

УДК 614.876: 614.73: 621.039

DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.2.07>*Оригинальная статья / Original paper*

Влияние деятельности АО «ГНЦ НИИАР» на дозы облучения населения до начала эксплуатации многоцелевого реактора на быстрых нейтронах

А.В. Панов¹, Р.А. Микаилова²¹ ИАТЭ НИЯУ МИФИ,

249039 Россия, Калужская обл., г. Обнинск, тер. Студгородок, д. 1

² НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ,

249035 Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское ш., д. 1, к. 1

Реферат. Дана оценка дозовых нагрузок на население от многолетних выбросов Научно-исследовательского института атомных реакторов (АО «ГНЦ НИИАР») до начала эксплуатации многоцелевого реактора на быстрых нейтронах (ИЯУ МБИР). Дозы облучения рассчитаны от поступления в атмосферу семьдесят одного радиоизотопа для шести возрастных групп городского и сельского населения, проживающего в зоне влияния АО «ГНЦ НИИАР». Оценка доз облучения населения проведена с использованием программного кода CROM, рекомендованного МАГАТЭ. Расчеты дозовых нагрузок выполнены по двум сценариям: среднегодовым и максимальным выбросам радионуклидов за 2010–2020 гг. с учетом потребления населением продуктов питания местного производства. Показано, что среднегодовые дозы облучения жителей городских и сельских населенных пунктов в зоне влияния АО «ГНЦ НИИАР» варьируют в диапазоне от 1,04 до 1,11 мкЗв в зависимости от объемов выбросов в атмосферу техногенных радиоизотопов. Основной вклад (90–96%) в дозовую нагрузку вносит внешнее облучение от радионуклидов, находящихся в воздухе (наиболее значимы ^{88}Kr , ^{138}Xe и ^{41}Ar). На долю облучения населения от земной поверхности приходится 2–4%, потребления содержащей техногенные радиоизотопы пищевой продукции 1–4% и по ингаляционному пути формируется около 1–3% дозы. Наиболее облучаемой категорией населения являются дети в возрасте 2–7 лет. До 80% дозы внутреннего облучения населения от потребления местных пищевых продуктов определяется ^{131}I , а основными дозообразующими продуктами питания являются зерновые (вклад до 30–50% по разным возрастным группам), фрукты и ягоды (10–65%), плодовые овощи (20–50%), листовые овощи (5–15%). В целом, среднегодовая доза облучения населения от выбросов АО «ГНЦ НИИАР» не превышает 0,04% от всех источников дозоформирования у населения (2,8 мЗв) в регионе.

Ключевые слова: НИИАР, ИЯУ МБИР, радиоактивные выбросы, население, CROM, дозовая нагрузка, пути облучения, ранжирование радионуклидов, радиационная безопасность.

Для цитирования: Панов А.В., Микаилова Р.А. Влияние деятельности АО «ГНЦ НИИАР» на дозы облучения населения до начала эксплуатации многоцелевого реактора на быстрых нейтронах. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2025;2:71–85. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.2.07>

Введение

В г. Димитровграде Ульяновской области расположен Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов (АО «ГНЦ НИИАР»), который является мировым лидером по разработке реакторных установок и новых технологий в ядерной энергетике. АО «ГНЦ НИИАР» более 60-ти лет создает новые источники ионизирующих излучений, производит транс-плутониевые (^{241}Am , ^{243}Am , ^{244}Cm , ^{248}Cm , ^{249}Bk , ^{252}Cf) и другие радиоизотопы для промышленности и медицины. Основные направления исследований АО «ГНЦ НИИАР» включают в себя инновационные технологии ЯТЦ на основе быстрых реакторов, создание новых видов ядерного топлива, разработку новых материалов и радиофармпрепаратов, космическую энергетику, ядерную медицину, радиационную и ядерную безопасность, переработку и утилизацию ОЯТ и РАО [1, 2].

В настоящее время на площадке АО «ГНЦ НИИАР» эксплуатируются шесть исследовательских реакторов: СМ-3 (1961 г.), ВК-50 (1965 г.), МИР.М1 (1967 г.), БОР-60 (1969 г.), РБТ-6 (1975 г.), РБТ-10/2 (1984 г.). Реакторные установки периодически проходят модернизацию, однако в связи с долгим сроком эксплуатации по ряду параметров они уже не в полной мере отвечают современным научным задачам. Поэтому с 2015 г. в АО «ГНЦ НИИАР» идет строительство самого крупного в мире инновационного исследовательского реактора ИЯУ МБИР (Многоцелевой Быстрый Исследовательский Реактор) [1, 3]. Его ввод в эксплуатацию запланирован на 2028 г. Запуск ИЯУ МБИР даст возможность значительно продвинуться в решении научных и технологических задач замыкания ядерного топливного цикла и разработки безопасных реакторов IV поколения. ИЯУ МБИР позволит вывести на новый уровень исследования в области радиационного материаловедения, производства радиоизотопов, новых видов топлива и теплоносителей.

В международной и отечественной системе ядерной и радиационной безопасности особое внимание уделяется необходимости доказательства отсутствия отрицательного воздействия на человека и окружающую среду от действующих и вновь возводимых реакторных установок [4, 5]. При строительстве ИЯУ МБИР и обосновании его безопасности важно проанализировать радиационные последствия многолетней эксплуатации уже существующих шести реакторных установок АО «ГНЦ НИИАР». Результаты оценки их влияния на окружающую среду и население, проживающее вблизи научного центра, станут ключевым элементом в дальнейшей демонстрации безопасности ИЯУ МБИР.

