

О влиянии подземных ядерных взрывов «Кратон-3» и «Кристалл» на радиационно-гигиеническую обстановку в близлежащих населенных пунктах

В.П. Рамзаев¹, И.Г. Травникова¹, Л.Н. Басалаева¹, Г.Я. Брук¹,
В.Ю. Голиков¹, А.С. Мишин¹, Дж.Е. Браун², П. Странд²

¹ ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

² Норвежское Агентство Радиационной Защиты, Остерас, Норвегия

В статье приведены результаты радиационно-гигиенического обследования (2001–2002 гг.) региона проведения подземных ядерных взрывов «Кратон-3» и «Кристалл» на территории Республики Саха (Якутия). Текущие средние дозы облучения взрослых жителей населенных пунктов Удачный и Айхал от радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , поступающих в организм за счет потребления местных продуктов природного происхождения, и внешнего облучения от ^{137}Cs составляет около 21 мЗв/год. Основная часть дозы облучения (87%) связана с потреблением оленины, загрязненной ^{137}Cs и ^{90}Sr от глобальных выпадений. Подземные ядерные взрывы, проведенные в регионе в 70-е годы прошлого века, не оказывают сколько-нибудь значимого влияния на техногенное облучение населения в настоящее время.

Ключевые слова: подземный ядерный взрыв, «Кратон-3», «Кристалл», Айхал, Удачный, население, дозы, ^{137}Cs , ^{90}Sr .

Введение

В Республике Саха (Якутия) с 1974 г. по 1987 г. было проведено двенадцать так называемых «мирных» подземных ядерных взрывов (МПЯВ) [1]. Два из них – «Кристалл» (взрыв произведен в 1974 г. на расстоянии 2,5 км от города Удачный) и «Кратон-3» (взрыв произведен в 1978 г. на расстоянии 40 км от поселка городского типа (п.г.т.) Айхал) сопровождался выбросом радиоактивных веществ на дневную поверхность и загрязнением окружающей среды [2]. В 1981 г. были выполнены дезактивационные работы на промплощадке объекта «Кратон-3». Зимой 1992 года была проведена дезактивация объекта «Кристалл» путем навала пустой породы из карьера алмазоносной трубки «Удачная» [2].

Результаты полевых исследований, выполненных после проведения дезактивации, свидетельствовали о значительных уровнях остаточного радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды (почва, растительность, донные отложения) долгоживущими радиологически значимыми радионуклидами – ^{137}Cs , ^{90}Sr и изотопами плутония [3, 4, 5]. Учитывая вышеприведенные обстоятельства, а также тот факт, что местное население выражало обоснованную обеспокоенность возможным влиянием МПЯВ на свое здоровье, правительство Республики Саха (Якутия) в 2001 г. инициировало проект независимого комплексного радиационно-гигиенического и радиозэкологического обследования мест проведения взрывов и населенных пунктов (н.п.) Удачный и Айхал [1]. Проект выполнялся в кооперации с проектом ЕРИС (Защита Арктики от Радиоактивного Загрязнения) [6].

Настоящая статья, в основном, посвящена оценке доз облучения жителей н.п. Удачный и Айхал долгоживущими радионуклидами – ^{137}Cs и ^{90}Sr . Главной задачей исследования являлась определение средних доз облучения взрослого населения от этих радионуклидов, поступаю-

щих в организм за счет потребления местных продуктов природного происхождения, а также внешнего облучения от цезия-137. Кроме того, представлен краткий обзор результатов, полученных непосредственно в местах проведения взрывов [7, 8, 9, 10].

