DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-4-33-42

Отдалённые последствия поступления радиоцезия с продуктами местного производства в организм жителей территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в период атмосферных ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне

Мешков Н.А.

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации
(ФГБУ «ЦСП» Минздрава России), Москва

Территория и население Республики Алтай неоднократно подвергались радиационному воздействию в период ядерных испытаний в атмосфере на Семипалатинском полигоне (1949-1962 гг.). После завершения атмосферных ядерных испытаний внешнее облучение населения на территориях, подвергшихся загрязнению продуктами ядерного деления, практически отсутствовало, и дозы формировались в основном за счёт поступления ^{137}Cs в организм человека с пищевыми продуктами местного производства (мясо, молоко, хлеб и картофель). Цель исследования – оценка радиологических последствий для здоровья населения Республики Алтай в разные периоды после завершения атмосферных испытаний ядерных устройств на Семипалатинском испытательном полигоне. Выполнен анализ динамики удельной активности ^{137}Cs в пищевых продуктах, произведённых на территории Республики Алтай и Алтайского края в 1966-1985 гг. Рассчитаны индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения взрослого населения Республики Алтай и Алтайского края за счёт поступления ^{137}Cs с рационом питания и прогноз отдалённых радиологических последствий для населения Республики Алтай. Вклад внутреннего облучения в формирование отдалённых последствий за счёт поступления в организм ^{137}Cs в 1975-1985 гг. составлял 2,6%, в 2001-2010 гг. – 0,6%.

Ключевые слова: ядерные испытания, Семипалатинский полигон, Республика Алтай, пищевые продукты местного производства, удельная активность ^{137}Cs , темпы роста удельной активности, поступление ^{137}Cs в организм, средние индивидуальные годовые эффективные дозы, радиологические последствия, вклад внутреннего облучения.

Введение

Территории Республики Алтай (РА) и Алтайского края (АК) подвергались радиоактивному загрязнению в период атмосферных испытаний ядерных устройств на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) [1-4].

После завершения атмосферных ядерных испытаний (АЯИ) внешнее облучение населения на территориях, подвергшихся загрязнению продуктами ядерного деления, практически отсутствовало, и дозы формировались в основном за счёт поступления ^{137}Cs в организм человека с пищевыми продуктами местного производства животного и растительного происхождения (мясо, молоко и зерновые) [5-7]. Удельная активность ^{137}Cs в литре коровьего молока составляла 0,8-1,1% от суточного поступления [8]. Поступление ^{137}Cs с молоком и мясом в организм жителей Семипалатинской области (Казахстан), проживающих вблизи СИП, составляло соответственно 77,0 и 75,1 Бк/год [9].

Цель исследования – оценка радиологических последствий для здоровья населения Республики Алтай в разные периоды после завершения атмосферных испытаний ядерных устройств на Семипалатинском испытательном полигоне.

Материалы и методы

Содержание ^{137}Cs в пищевых продуктах изучали по данным радиационного контроля, выполнявшегося радиологической группой СЭС Алтайского края [5, 7, 10]. Динамику удельной активности ^{137}Cs в хлебе, молоке, картофеле и мясе, произведённых и выращенных на территории Алтайского края и Горного Алтая в 1966-1985 гг., анализировали методом экспоненциального сглаживания, а также по темпам роста, рассчитанным для периодов 1965-68, 1972-76, 1977-80 и 1981-85 гг., то есть, спустя 4 года, 10, 15 и 20 лет после прекращения АЯИ на СИП.

Прогноз радиологических последствий радиационного воздействия на население Республики Алтай выполнен в соответствии с Публикацией 103 МКРЗ [11].

Результаты и обсуждение

Средняя удельная активность ^{137}Cs в основных пищевых продуктах (хлеб, мясо, молоко, картофель), произведённых на территории Республики Алтай и Алтайского края в разные периоды – через 4, 10, 15 и 20 лет после завершения АЯИ, представлена в табл. 1.