В выполненных ранее радиоэкологических исследованиях наземных [6] и водных экосистем [7] было показано, что радиационная обстановка в зоне влияния АО «ГНЦ

НИИАР» благополучная, а повышенные уровни содержания радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ отмечены локально в грунтах только санитарно-защитной зоны института и не оказывают значимого влияния на население. В то же время завершение строительства ИЯУ МБИР ставит задачу комплексной оценки формирования дозовых нагрузок на население от действующих реакторных установок АО «ГНЦ НИИАР» до ввода в эксплуатацию инновационного реактора на основании данных многолетнего мониторинга выбросов радиоизотопов в атмосферу.

Цель работы – оценка влияния радиоактивных выбросов АО «ГНЦ НИИАР» на дозовые нагрузки населения до начала эксплуатации ИЯУ МБИР.

Материалы и методы

При анализе доз облучения различных групп населения от выбросов и сбросов реакторов в условиях их эксплуатации в штатном режиме обычно используют специализированные программные средства (коды), основанные на радиоэкологических моделях распространения радионуклидов в атмосфере и их воздействия на человека и окружающую среду. Это позволяет определить потенциальные дозы облучения населения и принимать обоснованные решения по минимизации возможных негативных последствий [8 – 10].

Оценку дозовых нагрузок на население в районе АО «ГНЦ НИИАР» проводили в соответствии с международными стандартами и рекомендациями, включая отечественную нормативную базу в области радиационной безопасности [4, 11, 12]. Расчеты включали в себя комплексную оценку доз внешнего и внутреннего облучения населения. Оценка дозы внешнего облучения учитывала воздействие радиоизотопов в атмосфере и почве. Внутреннее облучение включало в себя ингаляционный (через вдыхание радиоактивной пыли и газов) и пероральный (от потребления местных продуктов питания и питьевой воды) пути. Дозовые нагрузки оценивали на городское и сельское население с учетом их образа жизни и уровня защищенности от радиационного воздействия. Вместе с этим для обеих групп населения учитывались следующие особенности:

- возраст людей (менее 1 года, 1 – 2, 2 – 7, 7 – 12, 12 – 17, более 17 лет);
- рационы питания различных возрастных групп населения;
- расстояние городских и сельских населенных пунктов от источника выброса радионуклидов, особенности рельефа местности;
- типы сельскохозяйственного производства (растениеводство и животноводство);
- период времени пребывания человека в зоне выброса радионуклидов, условия проживания населения;
- соблюдение населением рекомендаций по радиационной безопасности.

Расчет доз облучения населения проводили в рекомендованном МАГАТЭ программном коде CROM (версия 8.2.5), в котором реализованы радиоэкологические модели прогнозирования последствий эксплуатации радиационно опасных объектов в штатном режиме [13, 14]. CROM дает возможность оценки доз облучения населения по различным сценариям непрерывных выбросов в атмосферу и сбросов в водные объекты радиоизотопов при их квазиравновесном распределении. Программа оценивает дисперсию радионуклидов и их концентрацию в объектах окружающей

среды, продуктах питания и питьевой воде с использованием гауссовой модели. На основании этих данных рассчитывают дозы внешнего и внутреннего облучения критических групп населения с учетом различных путей поступления радиоизотопов в организм человека.

В основу расчетов были положены многолетние метеорологические данные, включая архивные наблюдения за погодой в г. Дмитровграде. Согласно этим результатам, среднегодовая скорость ветра на стандартной высоте флюгера (10 м над уровнем земли) составляет 2,2 м/с, что соответствует диапазону типичных значений для Ульяновской области. При моделировании рассеивания примесей от действующих реакторных установок АО «ГНЦ НИИАР» применялись следующие допущения:

- учитывалась повторяемость ветрового потока в направлении точки рецептора течение 25% времени от общего периода наблюдений;
- влияние осадков на процесс рассеивания не рассматривалось, поскольку расчетный период моделировался при условии ясной погоды.

Для оценки дозовых нагрузок на население, проживающее в зоне влияния АО «ГНЦ НИИАР», использовались официальные данные по выбросам в атмосферу в 2010–2020 гг. из ежегодников^{1,2}. За 11-летний период от шести реакторов НИИАР зафиксировано интегральное поступление в окружающую среду семидесяти одного радионуклида (табл. 1). По каждому изотопу ежегодные фактические объемы поступления в атмосферу были на два–пять порядков ниже установленного лимита предельно допустимых выбросов. В водную среду АО «ГНЦ НИИАР» радионуклиды не сбрасывает. Для расчетов брали значения средних и максимальных годовых выбросов радиоизотопов, что дало возможность определить дозовые нагрузки на население при низком и высоком уровнях консерватизма.

Для оценки доз внутреннего облучения населения использовали статистическую информацию по потреблению продуктов питания в домашних хозяйствах городских и сельских населенных пунктов Ульяновской области в 2020 г. (табл. 2) [15]. На основании этих данных рассчитали рационы питания шести возрастных групп городского и сельского населения.

Ближайшими к АО «ГНЦ НИИАР» населенными пунктами городского и сельского типа являются г. Дмитровград с населением 113 тыс. чел. (4,8 км на северо-восток от источника выброса) и рабочий поселок Мулловка Мелекесского района с числом жителей 5,6 тыс. чел. (3,7 км на запад от источника выброса). Эти два населенных пункта являются наиболее критичными по дозоформированию и были выбраны как тестовые для оценки влияния выбросов радионуклидов АО «ГНЦ НИИАР» на облучение населения.

¹ Отчеты по экологической безопасности за 2010–2020 годы. Дмитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2011–2021. [Environmental safety reports for 2010–2020. Dimitrovgrad. JSC «SRC RI-AR», 2011–2021 (in Russian).].

² Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2010–2020 годах. Ежегодники, 2010–2020. Обнинск: Росгидромет, ФГБУ «НПО Тайфун», 2011–2021. [The radiation situation on the territory of Russia and neighboring states in 2010–2020. Yearbooks. Obninsk, Roshydromet, FSBI «NPO Typhoon», 2011–2021 (in Russian).].

Таблица 1

Выбросы радионуклидов в атмосферу от реакторов
АО «ГНЦ НИИАР» в 2010 – 2020 гг., Бк/год

Радионуклид	Среднее	Максимум	Радионуклид	Среднее	Максимум
²⁴¹ Am	9,97·10 ⁶	1,42·10 ⁷	⁹⁵ Nb	1,50·10 ⁸	4,82·10 ⁸
²⁴³ Am	2,26·10 ⁶	2,29·10 ⁶	¹⁹¹ Os	1,48·10 ⁸	2,50·10 ⁸
⁴¹ Ar	2,24·10 ¹⁴	2,27·10 ¹⁴	²³⁸ Pu	2,37·10 ⁷	5,59·10 ⁷
¹³¹ Ba	9,85·10 ⁶	9,88·10 ⁶	²³⁹ Pu	2,87·10 ⁷	6,29·10 ⁷
¹³⁹ Ba	7,67·10 ⁸	4,66·10 ⁹	²⁴² Pu	1,54·10 ⁷	1,80·10 ⁷
¹⁴⁰ Ba	2,77·10 ⁶	3,55·10 ⁶	²⁰³ Hg	1,02·10 ⁹	5,10·10 ⁹
⁸² Br	1,52·10 ⁸	2,20·10 ⁸	⁸⁸ Rb	1,37·10 ¹¹	6,90·10 ¹¹
¹⁵² Eu	1,68·10 ⁶	3,20·10 ⁶	⁸⁹ Rb	6,95·10 ¹⁰	5,46·10 ¹¹
¹⁵⁴ Eu	9,00·10 ⁴	1,40·10 ⁵	¹⁰³ Ru	1,65·10 ⁷	8,01·10 ⁷
¹⁵⁵ Eu	2,36·10 ⁴	3,76·10 ⁴	¹⁰⁶ Ru	3,11·10 ⁷	7,91·10 ⁷
⁵⁹ Fe	2,29·10 ⁷	5,80·10 ⁷	⁷⁵ Se	5,87·10 ⁸	5,24·10 ⁹
¹²⁵ I	9,31·10 ⁸	2,34·10 ⁹	^{110m} Ag	8,74·10 ⁵	1,40·10 ⁶
¹³¹ I	1,76·10 ¹⁰	6,07·10 ¹⁰	⁴⁷ Sc	4,94·10 ⁶	4,94·10 ⁶
¹³² I	4,25·10 ⁹	9,11·10 ⁹	⁸⁹ Sr	1,05·10 ⁸	2,37·10 ⁸
¹³³ I	1,12·10 ¹⁰	1,80·10 ¹⁰	⁹⁰ Sr	6,20·10 ⁷	1,34·10 ⁸
¹³⁴ I	1,11·10 ⁸	2,08·10 ⁸	¹²² Sb	2,50·10 ⁷	2,50·10 ⁷
¹³⁵ I	3,28·10 ⁹	1,13·10 ¹⁰	¹²⁴ Sb	2,36·10 ⁷	1,08·10 ⁸
⁵⁸ Co	2,96·10 ⁷	7,05·10 ⁷	¹²⁵ Sb	2,33·10 ⁸	1,03·10 ⁹
⁶⁰ Co	1,18·10 ⁸	2,33·10 ⁸	^{99m} Tc	7,51·10 ⁸	2,69·10 ⁹
⁸⁵ Kr	1,20·10 ¹²	1,71·10 ¹²	^{99m} Tc	1,16·10 ⁶	1,70·10 ⁶
^{85m} Kr	1,22·10 ¹⁴	1,26·10 ¹⁴	³ H	5,54·10 ¹²	7,91·10 ¹²
⁸⁷ Kr	2,08·10 ¹⁴	2,10·10 ¹⁴	²³² U	8,79·10 ⁶	1,61·10 ⁷
⁸⁸ Kr	3,08·10 ¹⁴	3,13·10 ¹⁴	²³⁴ U	1,42·10 ⁷	1,73·10 ⁷
¹²⁵ Xe	1,22·10 ¹⁰	2,41·10 ¹⁰	²³⁵ U	1,33·10 ⁷	1,60·10 ⁷
¹³³ Xe	1,22·10 ¹⁵	1,44·10 ¹⁵	⁵¹ Cr	1,11·10 ⁸	4,50·10 ⁸
^{133m} Xe	8,24·10 ¹²	1,03·10 ¹³	¹³⁴ Cs	6,48·10 ⁷	1,66·10 ⁸
¹³⁵ Xe	7,80·10 ¹⁴	7,87·10 ¹⁴	¹³⁷ Cs	5,08·10 ⁸	7,42·10 ⁸
^{135m} Xe	1,34·10 ¹⁴	1,36·10 ¹⁴	¹³⁸ Cs	4,38·10 ¹⁰	1,05·10 ¹¹
¹³⁸ Xe	2,70·10 ¹⁴	2,84·10 ¹⁴	¹⁴¹ Ce	9,48·10 ⁶	5,24·10 ⁷
²⁴² Cm	3,57·10 ⁵	8,96·10 ⁵	¹⁴⁴ Ce	1,26·10 ⁸	7,32·10 ⁸
²⁴⁴ Cm	9,04·10 ⁶	5,10·10 ⁷	⁶⁵ Zn	7,40·10 ⁷	1,60·10 ⁸
⁵⁴ Mn	8,75·10 ⁷	1,76·10 ⁸	⁹⁵ Zr	3,96·10 ⁷	9,72·10 ⁷
⁵⁶ Mn	3,57·10 ⁸	6,80·10 ⁸	¹⁸⁷ W	7,50·10 ⁶	7,50·10 ⁶
⁹⁹ Mo	7,26·10 ⁶	7,26·10 ⁶	¹⁵³ Gd	4,30·10 ⁶	4,30·10 ⁶
⁷⁶ As	2,42·10 ⁷	6,45·10 ⁷	¹⁸¹ Hf	6,10·10 ⁵	6,10·10 ⁵
²⁴ Na	1,94·10 ⁹	2,89·10 ⁹			