Материалы и методы исследования

Оба н.п. расположены в Мирнинском районе вблизи от Северного Полярного Круга в зоне распространения вечной мерзлоты на расстоянии около 70 км друг от друга. Природные экосистемы представлены северной тайгой и поймой рек Далдын и Марха. Основными градообразующими структурами являются предприятия по добыче и переработке алмазов, принадлежащие компании АЛРОСА. По меркам европейской части страны, численность постоянного населения (на 01.01.2004) в этих городах невелика – 15,7 тысяч в г. Удачный и 15,9 тысяч в п.г.т. Айхал. В связи с суровыми природными условиями сельскохозяйственное производство в этой местности отсутствует. Лишь небольшой процент жителей имеют теплицы, в которых выращивают для личного потребления огурцы, помидоры, зелень и картофель. Кроме того, есть маленькое стадо коров (20 голов), молоко которых поступает только в детские учреждения п.г.т. Айхал. Поэтому основная часть пищевых продуктов завозится либо из других частей Якутии, либо из-за ее пределов. Вместе с тем, городской житель имеет возможность собирать дикорастущие грибы и ягоды, а также добывать диких млекопитающих, птицу и рыбу в регионе.

Для выявления особенностей формирования доз внутреннего облучения были изучены структура и рационы питания местного населения. Для этого была использована опросная карта, основанная на результатах аналогичных исследований, выполненных в различных регионах бывшего Советского Союза [11]. В карту помимо общих анкетных

данных были включены вопросы о потреблении основных дозообразующих пищевых продуктов – молока, картофеля (и овощей), оленины, мяса сельскохозяйственных и диких животных, рыбы, дикорастущих грибов и ягод, входящих в рацион питания местного населения. Выяснялся и источник поступления этих продуктов. Всего было опрошено 109 человек в п.г.т. Айхал и 75 – в г. Удачный. Учителя, врачи и инженеры составили около 30% обследованных, 37% – представители различных рабочих профессий, 23% – водители и около 10% – пенсионеры и безработные. Средний возраст жителей, принимавших участие в опросе, был равен 42 и 45 годам в Айхале и Удачном, соответственно.

Отбор проб почвы и пищевых продуктов был осуществлен в процессе экспедиционных обследований (2001–2002 гг.) н.п. Удачный и Айхал. В контрольных лесных массивах (5 площадок) и на лугах (2 площадки) было отобрано, соответственно, 17 и 6 кернов почвы, на глубину 15–20 см. Особенности методики пробоотбора, а также характеристика площадок, выбранных на контрольных участках и в зонах поражения МПЯВ даны в работе [7]. Для дополнительного контроля пробы почвы из лесного массива (5 кернов) и заливной поймы р. Марха (5 кернов), грибов, ягод и рыбы были отобраны вблизи бывшего сельского н.п. Энердек (Мирнинский район), расположенного на берегу р. Марха в ее среднем течении на расстоянии 210 км к югу от места проведения МПЯВ «Кратон-3». Дополнительно к этому пробы «даров природы» и местной сельскохозяйственной продукции (молоко, мясо) были получены из ареала сельских н.п. Малыкай, Мальжагар, Хаты, Чукар и Энгольжа (Нюрбинский район). Последние пять н.п. расположены на берегах реки Марха в ее нижнем течении, т.е. существенно южнее мест проведения МПЯВ. Данные села являются самыми близкими обитаемыми н.п., на которые могло бы распространяться влияние взрывов, предполагая водный путь миграции радионуклидов. Вместе с тем эти места активно используются местными жителями с целью охоты и рыболовства, сбора грибов и ягод. В общей сложности было отобрано 78 образцов пищевых продуктов. Их распределение по типам представлено в Таблице 1. Помимо образцов почвы и пищевых продуктов было отобрано 9 проб напочвенных (эпигейных) лишайников (*Cladonia* и *Cetraria*), 4 пробы травы (*Carex*) и 4 пробы кустарников (*Salix*, *Betula*, *Dasiphora fruticosa*). Данные растения входят в рацион питания северного оленя (*Rangifer tarandus* L.).

Особое внимание уделялось продуктам природного происхождения, потому что, как указывалось выше, в ареале проведения взрывов отсутствует сельскохозяйственное производство, и только «дары природы» могут считаться важным источником формирования той части дозы внутреннего облучения, которая связана с потреблением местных пищевых продуктов.

Определение содержания техногенных радионуклидов в пробах пищевых продуктов и почвы было проведено с помощью методов гамма-спектрометрического и радиохимического анализа [7, 12]. Ошибка определения (при $P=0,95$) содержания радионуклидов в пробе колебалась от 20 до 40%, однако в отдельных случаях она доходила до 50% в связи с очень низкой радиоактивностью самих проб.