Таблица 1

Средняя удельная активность ^{137}Cs в пищевых продуктах, Бк/кг

Период, годы	x (max-min)			
	хлеб	мясо	молоко	картофель
РА 1965-68	1,34 (0,59-2,59)	1,62 (0,92-2,92)	0,59 (0,30-1,00)	н/д
АК 1965-68	1,47 (0,63-2,96)	1,23 (0,64-1,92)	н/д	н/д
РА 1972-76	0,27* (0,15-0,41)	0,25* (0,12-0,36)	0,26 (0,04-0,63)	0,12 (-0,04-0,27)
АК 1972-76	0,21 (0,04-0,41)	0,19 (0,08-0,28)	н/д	0,06 (0,02-0,10)
РА 1977-80	0,11 (0,04-0,19)	0,49 (0,24-0,80)	0,27* (0,19-0,37)	0,28* (0,20-0,36)
АК 1977-80	0,08 (0,04-0,11)	0,40 (0,28-0,56)	н/д	0,06 (0,01-0,12)
РА 1981-85	0,04 (0,04-0,07)	0,35* (0,08-0,60)	0,06 (0,04-0,11)	0,06* (0,02-0,10)
АК 1981-85	0,06 (0,04-0,07)	0,26 (0,12-0,40)	н/д	0,06 (0,02-0,10)

Примечание: * – $p < 0,05$.

Как видно из табл. 1, статистически значимое снижение содержания ^{137}Cs наблюдалось в Республике Алтай в хлебе и мясе соответственно в 4,9 и 6,5 раза ($p < 0,02$), в молоке – в 2,3 раза ($p < 0,09$). В 1981-85 гг. снижение содержания ^{137}Cs в молоке по сравнению с 1977-80 гг. составило 4,5 раза ($p < 0,02$). Содержание ^{137}Cs в хлебе продолжало снижаться и в последующем, но различия между удельной активностью этого радионуклида в изучаемых периодах не достигало достоверных значений. Активность ^{137}Cs в 1977-80 гг. возросла в 2,4 раза ($p < 0,09$), но в 1981-85 гг. снизилась в 4,9 раза ($p < 0,02$).

В Алтайском крае снижение содержания ^{137}Cs в хлебе и мясе в 1972-76 гг. по сравнению с предыдущим периодом составило 7,1 и 6,4 раза ($p < 0,04$). Активность ^{137}Cs в хлебе продолжала снижаться и в 1977-80 гг. ($p > 0,05$), но в мясе его содержание возросло более чем в 2 раза ($p < 0,03$). Различия по удельной активности ^{137}Cs в этих продуктах в следующем периоде (1981-85 гг.) не были значимыми.

Динамика средней удельной активности ^{137}Cs в изучаемых пищевых продуктах в Республике Алтай и Алтайском крае показана на рис. 1 и 2.

Рис. 1. Динамика средней удельной активности ^{137}Cs в основных пищевых продуктах (хлеб, мясо, молоко, картофель), произведённых на территории Республики Алтай в разные периоды после завершения ядерных испытаний в атмосфере.

Рис. 2. Динамика средней удельной активности ^{137}Cs в основных пищевых продуктах (хлеб, мясо, картофель), произведённых на территории Алтайского края в разные периоды после завершения ядерных испытаний в атмосфере.

На рис. 1 и 2 показана аппроксимация динамики активности ^{137}Cs в основных пищевых продуктах с помощью трендовых моделей, уравнения которых и коэффициенты достоверности аппроксимации (R^2) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Уравнения аппроксимации динамики спада активности ^{137}Cs в пищевых продуктах, произведённых на территории Республики Алтай и Алтайского края, и коэффициенты достоверности аппроксимации

Пищевые продукты	Республика Алтай	R^2	Алтайский край	R^2
Хлеб	$y = 1,3976x^{2,43}$	$R^2 = 0,998$	$y = 1,2976x^{2,374}$	$R^2 = 0,982$
Мясо	$y = -0,881\ln(x) + 1,3772$	$R^2 = 0,693$	$y = 0,8647x^{-0,979}$	$R^2 = 0,529$
Молоко	$y = -0,351\ln(x) + 0,573$	$R^2 = 0,915$	–	–
Картофель	$y = 0,3633e^{-0,357x}$	$R^2 = 0,204$	$y = 0,0617e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,009$

Примечание: x – годы.