Результаты и обсуждение

На основании данных по выбросам АО «ГНЦ НИИАР» (см. табл. 1) были оценены средние и максимальные значения содержания радионуклидов в воздухе и суточной интегральной плотности их осаднения до черты г. Димитровграда и п. Мулловки соответственно. В приземном атмосферном воздухе этих населенных пунктов наибольшей

Таблица 2

**Рационы питания населения Ульяновской области в 2020 г.
в среднем на потребителя в год, кг. [15]**

Продукт	Город	Село	Все домохозяйства
Молоко коровье	184,6	173,9	182,0
Молоко козье	1,3	1,3	1,3
Молоко кобылье	1,3	1,3	1,3
Масло сливочное	13,4	12,6	13,2
Сыр	40,1	37,8	39,6
Творог	26,8	25,2	26,4
Говядина	19,2	17,4	18,6
Свинина	39,3	35,6	38,1
Мясо птицы	18,3	16,6	17,7
Конина	0,5	0,4	0,4
Баранина	9,1	8,3	8,9
Мясо кролика	1,8	1,7	1,8
Рыба пресноводная	14,2	12,9	13,6
Яйца (шт.)	239	229	237
Хлеб и хлебобулочные изделия	82,2	100,2	86,7
Сахар и кондитерские изделия	26,7	31,2	27,6
Кукуруза	1,5	2,0	1,8
Картофель	53,0	63,8	55,0
Репа	0,5	0,8	0,8
Морковь	14,9	15,1	14,9
Редис	5,0	5,0	5,0
Сельдерей (корнеплод)	1,0	1,0	1,0
Сельдерей (листья)	1,0	1,0	1,0
Томаты	11,9	12,1	11,9
Баклажаны	5,0	5,0	5,0
Огурцы	11,9	12,1	11,9
Бобовые	1,0	1,0	1,0
Кабачки	2,0	2,0	2,0
Капуста	24,9	25,1	25,0
Листовые овощи и зелень	6,0	6,0	6,0
Лук	10,0	10,0	10,0
Яблоки	51,8	44,4	49,1
Груши	14,8	12,7	13,9
Сливы	7,4	6,3	7,1
Дикорастущие грибы	1,2	1,0	1,1
Лесные ягоды	0,5	1,5	1,0

объемной активностью характеризуются радиоизотопы инертных радиоактивных газов: ксенона, криптона и аргона. Это объясняется их химической стабильностью и способностью легко распространяться в атмосфере. По интегральной плотности осаждения на поверхность в сутки лидирующее место занимают изотопы йода (^{125}I , ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{135}I), что связано с их высокой химической активностью, склонностью образовывать соединения и осаждением на поверхность, особенно в виде аэрозолей или адсорбции на пылевых частицах.

В программе CROM оценили дозовые нагрузки на жителей тестовых населенных пунктов от различных путей облучения. Так среднегодовые дозы облучения взрослых жителей городских и сельских населенных пунктов в зоне влияния АО «ГНЦ НИИАР» изменяются в диапазоне от 1,04 до 1,11 мкЗв в зависимости от масштабов выбросов в атмосферу техногенных радиоизотопов (табл. 3). При этом основной вклад в дозовую нагрузку вносит внешнее облучение от радионуклидов, находящихся в воздухе. В среднем он составляет 96% от среднегодовой дозы и 90% при учете максимальных выбросов радиоизотопов. На долю облучения населения от земной поверхности приходится 2 – 4%, от потребления содержащей техногенные радионуклиды пищевой продукции 1 – 4% и по ингаляционному пути формируется около 1 – 3% дозы. Стоит отметить, что дозы облучения горожан и жителей сельских населенных пунктов в целом сопоставимы. Для обеих категорий населения при использовании в расчетах данных о максимальных выбросах (консервативный подход) суммарная доза оценивается на 5 – 6% выше, чем по средним показателям.

Таблица 3

Годовая эффективная доза облучения взрослого населения от выбросов АО «ГНЦ НИИАР», мкЗв

Источник облучения	Городское		Сельское	
	средняя	максимальная	средняя	максимальная
Радионуклиды в воздухе	0,997	0,997	0,997	0,997
Радионуклиды на земной поверхности	0,021	0,042	0,021	0,042
Потребление пищевых продуктов	0,013	0,027	0,014	0,040
Ингаляционный путь	0,013	0,037	0,013	0,027
Внешнее облучение	1,017	1,039	1,017	1,039
Внутреннее облучение	0,026	0,064	0,027	0,068
Суммарная доза	1,043	1,103	1,044	1,107

Среди различных возрастных категорий городского и сельского населения большую дозу по внутреннему облучению получают дети в возрасте от двух до семи лет из-за особенностей их рационов питания. Вклад этой составляющей в дозовую нагрузку у них несколько выше по сравнению с другими возрастными группами. У взрослого населения повышенным является ингаляционный путь облучения (см. рис. 1).