Годовую эффективную дозу внутреннего облучения (E_{int}) человека [11] оценивали согласно формуле:

$$E_{int} = 365 \cdot \sum_i (dk_i \cdot I_i), \text{ мЗв/год} \quad (1)$$

где: dk_i – дозовый коэффициент для пищевого поступления i -го нуклида в организм взрослого человека; принимался равным $1,3 \cdot 10^{-2}$ и $2,8 \cdot 10^{-2}$ мЗв/Бк для ^{137}Cs и ^{90}Sr , соответственно (Публикация 72 МКРЗ [13]); I_i – суточное поступление i -го нуклида с пищей, Бк/сут; 365 – количество дней в году, сут/год.

Суточное поступление i -го нуклида в организм складывается из поступления с различными продуктами – компонентами рациона питания:

$$E_{int} = \sum_p (C_p \cdot V_p \cdot K_p), \text{ Бк/сут} \quad (2)$$

где: C_p – удельная активность (концентрация) i -го нуклида в p -м пищевом продукте, Бк/кг (Бк/л); V_p – суточное потребление p -го пищевого продукта, кг(л)/сут; K_p – коэффициент снижения содержания i -го радионуклида в p -ом пищевом продукте за счет его обработки в процессе приготовления пищи, относительная величина. Для грибов этот коэффициент был принят равным 0,5, для всех остальных продуктов – 1 [11].

Годовую эффективную дозу внешнего облучения ($E_{вн.}$) населения оценивали на основе следующего соотношения:

$$E_{вн.} = 8760 \cdot A^{137} \cdot C^E \cdot g^{137} \cdot R, \text{ мЗв/год} \quad (3)$$

где, 8760 – количество часов в году; A^{137} – поверхностная активность ^{137}Cs в почве, кБк/м²; C^E – коэффициент перехода от мощности поглощенной дозы в воздухе на высоте 1 м к значению мощности эффективной дозы, Зв/Гр; g^{137} – удельная мощность дозы ^{137}Cs , (мГр/час)/(кБк/м²); R – антропогенный фактор уменьшения мощности дозы, учитывающий влияние защитных свойств зданий и сооружений, а также снежного покрова, безразмерная величина. Использовали следующие значения параметров в уравнении (3): $C^E = 0,71$ Зв/Гр [14]; $g^{137} = 0,714 \cdot 10^{-3}$ (мГр/час)/(кБк/м²) [15]; $R = 0,25$ (экспертная оценка). По оценке НКДАР ООН [15], среднемировая величина R равна 0,36. Однако, принимая во внимание продолжительную зиму и исключительно суровые климатические условия, характерные для обследованных н.п. [16], мы уменьшили коэффициент R до 0,25.

Измерение мощности дозы гамма-излучения (МД) проводили с помощью монитора гамма-излучения EL-1117 (производство фирмы «АТОМТЕХ», Беларусь) по методике, приведенной в работе [16].

Результаты исследования и обсуждение

На основании наземного обследования [7, 8, 9, 10] было установлено, что площадь поражения лесной экосистемы со 100% гибелью лиственных в месте взрыва «Кратон-3» составляет около 1,2 км². Максимальные зарегистрированные уровни поверхностного загрязнения почвы радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr были равны 6890 кБк/м² и 15300 кБк/м², соответственно, что на три-четыре порядка больше уровней глобальных выпадений в связи с испытаниями ядерного оружия. Мощность дозы гамма-излучения, зарегистрированная на следе взрыва «Кратон-3», колебалась от 0,07 до 1,2 мГр/час, что достоверно превышало фоновые значения (до 0,057 мГр/час). Масштабы поражения лесной экоси-

стемы (площадь около 5 га) и уровни радиоактивного загрязнения территории (по ^{137}Cs максимально до 65 кБк/м²) в месте проведения ядерного взрыва «Кристалл» были значительно меньше таковых для ядерного взрыва «Кратон-3». В 2001 максимальная величина мощности дозы гамма излучения вблизи каменной насыпи над «Кристаллом» составляла 0,19 мГр/час. В результате проведенного обследования было подтверждено, что в обоих случаях зоны наземного радиоактивного загрязнения распространяются в северо-восточном направлении, т.е. в сторону, противоположную расположению ближайших населенных пунктов. Вместе с тем, оба объекта признаны потенциально опасными в плане радиоактивного загрязнения речной системы Далдын–Марха–Вилуй–Лена [7].