Как видно из табл. 2, снижение активности ^{137}Cs в хлебе в Республике Алтай и Алтайском крае с высокой степенью соответствия исходным данным ($R^2=0,998$ и $R^2=0,982$) аппроксимируется степенными трендовыми моделями. Степень аппроксимации динамики активности ^{137}Cs в мясе в Республике Алтай и Алтайском крае аппроксимируется соответственно логарифмической и степенной трендовыми моделями, соответствие которых исходным данным значительно ниже – $R^2=0,693$ и $R^2=0,529$. Спад активности ^{137}Cs в молоке на территории с высокой степенью соответствия исходным данным аппроксимируется логарифмической трендовой моделью ($R^2=0,915$). Коэффициент достоверности аппроксимации снижения активности ^{137}Cs в картофеле в Республике Алтай экспоненциальной трендовой моделью составляет $R^2=0,204$, а в Алтайском крае трендовая модель не соответствует исходным данным – $R^2=0,009$.

Относительно низкая степень соответствия уравнений аппроксимации динамики активности ^{137}Cs в мясе, возможно, обусловлена разным видом кормов и продолжительностью пастбищного содержания скота в изучаемых периодах. Несоответствие трендовых моделей исходным данным спада активности ^{137}Cs в картофеле – их отсутствием за период 1965-68 гг.

Динамика поступления ^{137}Cs в организм жителей Республики Алтай и Алтайского края с хлебом, мясом, молоком и картофелем, произведёнными на территории Республики Алтай и Алтайского края в разные периоды после завершения ядерных испытаний в атмосфере, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Поступление ^{137}Cs в организм жителей Республики Алтай и Алтайского края с пищевыми продуктами местного производства, Бк/год

Период, годы	x (max-min)			
	хлеб	мясо	молоко	картофель
РА 1965-68	313,3 (-42,2-668,9)	118,3 (8,5-228,1)	108,0 (10,0-206,1)	н/д
АК 1965-68	174,5 (-76,7-425,7)	55,2 (6,14-104,3)	н/д	н/д
РА 1972-76	64,0* (26,35-101,6)	18,1* (8,7-27,5)	47,3 (-4,8-99,3)	17,3 (-5,2-39,7)
АК 1972-76	28,7 (-0,32-57,8)	9,8 (4,9-14,7)	н/д	10,2 (3,1-17,2)
РА 1977-80	24,2 (5,0-43,4)	35,6 (13,5-57,7)	48,6* (30,4-66,8)	42,1* (30,1-54,1)
АК 1977-80	11,6 (3,73-19,4)	20,4 (10,9-30,0)	н/д	11,1 (1,4-20,8)
РА 1981-85	10,4 (5,6-15,2)	25,7* (6,8-44,6)	10,8 (3,3-18,3)	8,5* (2,6-14,5)
АК 1981-85	8,2 (4,7-11,7)	13,5 (6,9-20,1)	н/д	10,1 (3,1-17,0)

Примечание: * – $p < 0,05$.

Из табл. 3 видно, что статистически значимые различия поступления ^{137}Cs в организм населения Республики Алтай и Алтайского края с хлебом, мясом, молоком и картофелем по периодам аналогичны приведённым в табл. 1.

При сравнении Республики Алтай с Алтайским краем по поступлению ^{137}Cs в организм населения с указанными продуктами установлено, что в 1977-80 гг. активность ^{137}Cs , поступающего в организм населения Республики Алтай, в 3,8 раза ($p < 0,02$) превышала поступление этого радионуклида в организм населения Алтайского края.

Средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения взрослого населения Республики Алтай и Алтайского края, сформировавшиеся за счёт продуктов местного производства (хлеб, мясо, молоко, картофель), рассчитывались для 1975-85 гг. – периода относительно стабильного уровня поступления радиоцезия в организм до аварии на Чернобыльской АЭС. Полученные величины сравнивались с дозами облучения взрослого населения этих территорий в 2001-2010 гг. по данным [12] за вычетом доз за счёт природных радионуклидов (ПРН) и ^{90}Sr (табл. 4).