Основными дозообразующими радионуклидами, содержащимися в приземном атмосферном воздухе, являются инертные радиоактивные газы (рис. 2). На долю этих семи радиоизотопов приходится 99% от дозы внешнего облучения по данному пути. Максимальный вклад в дозу дают ^{88}Kr – 39%, ^{138}Xe – 23% и ^{41}Ar – 14%. В целом из представленных данных видно, что внешнее облучение является доминирующим

Impact of the JSC "SSC RIAR" activity on the Public Radiation Doses Prior to the Commissioning of a Multi-Purpose Fast Neutron Reactor

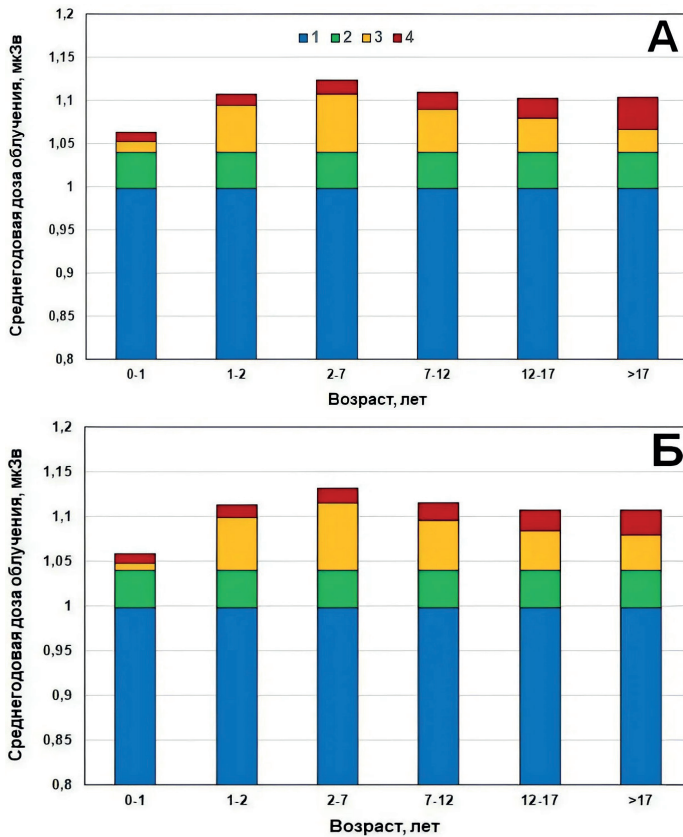


Рис. 1. Дозовые нагрузки на различные возрастные категории жителей А – городских и Б – сельских населенных пунктов от максимальных выбросов АО «ГНЦ НИИАР»: 1 – от радионуклидов в воздухе; 2 – от радионуклидов в земной поверхности; 3 – от радионуклидов в пищевых продуктах; 4 – от ингаляции радионуклидов

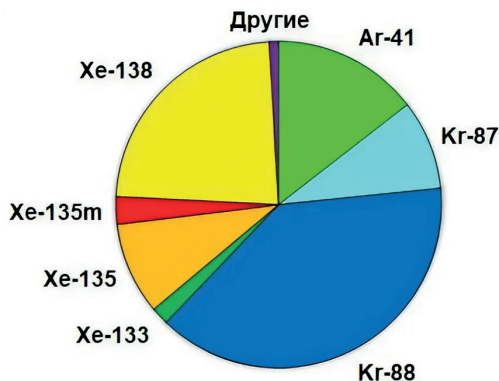


Рис. 2. Вклад в дозу внешнего облучения населения, проживающего в зоне влияния АО «ГНЦ НИИАР», от радионуклидов в приземном атмосферном воздухе

Влияние деятельности АО «ГНЦ НИИАР» на дозы облучения населения до начала эксплуатации многоцелевого реактора на быстрых нейтронах

путем дозоформирования от выбросов АО «ГНЦ НИИАР» у всех категорий жителей городских и сельских населенных пунктов.

Несмотря на низкий вклад в дозоформирование населения от потребления им местных пищевых продуктов, с точки зрения радиационной безопасности важно проанализировать роль этого пути облучения как по отдельным продуктам питания, так и по радионуклидам. Из рисунка 3 видно, что основными дозообразующими продуктами питания является продукция растениеводства: зерновые (вклад до 30 – 50% по разным возрастным группам), фрукты и ягоды (10 – 65%), листовые овощи (5 – 15%) и плодовые овощи (20 – 50%). Ведущая роль растениеводческой продукции в формировании дозы внутреннего облучения отмечается как в обоих типах населенных пунктов, так и при разных объемах выбросов радиоизотопов. Вклад продукции животноводства (молока, мяса, птицы) в дозу внутреннего облучения населения не превышает 1%, и он максимален у детей в возрасте до года, проживающих в сельской местности.