Уровень поверхностного загрязнения почвы ^{137}Cs в ареале обследованных Удачного и Айхала на контрольных площадках колебался от 0,73 до 1,32 кБк/м² (в среднем $0,90 \pm 0,20$ кБк/м²), что практически совпадает с аналогичным значением для контрольных площадок в лесу и на лугу н.п. Эндердэ – 0,95 и 1,19 кБк/м², соответственно. Наши оценки по уровням загрязнения цезием-137 поверхностного слоя почвы вблизи Айхала и Удачного совпадают и с данными по современному загрязнению почвенно-растительного покрова на других контрольных территориях Якутии – 0,31–2,67 кБк/м² [17]. Экспериментально определенные значения плотности загрязнения почвы цезием-137 в обследованных нами н.п. близки к значению 1,1 кБк/м², которое следовало бы ожидать в этих широтах северного полушария Земли в начале 2000-х гг. от глобальных выпа-

дений, имевших место в прошлом в связи с испытаниями ядерного оружия в атмосфере [7]. Доза внешнего облучения от цезия-137, рассчитанная по формуле 3, оказалась пренебрежимо малой и составила около 1 мЗв/год.

Как следует из анализа результатов анкетирования, выполненого в н.п. Айхал и Удачный, пищевые продукты природного происхождения в среднем составляют не более 20% (по массе) в рационе питания местного населения. Потребление рыбы (24–28 кг/год) находится на первом месте, затем следует потребление оленины – (12–14 кг/год) и дикорастущих грибов и ягод – (5–7 кг/год). Среднегодовое потребление мяса диких животных колеблется от 600 г в п.г. Айхал до почти 3 кг в г. Удачный. Следует обратить внимание на то, что часть оленины, потребляемой жителями Айхала и Удачного, завозится из других районов Республики. Однако установить количественное соотношение между «местным» и привозным мясом, а также между олениной, полученной от так называемого «дикого» и «домашнего» северного оленя нам не удалось. Поэтому, во избежание недооценки дозы от этого радиологически значимого пищевого продукта, в расчет принималась вся потребляемая оленина. Проведенное обследование выявило, что среди опрошенных жителей нет таких, которые вообще не пользовались бы «дарами природы», однако около 20% не употребляли в пищу грибы, 12% – ягоды, 35% – мясо диких животных (включая оленину) и 4% – рыбу. Среднесуточное потребление продуктов природного происхождения взрослым жителем Айхала и Удачного приведено в Таблице 3.

Таблица 1

Содержание ^{137}Cs в местных пищевых продуктах из Якутии по данным настоящего исследования (колонки 2–4) и других авторов [18, 19]. Допустимые уровни (Д.У.) содержания ^{137}Cs по СанПиН-01 [20] приведены в последней колонке. Средняя±среднее квадратичное отклонение (с.к.о.). Число проб приведено в скобках