Таблица 4

Средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения взрослого населения Республики Алтай и Алтайского края за счёт поступления ^{137}Cs в организм с хлебом, молоком, мясом и картофелем, мЗв/год

Территории	Доза, мЗв/год (95% ДИ)	
	1975-1985 гг.	2001-2010 гг.*
Республика Алтай	0,052 (0,091-0,128)	0,012 (0,008-0,026)
Алтайский край	0,027 (0,017-0,059)	0,020 (0,012-0,040)

Примечание: * – дозы, приведённые в [12], без дозы за счёт ПРН+ ^{90}Sr .

Из табл. 4 видно, что индивидуальные годовые эффективные дозы облучения взрослого населения в Республике Алтай в 2001-2010 гг. в 4,3 раза меньше, чем в предыдущем периоде. В Алтайском крае – соответственно в 1,4 раза.

Полученные результаты сравнивали со среднегодовой дозой облучения жителей села Большой Балчуг, расположенного в зоне наблюдения Горно-химического комбината, сформировавшейся за счёт аналогичных продуктов. Она составила в 2016 г. 0,061 мЗв/год [13], что выше доз облучения в Республике Алтай и Алтайском крае в 2001-2010 гг. – соответственно в 3,6 и 2,3 раза.

Прогнозное число случаев смерти по причине рака и прогнозное число случаев наследственных патологий вычислялось как произведение соответствующих коэффициентов риска [11] на коллективную дозу, рассчитанную для жителей Республики Алтай [7], подвергшихся радиационному воздействию в период АЯИ, по дозам внутреннего облучения при поступлении ^{137}Cs в организм взрослого населения с пищевыми продуктами местного производства (хлеб, мясо, молоко, картофель) в 1975-1985 гг. (I-й период) и в 2001-2010 гг. (II-й период).

Прогноз отдалённых последствий внутреннего облучения взрослого населения Республики Алтай при поступлении ^{137}Cs с основными продуктами питания представлен в табл. 5.

Таблица 5

**Прогноз отдалённых последствий облучения населения Республики Алтай
в результате ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне вследствие
поступления ^{137}Cs в организм взрослого населения с основными продуктами
питания местного производства**

Территории	Отдалённые последствия					
	Злокачественные новообразования		Наследственная патология		Всего	
	Периоды					
	I	II	I	II	I	II
г. Горно-Алтайск	10	2,2	0,2	0,1	10	2,3
Майминский район	4	0,9	0,1	0,04	4	0,9
Шебалинский район	2	0,5	0,1	0,02	2	0,5
Онгудайский район	2	0,4	0,05	0,02	2	0,4
Усть-Канский район	3	0,6	0,1	0,03	3	0,6
Усть-Коксинский район	2	0,4	0,04	0,02	2	0,4
Улаганский район	2	0,4	0,04	0,02	2	0,4
Кош-Агачский район	1	0,3	0,03	0,01	1	0,3
Турочакский район	1	0,3	0,03	0,01	1	0,3
Чойский район	0,4	0,1	0,01	0,01	0,5	0,1
Всего в РА	26,0	6,1	0,6	0,3	27,0	6,2

Из табл. 5 видно, что к 2001-2010 гг. прогнозируемые последствия внутреннего облучения за счёт поступления в организм взрослого населения Республики Алтай ^{137}Cs , содержащегося в основных пищевых продуктах местного производства, снизились в 4,3 раза.

Вклад внутреннего облучения в формирование отдалённых последствий в Республике Алтай за счёт поступления в организм ^{137}Cs с основными продуктами питания в 1975-1985 гг. составлял 2,6%, в 2001-10 гг. – 0,6%.

Сравнение уровней годового поступления ^{137}Cs с основными продуктами питания с пределом годового поступления (ПГП) для критических групп населения в 1970-80-х гг. согласно НРБ-76/87 [14] показало, что реализовавшееся годовое поступление в организм взрослого населения Республики Алтай и Алтайского края составляет для ^{137}Cs немногим более 0,04% ПГП, а при сравнении с ПГП в НРБ-99/2009 [15] – 0,24-0,25% ПГП, что значительно ниже допустимого уровня.