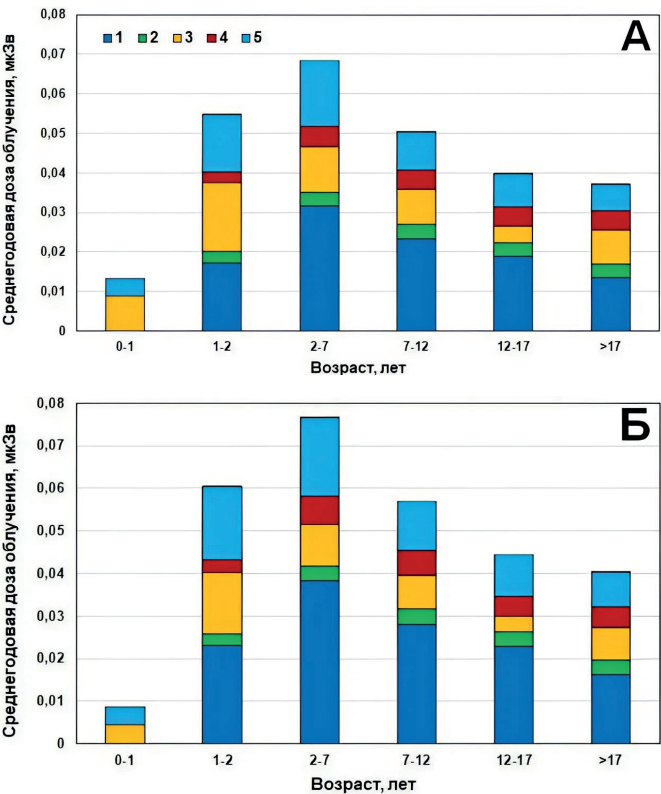


Рис. 3. Вклад в дозу внутреннего облучения жителей А – городских и Б – сельских населенных пунктов в зоне влияния АО «ГНЦ НИИАР» от радионуклидов, содержащихся в основных дозообразующих пищевых продуктах: 1 – зерновые; 2 – плодовые овощи; 3 – фрукты и ягоды; 4 – листовые овощи; 5 – корнеплоды и клубни

Значительный вклад в дозу внутреннего облучения от продуктов питания растительного происхождения объясняется несколькими причинами. Так растения активно поглощают радионуклиды азрально, из почвы и воды, что приводит к их накоплению

в плодах. Продукция растениеводства потребляется населением в большем количестве по сравнению с животноводческими продуктами. Растительная пища часто потребляется в сыром виде или обрабатывается незначительно, в то время как молоко и мясо проходят кулинарную обработку, которая снижает содержание радионуклидов. Таким образом, потребление продукции растениеводства представляет больший риск поступления радионуклидов в организм человека при рассмотренной штатной работе реакторных установок.

В отличие от городских населенных пунктов, где основными источниками формирования дозы внутреннего облучения у детей до года являются фрукты и овощи, в сельской местности до 0,7% дозы у этой возрастной категории формирует потребление продукции животноводства. Так среднегодовая доза внутреннего облучения детей до года от потребления местных продуктов питания в сельской местности составляет 8,75 нЗв, городской – 13,15 нЗв. При этом дозы от продуктов животного происхождения для этой возрастной группы на селе составляют $6,3 \cdot 10^{-3}$ нЗв, в городе – $1,8 \cdot 10^{-3}$ нЗв. Среднегодовые дозы внутреннего облучения от продуктов растительного происхождения составляют 8,74 и 13,14 нЗв для сельской и городской местности соответственно. Эти различия можно объяснить рядом факторов. Так, в сельских населенных пунктах распространено содержание частных коров, поэтому местные молоко и мясо, содержащие радионуклиды, более доступны для питания детей. Сельский уклад жизни способствует большему потреблению местных пищевых продуктов, что увеличивает поступление радионуклидов в организм ребенка. В городах, где рацион питания более разнообразен за счет широкой линейки продуктов питания из разных регионов, вклад дозы внутреннего облучения в суммарную дозовую нагрузку будет менее выражен.

Рассматривая радионуклидный состав, формирующий дозу внутреннего облучения детей в возрасте от двух до семи лет, как наиболее «критичной» по этому пути категории населения, следует отметить, что до 80% дозы от потребления местных пищевых продуктов определяется ^{131}I (рис. 4). На ^{125}I приходится около 8%, вклад в дозу ^{144}Ce , ^{244}Cm , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{90}Sr , ^{232}U составляет по 1,5 – 2,5% и на долю других радионуклидов приходится 3,5 – 4,5%.

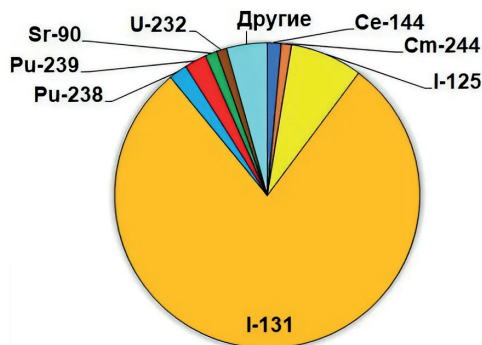


Рис. 4. Вклад в дозу внутреннего облучения детей в возрасте от двух до семи лет в зоне влияния АО «ГНЦ НИИАР» от дозообразующих радионуклидов в пищевых продуктах местного производства

Представленные закономерности дозоформирования определяют необходимость проведения в зоне влияния АО «ГНЦ НИИАР» регулярного радиационного контроля пищевой продукции местного производства в составе рационов питания детей в возрасте до семи лет по выделенным радионуклидам, а также внедрения образовательных программ для населения по безопасному потреблению продуктов питания.

Заключение

По данным АО «ГНЦ НИИАР»³ среднегодовая эффективная доза облучения населения г. Димитровград от всех источников, включая техногенно измененный радиационный фон, использование источников ионизирующего излучения на предприятиях, природные источники и медицинские исследования, составляет 3,65 мЗв, а жителей Ульяновской области – 2,79 мЗв. Доза облучения, формируемая от выбросов радионуклидов АО «ГНЦ НИИАР» у жителей городских и сельских населенных пунктов, не превышает 0,001 мЗв, что составляет 0,03 – 0,04% суммарной дозы облучения от всех источников облучения населения Димитровграда и области. Это пренебрежимо малый вклад в общее облучение населения. Кроме того такая дополнительная годовая дозовая нагрузка значительно ниже предельного порога индивидуальной эффективной дозы 1 мЗв согласно НРБ-99/2009. В то же время ее количественная оценка важна для дальнейшего анализа влияния на дозоформирование человека от эксплуатации ИЯУ МБИР. Полученные в работе результаты оценки доз облучения, формируемых от выбросов радионуклидов АО «ГНЦ НИИАР» у жителей городских населенных пунктов, хорошо согласуются с данными других исследователей, проводивших аналогичные расчеты (0,9 мкЗв/год) для жителей г. Димитровграда, где рассматривался более короткий (2013 – 2017 гг.) период времени [16].