Продукт	Содержание ^{137}Cs , Бк/кг (на сырой вес)					
	Айхал-Удачный	Среднее и нижнее течение р. Марха	Все обследованные н.п.	Якутия, 1998–2002 [18]	Якутия, 1998–2002 [19]	СанПиН-2001 [20]
	Разброс	Разброс	Средняя ± с.к.о.	Средняя	Средняя	Д.У.
Молоко	0,3–0,4 (2)	0,3–2,3 (7)	$1,0 \pm 0,7$ (9)	0,9	0,54	100
Говядина	Н.д.**	1,0–3,3 (4)	$2,0 \pm 1,0$ (4)	2,7	2,4	160
Печень коровы	Н.д.	1,5–1,9 (2)	1,7 (2)	Н.д.	Н.д.	160
Конина	1,4 (1)	2,0–4,0 (2)	$2,5 \pm 1,4$ (3)	4,1	4,5	160
Печень лошади	Н.д.	1,4–2,2 (2)	1,8 (2)	Н.д.	Н.д.	160
Мясо лося	4,0 (1)	1,8–15 (4)	$8,4 \pm 5,9$ (5)	Н.д.	Н.д.	320
Печень лося	2,6 (1)	1,7–2,7 (3)	$2,5 \pm 0,5$ (4)	Н.д.	Н.д.	320
Мясо зайца	Н.д.	19,0 (1)	19,0 (1)	Н.д.	Н.д.	320
Мясо медведя	Н.д.	19,0 (1)	19,0 (1)	Н.д.	Н.д.	320
Оленина	34–136 (9)	Н.д.	97 ± 34 (9)	66	96	320
Рыба	0,2–1,5 (5)	0,3–6,0 (17)	$1,7 \pm 1,4$ (22)	1,4/2,5*	0,8	130
Грибы	5,6–13,8 (3)	10,1–12,4 (4)	$10,4 \pm 2,6$ (7)	Н.д.	Н.д.	500
Ягоды	0,3–5,2 (6)	0,5–7,8 (3)	$1,9 \pm 2,7$ (9)	2,2	Н.д.	160

* – первое значение для речной рыбы, второе – для озерной рыбы; **Н.д. – нет данных.

Таблица 2

Содержание ^{90}Sr в местных пищевых продуктах из Якутии по данным настоящего исследования (колонки 2–4) и других авторов [18, 19]. Допустимые уровни (Д.У.) содержания ^{137}Cs по СанПиН-01 [20] приведены в последней колонке. Средняя $\pm$ среднее квадратичное отклонение (с.к.о.). Число проб приведено в скобках

Продукт	Содержание ^{90}Sr , Бк/кг (на сырой вес)					
	Айхал-Удачный	Среднее и нижнее течение р. Марха	Все н.п.	Якутия, 1998–2002 [18]	Якутия, 1998–2002 [19]	СанПиН-2001 [20]
	Разброс	Разброс	Средняя $\pm$ с.к.о.	Средняя	Средняя	Д.У.
Молоко	0,04–0,06 (2)	0,10–0,28 (7)	0,12 $\pm$ 0,07 (9)	0,36	0,2	5
Рыба	0,8–1,6 (2)	Н.д.	1,2 (2)	1,6/3,5*	0,8	100
Грибы	0,4–0,9 (3)	Н.д.	0,5 $\pm$ 0,3 (3)	Н.д.	Н.д.	50
Ягоды	0,2–0,9 (6)	0,5–0,9 (2)	0,5 $\pm$ 0,3 (8)	3,4	Н.д.	90

* – первое значение для речной рыбы, второе – для озерной рыбы; ** Н.д. – нет данных.

Таблица 3

Суточное потребление пищевых продуктов, содержание радионуклидов и рассчитанная годовая доза внутреннего облучения взрослого населения н.п. Айхал и Удачный в 2001–2002 гг.

Продукт	Потребление, кг/день	Содержание, Бк/кг		Доза, $\mu\text{Зв/год}$		Вклад в дозу, %	
		^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Мясо диких животных	0,007	11,4	2,2*	0,38	0,16	1,9	0,8
Оленина	0,036	97	2,2*	16,6	0,81	83,3	4,1
Рыба речная и озерная	0,069	1,7	1,2	0,56	0,85	2,8	4,3
Грибы дикорастущие	0,016	10,4	0,5	0,39	0,04	2,0	0,2
Ягоды дикорастущие	0,014	1,9	0,5	0,13	0,04	0,6	0,2
Сумма	0,142			18,0	1,9	90,5	9,5

* – принято равным содержанию стронция-90 в оленине по данным работы [18].