Выводы

1. Выраженное снижение удельной активности ^{137}Cs наблюдалось до 1977 г. в Республике Алтай в хлебе, мясе и молоке – соответственно в 12,9 раза, в 3,3 и 2,2 раза, в Алтайском крае в хлебе и мясе – в 17,6 и 3,1 раза. В последующие годы уровень удельной активности ^{137}Cs в мясе и молоке в Республике Алтай оставался стабильным вплоть до 1985 г.

2. Динамика активности ^{137}Cs в хлебе и молоке в Республике Алтай с высокой достоверностью аппроксимируется экспоненциальной моделью – соответственно $R^2=0,967$ и $R^2=0,856$. В Алтайском крае коэффициент достоверности аппроксимации динамики ^{137}Cs в хлебе составляет $R^2=0,892$. Степень соответствия модели динамике активности этого радионуклида в мясе на обеих территориях составляет $R^2=0,382$, в картофеле в Республике Алтай и Алтайском крае –

соответственно $R^2=0,204$ и $R^2=0,009$, что может быть обусловлено разным видом кормов и продолжительностью пастбищного содержания скота в изучаемых периодах, а в картофеле – отсутствием данных за период 1965-68 гг.

3. Поступление ^{137}Cs в организм взрослого населения Республики Алтай в 1977-80 гг. в 3,8 раза превышало его поступление в организм жителей Алтайского края ($p<0,02$). Индивидуальные годовые эффективные дозы облучения взрослого населения в Республике Алтай в 2001-2010 гг. снизились по сравнению с 1975-85 гг. в 4,3 раза, в Алтайском крае – в 1,4 раза.

4. Прогнозируемые радиологические последствия (злокачественные новообразования и наследственные эффекты) вследствие внутреннего облучения ^{137}Cs , поступившего в организм взрослого населения Республики Алтай с местными пищевыми продуктами, могли составить в 1975-1985 гг. 27 случаев, что в 4,3 раза превышает аналогичные последствия в 2001-2010 гг. Вклад внутреннего облучения в формирование отдалённых последствий за счёт поступления в организм ^{137}Cs в 1975-1985 гг. составлял 2,6%, в 2001-10 гг. – 0,6%.