В целом, результаты исследования показывают, что от выбросов АО «ГНЦ НИИАР» взрослое население региона получает дозовую нагрузку преимущественно через внешнее облучение от инертных радиоактивных газов (изотопов ксенона, криптона и аргона), поступающих в приземный атмосферный воздух. Дозу внутреннего облучения формирует потребление населением местных продуктов растениеводства: зерновых, фруктов и овощей, а наиболее облучаемой категорией населения являются дети в возрасте от двух до семи лет.

Литература

1. Tuzov A.A., Gulevich A.V., Kochetkov L.A., Tret'yakov I.T., Lukasevich I.B., Zvir A.I., Izhutov A.L., Leont'eva-Smirnova M.V., Tselishchev A.V. Potential problems of MBIR in validating new-generation nuclear power facilities and its experimental possibilities. *Atomic Energy*. 2015;119(1):32–36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-015-0025-3>
2. Zhemkov I.Y., Izhutov A.L., Novoselov A.E., Poglyad N.S., Svyatkin M.N. Experimental research in BOR-60 and analysis of its continuation in MBIR. *Atomic Energy*. 2014;116(5):338–342. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-014-9862-8>
3. Драгунов Ю.Г., Третьяков И.Т., Лопаткин А.В., Романова Н.В., Лукасевич И.Б. Многоцелевой быстрый исследовательский реактор (МБИР) – инновационный инструмент для развития

³ Отчеты по экологической безопасности за 2010 – 2020 годы. Димитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2011 – 2021. [*Environmental safety reports for 2010 – 2020. Dimitrovgrad. JSC «SRC RI-AR», 2011 – 2021 (in Russian).*].

ядерных энерготехнологий. *Атомная энергия*. 2012;113(1):25–28. URL: <https://j-atomicenergy.ru/index.php/ae/article/view/1355> (дата обращения 08.09.2024).

4. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2014, 436 p.

5. Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Крышев И.И. Моделирование радиоэкологических процессов в окружающей среде. М.: ООО «Маска», 2022, 638 с.

6. Панов А.В., Исамов Н.Н., Кузнецов В.К., Цыгвинцев П.Н., Гешель И.В. Оценка радиационной обстановки в районе расположения АО «ГНЦ НИИАР» до начала эксплуатации ИЯУ МБИР. Часть 1. Наземные экосистемы. *Радиация и риск*. 2022;31(2):36–47. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2022-31-2-36-47>

7. Панов А.В., Исамов Н.Н., Цыгвинцев П.Н., Кузнецов В.К., Гешель И.В. Оценка радиационной обстановки в районе расположения АО «ГНЦ НИИАР» до начала эксплуатации ИЯУ МБИР. Часть 2. Водные экосистемы. *Радиация и риск*. 2022;31(4):82–93. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2022-31-4-82-93>

8. Simmonds J.R., Lawson G., Mayall A. Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment. Report-EUR 15760EN. Radiation Protection 72. Brussels-Luxembourg, 1995.

9. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment: Safety Reports Series No 19, Vienna, IAEA, 2001, 216 p.

10. Спиридонов С.И., Карпенко Е.И., Шарпан Л.А. Ранжирование радионуклидов и путей облучения по вкладу в дозовую нагрузку на население, формирующуюся в результате выбросов атомных электростанций. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2013;53(4):401–410. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20130492> (дата обращения 08.08.2024).

11. МУ 2.6.1.2153-06. Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем: Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2007, 55 с.

12. МР 2.6.1.0063-12. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии: Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013, 55 с.

13. CROM: A code to integrate dose assessments for humans and biota. URL: <https://radioecology-exchange.org/content/crom> (дата обращения 08.09.2024 г).

14. Robles B., Suárez A., Mora J.C., Cancio D. Modelos implementados en el código CROM (Código de cRiba para evaluación de iMpacto). Madrid, 2007, 60 p. (Исп.).

15. Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах в 2020 году. М.: Федеральная служба государственной статистики, 2021, 83 с.

16. Аракелян А.А., Ведерникова М.В., Гаврилина Е.А., Печкурова К.А. Оценка вклада Государственного научного центра «НИИ атомных реакторов» в формирование техногенных рисков для населения Димитровграда. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2020;65(3):13–19. DOI: <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-3-13-19>

Поступила в редакцию 15.01.2025

После доработки 19.05.2025

Принята к опубликованию 30.05.2025

АвторыПанов Алексей Валерьевич, и.о. директора, д.биол.н., профессор РАН,

E-mail: riar@mail.ru

Микаилова Рена Александровна, научный сотрудник,

E-mail: renchik_vhi@mail.ru

UDC 614.876: 614.73: 621.039

Impact of the JSC “SSC RIAR” activity on the Public Radiation Doses Prior to the Commissioning of a Multi-Purpose Fast Neutron Reactor**Panov A.V.¹, Mikailova R.A.²**¹ IATE MEPhI,