Результаты измерения содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах представлены в Таблицах 1 и 2. Для сравнения там же даны усредненные результаты независимых исследований, проведенных в 1998–2002 гг. республиканскими службами госсанэпиднадзора [18] и ветеринарного надзора [19], а также допустимые уровни загрязнения по СанПиН-01 [20]. Как видно из данных таблиц, уровни радиоактивного загрязнения практически всех изученных местных пищевых продуктов, включая пробы молока, поступающего в детские учреждения Айхала, в целом крайне низкие и не превышают сотых долей допустимых уровней по СанПиН-01 [20]. Легко измеряемые концентрации цезия-137 были обнаружены лишь в оленине, но и в этих пробах превышения допустимых уровней не наблюдалось. Повышенное содержание ^{137}Cs в мясе оленя (по сравнению с другими крупными млекопитающими, включая лося) связано с тем хорошо известным обстоятельством, что эпигейные лишайники являются постоянным и очень важным компонентом рациона этого животного, а загрязнение лишайников радионуклидами цезия намного превышает таковое для трав или кустарников [11, 19]. В наших девяти пробах лишайников, отобранных на тех участках, которые не попали в зону влияния локальных вы-

падений от МПЯВ, содержание цезия-137 колебалось от 22 до 214 Бк/кг при среднем $\pm$ среднее квадратичное отклонение 128 ± 62 Бк/кг (сухой вес). В то же время в пробах травы и кустарников (веточки с листьями) этот показатель не превышал 3,5 Бк/кг (сухой вес).

Следует подчеркнуть, что результаты настоящего обследования очень хорошо согласуются с данными, полученными в отношении радиоактивного загрязнения пищевых продуктов и растительности в целом по Якутии [18, 19]. Учитывая этот факт, можно вполне обоснованно говорить о том, что современная радиационно-гигиеническая обстановка в ареале н.п. Айхал и Удачный определяется не локальными выпадениями от МПЯВ «Кратон-3» и «Кристалл», а прежде всего глобальными выпадениями от испытаний ядерного оружия в атмосфере.

Для расчета доз внутреннего облучения взрослого населения (Таблица 3) мы использовали средние значения удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в природных пищевых продуктах, отобранных и проанализированных в рамках настоящего исследования. К сожалению, по техническим причинам не удалось исследовать пробы оленины и мяса диких животных на предмет содержания стронция-90. Поэтому в расчет была взята репрезентатив-

ная величина 2,2 Бк/кг, полученная региональным отделением госсанэпиднадзора для оленьей оленины по республике в целом в 1998–2002 гг. [18]. Сходный средний уровень загрязнения стронцием-90 (2,3 Бк/кг) был установлен для оленьей оленины службой ветнадзора [19]. Текущая средняя доза облучения взрослых жителей н.п. Удачный и Айхал от инкорпорированных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr за счет потребления местных продуктов природного происхождения составила около 20 мЗв/год. Как следует из Таблицы 3, основной вклад в дозу внутреннего облучения населения дает потребление оленьей оленины (~87% всей дозы), загрязненной ^{137}Cs и ^{90}Sr от глобальных выпадений.

Выводы

Последствия проведения МПЯВ «Кратон-3» и «Кристалл» в 70-е годы прошлого века на территории Республики Саха (Якутия) не оказывают сколько-нибудь значимого влияния на техногенное облучение жителей н.п. Айхал и Удачный в настоящее время. Суммарная доза внутреннего облучения (за счет ^{137}Cs и ^{90}Sr , содержащегося в пищевых продуктах природного происхождения) и внешнего облучения (за счет ^{137}Cs) составляет 21 мЗв/год, при этом основной вклад в дозу (до 87%) дает потребление оленьей оленины, загрязненной ^{137}Cs и ^{90}Sr от глобальных выпадений. Величина 21 мЗв/год соответствует диапазону дозы, рекомендуемому ОСПОРБ-99 [21] как уровень исследования (10–100 мЗв/год). При таких уровнях ожидаемого дополнительного облучения необходимо провести исследование с целью определения значения годовой эффективной дозы, что и было сделано в ходе выполнения данной работы. Проведение каких-либо защитных мероприятий, направленных на снижение текущих доз облучения, является неоправданным. Вместе с тем, сами места проведения взрывов, являющиеся потенциальными источниками загрязнения речной системы Далдын–Марха–Вилуй, должны быть объектами постоянного радиозоологического и радиационно-гигиенического мониторинга.