Литература

1. **Цыб А.Ф., Степаненко В.Ф., Питкевич В.А., Испенков Е.А., Севаньяев А.В., Орлов М.Ю., Дмитриев Е.В., Сарапульцев И.А., Жигарева Т.Л., Прокофьев О.Н., Обухова О.Л., Беловодский Л.Ф., Каримов В.М., Резонтов В.А., Матущенко А.М., Катков А.Е., Вялых В.Н., Смагулов С.Г., Мешков Н.А., Салеев А.А., Вильданов С.Э.** Вокруг Семипалатинского полигона: радиоэкологическая обстановка, дозы облучения населения в Семипалатинской области (по материалам отчёта межведомственной комиссии) // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 1990. Т. 35, № 12. С. 3-11.
2. **Мешков Н.А., Жияев Е.Г., Вальцева Е.А., Галин Л.Л.** Экологические и медико-биологические последствия воздействия ядерных испытаний на территорию и население Республики Алтай / под ред. А.Ф. Цыба, И.М. Чижа. М.: Воентехиниздат, 1999. 144 с.
3. **Мешков Н.А., Вальцева Е.А., Аветисов Г.М., Иванов В.К., Казаков С.В.** Медико-социальные последствия ядерных испытаний. М.: Воентехиниздат, 2003. 398 с.
4. **Гордеев К.И., Балуев О.Т., Даренская Н.Г., Логачев В.А., Мешков Н.А., Орлов М.Ю., Прокофьев О.Н., Ронкин Г.С., Старинский В.В., Сусков И.И., Тер-Сааков А.А., Герасименко Н.Ф., Германенко В.С., Киселев В.И., Шойхет Я.Н., Демин В.Ф., Иванов Е.В., Матущенко А.М., Цыб А.Ф.** Концепция реабилитации населения и нормализации экологической, санитарно-гигиенической, медико-биологической и социально-экономической ситуации в населённых пунктах Алтайского края, расположенных в зоне влияния ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне // Вестник научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай». 1995. № 3. С. 11-15.
5. **Вальцева Е.А., Мешков Н.А.** Содержание радиоцезия в основных пищевых продуктах в районе населения Республики Алтай // Ползуновский вестник. 2009. № 4. С. 227-233.
6. **Мешков Н.А.** Радиационно-гигиеническая оценка доз облучения населения Республики Алтай при различных путях поступления ^{137}Cs в организм // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: сб. докладов IV Международной конференции, 4-8 июня 2013 г. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. С. 365-367.
7. **Мешков Н.А., Вальцева Е.А., Иванов С.И., Пузанов А.В.** Радиоэкологические и медико-биологические последствия радиационного воздействия. СПб: Наука, 2012. 234 с.
8. Радиоактивность и пища человека / под ред. Р. Рассела: пер. с англ. под ред. Р.М. Алексахина, Ф.А. Тихомирова, В.М. Клечковского. М.: Атомиздат, 1971. С. 232-256.
9. **Айтматов М.Б., Кубатбеков Т.С., Малгаждаров М.С.** Эколого-физиологические аспекты длительного воздействия малых доз радиации на организм овец // Теоретические и прикладные проблемы промышленного комплекса. 2013. Т. 14, № 1. С. 37-38.
10. Радиационно-гигиеническая оценка условий проживания населения Республики Алтай в зонах радиоактивных выпадений и разработка мероприятий по их улучшению: Отчёт СПб НИИРГ / Научн. рук. В.А. Колотвин. СПб, 1993. 52 с.
11. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 // Ann. ICRP. 2007. V. 37, N 2-4. P. 1-332.
12. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2010 году: Информационный сборник. СПб: НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2012. 68 с.
13. **Федотова А.С.** Оценка дозы облучения в населённом пункте зоны наблюдения горно-химического комбината // Вестник КрасГАУ. 2016. № 2 (113). С. 61-68.
14. Нормы радиационной безопасности (НРБ-76/87). Основные санитарные правила ОСП-72/87. Минздрав СССР. М.: Энергоатомиздат, 1988. 160 с.
15. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

Late effects of dietary radiocesium intake in residents of territories contaminated with radionuclides following atmospheric nuclear testings in the Semipalatinsk Test Site

Meshkov N.A.

Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks
of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow

The Altai Republic and its population were repeatedly exposed to radiation following atmospheric nuclear testings carried out in the Semipalatinsk test site between 1949 over 1962. After the testings completion the residents of the affected territories were exposed mainly to internal radiation due to intake of local food – meat, milk, bread and potato – contaminated with ^{137}Cs . In the article we present estimates of health effects of the radiological events on population of the Altai Republic made in different times after the completion of the nuclear testings in the Semipalatinsk Test Site. For the research on ^{137}Cs specific activity in the local food stuff produced in the Altai Republic and the Altai Krai from 1966 over 1985 was measured and analyzed. Annual individual effective doses from dietary radiocesium intake received by adult Altai residents were calculated, prognosis for late health effects of the testings on population of the Altai Republic was assessed. According to estimates effect of internal exposure on late health effects reduced from 2.6% (1975-1985) to 0.6% (2001-2010).

Keywords: nuclear testings, Semipalatinsk Test Site, the Altai Republic, local food, ^{137}Cs specific activity, rate of growth specific activity, ^{137}Cs intake, mean individual annual effective doses, health effects, contribution of internal exposure.

