для населения (для урана) или фона реактивов (для плутония).

Вышеприведенные результаты согласуются с полученными в ходе ранее выполненных в ЦГиЭ обследований.

Полученные при биофизических обследованиях данные о содержании радиоцезия и радиостронция в организме и отобранных биологических пробах позволили выполнить оценку уровней поступления и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения для пациента в предположении алиментарного характера поступления. Такая оценка была проведена с использованием программного обеспечения (ПО) MONDAL 3 [10]. Процедура оценки доз реализована в данном ПО с использованием моделей биокинетики стронция и цезия согласно Публикации 56 МКРЗ [11], а также значений некоторых биокинетических параметров согласно Публикациям 30 и 68 МКРЗ [12, 13]. Используемые значения дозовых коэффициентов применялись согласно базе данных дозовых коэффициентов МКРЗ [14].

Следует отметить, что, согласно кинетике накопления ОЭД [14], за первый год после перорального поступления радионуклида ^{137}Cs накопится 92 %, а после поступления радионуклида ^{90}Sr — 24 % пожизненной дозы. Иными словами, в случае поступления в организм радиоцезия алиментарно практически вся доза будет реализована за первый год.

Оцененные на основании результатов измерений содержания в организме с использованием установок СИЧ значения уровней поступления и ОЭД будут равны для ^{137}Cs — порядка $3,5 \times 10^6$ Бк и 45 мЗв соответственно. Аналогичные оценки на основании

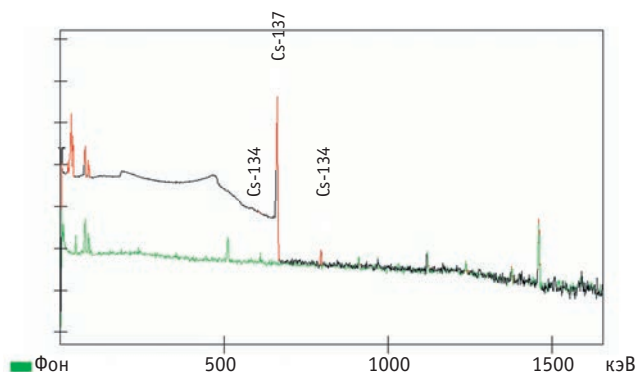


Рис. 1. Спектр гамма-излучения пробы мочи больной С. (12-е сут после поступления). Содержание радионуклида ^{137}Cs в пробе — $(15,0 \pm 0,6)$ Бк/мл, ^{134}Cs — $(2,8 \pm 0,3) \times 10^{-3}$ Бк/мл.ч

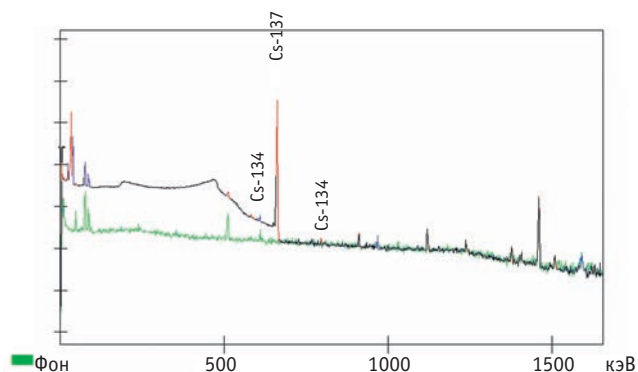


Рис. 2. Спектр гамма-излучения пробы крови больной С. (12-е сут после поступления). Содержание радионуклида ^{137}Cs в пробе — $(16,8 \pm 0,4)$ Бк/г, ^{134}Cs — $(3,7 \pm 0,5) \times 10^{-3}$ Бк/г