Благодарность

Авторы считают своим долгом выразить глубокую признательность И.С. Бурцеву (бывшее Управление ликвидации последствий воздействия радиации Республики Саха (Якутия)), алмазодобывающей компании «АЛРОСА» (ГОК «Удачный», директор А.Т. Попов, зам. главного инженера А.С. Федоров; ГОК «Айхал», директор Ю.А. Дойников, главный инженер С.С. Лаврентьев) и Б.Б. Алексею (Республиканский центр по госсанэпиднадзору, г. Якутск) за организацию экспедиционных работ и помощь при проведении исследований в г. Удачный и п.п. Айхал.

Список использованной литературы

- Бурцев, И.С. Опыт работы по обследованию подземных ядерных взрывов и отвалов урансодержащих руд на территории Якутии [Текст] / И.С. Бурцев, С.К. Степанова, Е.Н. Колодезникова, Н.Д. Архипов // Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия): материалы II республиканской научно-практической конференции (Якутск, 16–18 декабря 2003). – Якутск: ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН», 2004. – С. 56–67.
- Мясников, К.В. Аварийные ситуации на объектах мирных ядерных взрывов в России [Текст] / К.В. Мясников, В.В. Касаткин, В.А. Ильичев, В.Д. Ахунов // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: труды Международной конференции; под ред. Ю.А. Израэля (Москва, 24–26 апреля 2000). – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – Т.91. – С. 594–600.
- Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении [Текст] / Колл. авторов под. рук. проф. В.А. Логачева. – М.: Изд.АТ, 2001. – 519 с.
- Miretsky, G.I. Hygienic assessment of underground peaceful nuclear explosions in Russian Arctic [Текст] / G.I. Miretsky, A.S. Cyganov, S.V. Bylinkin [et al.] // The Third International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic: Extended abstracts (Norway, June 1–5 1997) // TROMSPRODUCT AS, Tromso. – 1997. – V. 2. – P. 152–155.
- Gedeonov, A.D. Residual radioactive contamination at the peaceful underground nuclear explosion sites "Craton-3" and "Crystal" in the Republic of Sakha (Yakutia) [Текст] / A.D. Gedeonov, E.R. Petrov, V.G. Alexeev [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2002. – V. 60, № 1–2. – P. 221–234. – Библиогр. : 11 назв.
- Brown, J. Environmental protection from ionizing contaminants in the Arctic. The EC Copernicus II project "EPIC" [Текст] / J. Brown, N. Beresford, S. Wright [et al.] // The 5-th International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic (St.-Petersburg, Russia, 16–20 June 2002): Proceedings edited by P. Strand, T. Jolle & A. Sand / Norwegian Radiation Protection Authority. – Norway, 2002. – P. 101–104. – Библиогр. : P. 103–104.
- Ramzaev, V. Surface ground contamination and soil vertical distribution of ^{137}Cs around two underground nuclear explosion sites in the Asian Arctic, Russia [Текст] / V. Ramzaev, A. Mishine, V. Golikov, [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – V. 92, № 3. – P. 123–143. – Библиогр. : 54 назв.
- Ramzaev, V. Cumulative dose assessment using thermoluminescence properties of porcelain isolators as evidence of a severe radiation accident in the Republic of Sakha (Yakutia), Russia, 1978 [Текст] / V. Ramzaev, H.Y. Goksu // Health Physics. – 2006. – V. 91, № 3. – P. 263–269. – Библиогр. : 23 назв.
- Ramzaev, V. ^{137}Cs and ^{90}Sr in live and dead reindeer lichens (genera *Cladonia*) from the "Kraton-3" underground nuclear explosion site [Текст] / V. Ramzaev, A. Mishine, L. Basalaeva, [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – V. 93, № 2. – P. 84–99. – Библиогр. : 57 назв.
- Ramzaev, V. Radiostromium hot spot in the Russian Arctic: ground surface contamination by ^{90}Sr at the "Kraton-3" underground nuclear explosion site [Текст] / V. Ramzaev, A. Mishine, L. Basalaeva, J. Brown // Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – V. 95, № 2–3. – P. 107–125. – Библиогр. : 58 назв.
- Travnikova, I. Assessment of current exposure levels in different population groups of the Kola Peninsula [Текст] / I. Travnikova, V. Shutov, G. Bruck [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2002. – V. 60, № 1–2. – P. 235–248. – Библиогр. : 24 назв.
- Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды [Текст] / Под редакцией А.Н. Мареев и А.С. Зыковой. – М.: Министерство здравоохранения СССР, вторая типография МЗ СССР, 1980. – 336 с.
- Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients [Текст] : ICRP Publication 72 // Annals of the ICRP. – 1996. – V. 26, No. 1. – ISSN 0146–6453 (Elsevier Science Ltd., Oxford, 1996).
- Golikov, V. Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms [Текст] / V. Golikov, E. Wallstrom, T. Wohner [et al.] // Radiation and Environmental Biophysics. – 2007. – V. 46, № 4. – P. 375–382. – Библиогр. : 23 назв.
- UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation, 2000 Report to the General Assembly with Scientific