References

1. Tsyb A.F., Stepanenko V.F., Pitkevich V.A., Ispenkov E.A., Sevan'kaev A.V., Orlov M.Yu., Dmitriev E.V., Sarapul'tsev I.A., Zhigareva T.L., Prokof'ev O.N., Obukhova O.L., Belovodskiy L.F., Karimov V.M., Rezontov V.A., Matushchenko A.M., Katkov A.E., Vyalykh V.N., Smagulov S.G., Meshkov N.A., Saleev A.A., Vil'danov S.E. Around the Semipalatinsk test site: radiological situation, radiation doses of population in the Semipalatinsk region (based on the report of the interdepartmental commission). *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost – Medical Radiology and Radiation Safety*, 1990, vol. 35, no. 12, pp. 3-11. (In Russian).
2. Meshkov N.A., Zhilyaev E.G., Val'tseva E.A., Galin L.L. Environmental and medical-biological effects of nuclear tests on the territory and the Altai Republic population. Eds.: A.F. Tsyb, I.M. Chizh. Moscow, Voentekhnizdat, 1999. 144 p. (In Russian).
3. Meshkov N.A., Val'tseva E.A., Avetisov G.M., Ivanov V.K., Kazakov S.V. Medical and social consequences of the nuclear tests. Moscow, Voentekhnizdat, 2003. 398 p. (In Russian).
4. Gordeev K.I., Baluev O.T., Darenskaya N.G., Logachev V.A., Meshkov N.A., Orlov M.Yu., Prokof'ev O.N., Ronkin G.S., Starinskiy V.V., Suskov I.I., Ter-Saakov A.A., Gerasimenko N.F., Germanenko V.S., Kiselev V.I., Shoykhet Ya.N., Demin V.F., Ivanov E.V., Matushchenko A.M., Tsyb A.F. The concept of population recovery and normalization of the environmental, sanitary, medical and biological and socio-economic situation in Altai Region settlements located in the vicinity of Semipalatinsk test site. *Vestnik nauchnoy programmy "Semipalatinskiy polygon – Altay" – Journal of the Scientific Program "Semipalatinsk Test Site – Altay"*, 1995, no. 3, pp. 11-15. (In Russian).

5. **Val'tseva E.A., Meshkov N.A.** The radiocesium content in the basic food of the Altai Republic population diet. *Polzunovskiy vestnik – Polzunov's Russian Journal*, 2009, no. 4, pp. 227-233. (In Russian).
6. **Meshkov N.A.** Radiation and health effects analysis of radiation of people living in the Altai Republic after ¹³⁷Cs entered their body in different ways. *Materialy IV Mezhdunarodnoy konferentsii "Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka – Radioactivity and radioactive elements in human environment. Proc. IV Int. Conf. Tomsk, 4-8 June 2013. Tomsk, Polytechnic University, 2013, pp. 365-367. (In Russian).*
7. **Meshkov N.A., Val'tseva E.A., Ivanov S.I., Puzanov A.V.** Radiological medical and biological effects of radiation exposure. St. Petersburg, Nauka, 2012. 234 p. (In Russian).
8. *Radioactivity and human diet.* Ed.: R. Russell. Russ. eds.: R.M. Aleksakhin, F.A. Tikhomirov, V.M. Klechkovskiy. Moscow, Atomizdat, 1971, pp. 232-256.
9. **Aytmatov M.B., Kubatbekov T.S., Malgazhdarov M.S.** Ecological and physiological aspects of long-term exposure to low doses of radiation on the body of the sheep. *Teoreticheskie i prikladnye problemy promyshlennogo kompleksa – Theoretical and Applied Problems of the Industrial Complex*, 2013, vol. 14, no. 1, pp. 37-38. (In Russian).
10. Radiation-hygienic evaluation of the conditions of the Altai Republic population living in areas of radioactive fallout and development of measures for their improvement. Scientific report. St. Petersburg, Scientific Research Institute of Radiation Hygiene, 1993. 52 p. (In Russian).
11. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP*, 2007, vol. 37, no. 2-4, pp. 1-332.
12. The radiation doses of the Russian Federation population in 2010. St. Petersburg, Ramzaev's NIIRG Publ., 2012. 68 p. (In Russian).
13. **Fedotova A.S.** Evaluation of radiation dose in the locality surveillance zone Mining and chemical plant. *Vestnik KrasGAU – Russian Journal of Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2016, no. 2 (113), pp. 61-68. (In Russian).
14. *Radiation Safety Standards (RSS-76/87).* Basic sanitary rules BSR-72/87. Ministry of Healthcare of the USSR. Moscow, Energoatomizdat, 1988. 160 p. (In Russian).
15. *Radiation Safety Standards (RSS-99/2009).* Sanitary-epidemiological rules and standards. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. 100 p. (In Russian).