результатов измерений ^{137}Cs в моче составляют: поступление — $3,7 \times 10^6$ Бк; ОЭД — 48 мЗв. Таким образом, наблюдается хорошее согласие между оценками, выполненными на основании результатов измерений содержания ^{137}Cs в теле и в экскретах (моче). При этом, как было отмечено выше, более достоверными являются оценки ОЭД, основанные на результатах прямых измерений, полученных на установках СИЧ. Эти оценки и были использованы в дальнейшем. Оцененные значения уровней поступления и ОЭД от ^{134}Cs пренебрежимо малы. Для ^{90}Sr оценки ОЭД по результатам измерений содержания данного радионуклида в суточных пробах мочи составят 2–3 мЗв. По данным службы РБ предприятия, значение дозы, накопленной до инцидента с начала года — 1,4 мЗв. Следовательно, превышение полученным значением суммарной годовой дозы внешнего и внутреннего облучения над уровнем 50 мЗв не зафиксировано. Сформированная доза внутреннего облучения будет практически полностью обусловлена радионуклидом ^{137}Cs . При этом следует учитывать, что в соответствии с современными подходами, по определению, при внутреннем облучении, накопленная за 50 лет доза формально приписывается году, в котором произошло поступление. В действительности же, в данном случае, доза внутреннего облучения, накопленная в течение первого года после поступления, ненамного превысит 40 мЗв.

Таким образом, в результате проведенных биофизических обследований больной С., участницы своевременно зарегистрированного инцидента с алиментарным поступлением радиоцезия на производстве, были оценены уровни поступления и ожидаемой эффективной дозы. Установлено, что положение о предельных значениях основных нормируемых величин «20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год», содержащееся в таб. 3.1 п 3.1.2 НРБ-99/2009 [15], не нарушается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснюк В.И., Яценко В.Н., Касьмова О.А. и соавт. Об эффективности ферроцина при инкорпорации цезия. // Актуальные проблемы токсикологии и радиобиологии: Тезисы докладов Российской научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 19–20 мая 2011 г. — СПб: ООО «Издательство Фолиант», 2011, С. 232.
2. Краснюк В.И., Яценко В.Н., Касьмова О.А. и соавт. Поступление цезия и стронция в организм человека в результате несчастного случая на производстве // Материалы X Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье», Москва, 6–8 декабря 2011 г. — М.: Изд-во «Дельта», 2011, С. 257–258.
3. ISO 20553:2006. Radiation protection — Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material. — Geneva: ISO, 2006, 22 pp.
4. Цезий-137. Спектрометрический метод определения активности в теле человека. Стандарт ГНЦ РФ-ИБФ СТП 2.6.1.018-99. — М.: ГНЦ-ИБФ, 1999, 13 с.
5. ГСИ. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре: рекомендация. — М.: ВНИИФТРИ, 1991, 18 с.
6. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс» — М.: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2004, 27 с.
7. МУК 2.6.1.06-2005. Методика выполнения измерений активности стронция-90 в моче при аварийных ситуациях на бета-спектрометрических комплексах с пакетом программ «Прогресс». — М.: ФГУП ГНЦ-ИБФ, 2005, 17 с.
8. МУК 2.6.1.059-2004 / ФР.1.31.2011.10342. Методика выполнения измерений активности урана спектрометрическим методом после экстракционно-хроматографического выделения из проб мочи. Методические указания по методам контроля. — М.: ФГУП ГНЦ-ИБФ, 2005, 28 с.
9. МУК 2.6.1.020-07 / ФР.1.31.2011.10344. Рекомендации. Методика выполнения измерений активности плутония радиометрическим методом после экстракционно-хроматографического выделения из проб мочи. Методические указания по методам контроля. — М.: ФГУП ГНЦ-ИБФ, 2005, 20 с.
10. Ishigure N., Matsumoto M., Nakano T., Enomoto H. Development of software for internal dose calculation from bioassay measurements. // Radiat. Prot. Dosimetry, 2004, **109**, No. 3, P. 235–242.
11. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides — Part 1. ICRP Publication 56. // Ann. ICRP, 1990, **20**, No. 2, 122 pp.
12. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 — Part 1. // Ann. ICRP, 1979, **2**, No. 3/4, 116 pp.
13. Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 68. // Ann. ICRP, 1994, **24**, No. 4, 83 pp.
14. ICRP CD1. Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public. // Ann. ICRP, 1996, **26**, No. 1, 91 pp.
15. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009, 100 с.

Поступила: 10.12.2014

Принята к публикации: 19.12.2014