1 Studgorodok ter., 249039 Obninsk, Kaluga reg., Russia

² NRC «Kurchatov Institute» – RIRAE,

1, bld. 1, Kievskoye Sh., 249035 Obninsk, Kaluga reg., Russia

Abstract

The article provides an assessment of the radiation doses to the population from the long-term emissions of the “Research Institute of Atomic Reactors” (RIAR, JSC “SSC RIAR”) before the operation of the Multipurpose Fast Neutron Reactor (MBIR). Radiation doses were calculated for the atmospheric release of 71 radionuclides, covering six age groups of urban and rural populations residing in the influence zone of JSC “SSC RIAR”. The evaluation was performed using the CROM software recommended by the IAEA. Dose calculations were carried out under two scenarios: average annual and maximum radionuclide emissions during 2010–2020, taking into account the consumption of locally produced food. The study showed that the average annual radiation doses for residents of urban and rural settlements in the influence zone of JSC “SSC RIAR” range from 1.04 to 1.11 μ Sv, depending on the volume of atmospheric emissions of anthropogenic radioisotopes. The main contribution (90–96%) to the dose burden is from external exposure to radionuclides in the air (notably ^{88}Kr , ^{138}Xe , and ^{41}Ar). Radiation from the ground surface accounts for 2–4%, food consumption containing anthropogenic radionuclides contributes 1–4%, and inhalation pathways account for approximately 1–3% of the dose. The most exposed category is children aged 2–7 years. Up to 80% of the internal radiation dose from local food consumption is attributable to ^{131}I , with the main dose-forming food products being: cereals (up to 30–50% across different age groups), fruits and berries (10–65%), fruit vegetables (20–50%), and leafy vegetables (5–15%). Overall, the average annual radiation dose to the population from emissions of JSC “SSC RIAR” does not exceed 0.04% of the total dose burden from all sources (2.8 mSv) in the region.

Keywords: SSC RIAR, MBIR, radioactive emissions, radionuclides, population, CROM, radiation dose, exposure pathways, radionuclide ranking, natural radiation background, radiation safety.

For citation: Panov A.V., Mikailova R.A. Impact of the JSC “SSC RIAR” activity on the Public Radiation Doses Prior to the Commissioning of a Multi-Purpose Fast Neutron Reactor. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2025;2:71–85. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.2.07> (in Russian).

References

1. Tuzov A.A., Gulevich A.V., Kochetkov L.A., Tret'yakov I.T., Lukasevich I.B., Zvir A.I., Izhutov A.L., Leont'eva-Smirnova M.V., Tselishchev A.V. Potential problems of MBIR in validating new-generation nuclear power facilities and its experimental possibilities. *Atomic Energy*. 2015;119(1):32–36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-015-0025-3>
2. Zhemkov I.Y., Izhutov A.L., Novoselov A.E., Poglyad N.S., Svyatkin M.N. Experimental research in BOR-60 and analysis of its continuation in MBIR. *Atomic Energy*. 2014;116(5):338–342. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-014-9862-8>.
3. Dragunov Yu.G., Tret'yakov I.T., Lopatkin A.V., Romanova N.V., Lukasevich I.B. MBIR multipurpose fast reactor–innovative tool for the development of nuclear power technologies. *Atomic Energy*. 2012;113(1):24–28. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-012-9590-x>
4. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2014, 436 p.
5. Sazykina T.G., Kryshev A.I., Kryshev I.I. Modeling of radioecological processes in the environment. Moscow, Maska Publ., 2022, 638 p. (in Russian).
6. Panov A.V., Isamov N.N., Kuznetsov V.K., Tsygvintsev P.N., Geshel I.V. Radiation situation in the area of the State Scientific Centre "Research Institute of Atomic Reactors" before putting a multi-purpose fast neutron reactor into operation. Part 1. Terrestrial ecosystems. *Radiation and Risk*. 2022;31(2):36–47. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2022-31-2-36-47> (in Russian).
7. Panov A.V., Isamov N.N., Kuznetsov V.K., Tsygvintsev P.N., Geshel I.V. Radiation situation in the area of the State Scientific Centre "Research Institute of Atomic Reactors" before putting a multi-purpose fast neutron reactor into operation. Part 2. Freshwater ecosystems. *Radiation and Risk*. 2022;31(4):82–93. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2022-31-4-82-93> (in Russian).
8. Simmonds J.R., Lawson G., Mayall A. Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment. Report-EUR 15760EN. Radiation Protection 72. Brussels-Luxembourg, 1995.
9. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. Safety Reports Series No 19, Vienna, IAEA, 2001, 216 p.
10. Spiridonov S.I., Karpenko Ye.I., Sharpan L.A. Ranking of radionuclides and pathways according to their contribution to the dose burden to the population resulting from NPP releases. *Radiacionnaja biologiya. Radiojekologiya*. 2013;53(4):401–410. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20130492> (accessed Sep. 08, 2024) (in Russian).
11. MU 2.6.1.2153-06. Operational assessment of population radiation doses due to radioactive contamination of the territory by air: Methodological guidelines. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2007, 55 p. (in Russian).
12. MR 2.6.1.0063-12. Monitoring of radiation doses of the population living in the observation zone of a radiation facility under conditions of its normal operation and radiation accident: Methodological recommendations. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2013, 55 p. (in Russian).
13. CROM: A code to integrate dose assessments for humans and biota. URL: <https://radioecology-exchange.org/content/crom> (accessed Sep. 08, 2024).
14. Robles B., Suárez A., Mora J.C., Cancio D. Models implemented in the CROM code (Crom code for impact assessment). Madrid, 2007, 60 p. (in Spanish).
15. Food consumption in households in 2020. Moscow, Federal State Statistics Service, 2021, 83 p. (in Russian).

16. Arakelyan A.A., Vedernikova M.V., Gavrilina E.A., Pechkurova K.A. Assessment of the contribution of Research Institute of Atomic Reactors in technogenic risks formation for the population of the city Dimitrovgrad. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2020;65(3):13–19. DOI: <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-3-13-19> (in Russian).

Authors

Aleksei V. Panov, Acting Director, Dr. Sci. (Biology), Professor RAS,

E-mail: riar@mail.ru

Rena A. Mikailova, Researcher,

E-mail: renchik_vhi@mail.ru