- Annexes. Volume 1: Sources [Текст] / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York: United Nations, 2000. – 654 p.
16. Ramzaev, V. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region, Russia in 1996–2003 [Текст] / V. Ramzaev, H. Yonehara, R. Hille [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – V. 85, № 2–3. – P. 205–227. – Библиогр. : 40 назв.
 17. Ушницкий, В.Е. Радиоактивные загрязнения в мерзлотных ландшафтах Якутии и их мониторинг [Текст] / В.Е. Ушницкий, П.И. Собакин // Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия): материалы II республиканской научно-практической конференции (16–18 декабря 2003). – Якутск: ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН», 2004. – С. 75–82. – Библиогр.: С. 82.
 18. Васильева, Т.А. Радиационная обстановка в РС(Я) за период 1998–2002 [Текст] / Т.А. Васильева // там же, С. 28–38.
 19. Елисеева, Т.Н. Обзор динамики загрязнения радионуклидами объектов ветеринарного надзора РС (Я) за 1998–2002 [Текст] / Т.Н. Елисеева, О.И. Поликарпова // Там же. – С. 39–42.
 20. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов [Текст]: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: (СанПиН 2.3.2.1078–01): утв. 14.11.2001. – Взамен СанПиН 2.3.2.560–96. – М.: Минздрав России, 2002. – 168 с.
 21. Санитарные правила (СП 2.6.1.799–99) [Текст]: Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99): утв. 27.12.1999. – Взамен ОСП–72/87. – М.: Минздрав России, 2000. – 98 с.

V.P. Ramzaev¹, I.G. Travnikova¹, L.N. Basalaeva¹, G.Ya. Bruk¹,
V.Yu. Golikov¹, A.S. Mishin¹, J.E. Brown², P. Strand²

**On influence of the underground nuclear explosions “Crystal” and “Kraton-3”
on radiological situation in the nearest settlements**

¹ Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev»
of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg, Russia

² Norwegian Radiation Protection Authority, Osteras, Norway

Abstract. The results of radiological investigations (in 2001–2002) conducted near sites of the underground nuclear explosions “Crystal” and “Kraton-3” in the Republic of Sakha (Yakutia) are presented. The sum of the current effective internal doses from ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr (from consumption of natural products) and the external dose from ¹³⁷Cs deposition was about 21 mSv y⁻¹ for adult residents of the urban settlements Aikhal and Udachny. Intake of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr (originating from global fallout) with reindeer meat contributes ~87% to the internal dose determined. At present, the consequences of the underground nuclear explosions, conducted in the 1970s, have no influence on the technogenic exposure of the local population.

Key words: underground nuclear explosion, “Crystal”, “Kraton-3”, Aikhal, Udachny, population, dose, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr.

Поступила 25.03.08.