

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Ю.Л. Минаев¹, А.А. Супильников¹, Е.Г. Зарубина¹, П.А. Истратов²

Медицинский университет «Реавиз», Самара

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по г. Москве, Москва

Резюме. Целью данного исследования стало изучение частоты возникновения дополнительных случаев злокачественных новообразований (ЗНО) в сравнительном аспекте между поселением, проживающим рядом с полигоном захоронения радиоактивных ядерных отходов (РАО), и показателями экологически чистого района того же территориального образования (области). Оценка радиационной обстановки на прилегающей к объекту захоронения РАО жилой территории в поселении 1, и в поселении 2 (поселении сравнения), а также интерпретация полученных данных проводилась в строгом соответствии с требованиями нормативных документов, устанавливающих требования к объекту исследований. При выполнении измерений пользовались методикой, описанной в нормативных документах, устанавливающих данные правила: МУ 2.6.1.2398-08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности». Установлено, что, несмотря на то, что радиационный фон в поселении 1 не выходил за верхние границы допустимых показателей, тем не менее суммарная среднегодовая доза облучения, полученная жителями поселения 1, составляла 3,7 мЗв/год и превышает среднестатистические мировые показатели СГЭД, полученные от естественного фона (2,4 мЗв/год) на 54,2 %, что приводило к избыточному риску развития ЗНО по сравнению с экологически чистым районом. Это свидетельствует о том, что избыточный риск ЗНО может возникать даже в условиях радиационного фона в пределах считающейся безопасной дозы не более 5 мЗв/год. Однако этот риск значительно ниже, чем от высоких доз облучения. Это делает актуальным поиск решений, позволяющих реализовать рекомендации главного государственного санитарного врача России о снижении суммарной дозы облучения до 1 мЗв в год или о разработке мероприятий, позволяющих нивелировать вредные воздействия облучения на организм человека.

Ключевые слова: дополнительные случаи злокачественных новообразований, радиационная обстановка, гамма-излучение.

Для цитирования: Минаев Ю.Л., Супильников А.А., Зарубина Е.Г., Истратов П.А. Влияние малых доз гамма-излучения на организм человека. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2023;13(1). <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.1.CLIN.7>

EFFECTS OF LOW DOSES OF GAMMA RADIATION ON THE HUMAN BODY

Yu.L. Minaev¹, A.A. Supil'nikov¹, E.G. Zarubina¹, P.A. Istratov²

Medical University "Reaviz", Samara

Department of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare in Moscow, Moscow

Abstract. The purpose of this study was to investigate the incidence of additional cases of malignant neoplasms (MN) in a comparative aspect between the settlement living next to a radioactive waste disposal facility (RWDF) and the indicators of an environmentally clean area of the same territorial unit (region). Evaluation of radiation situation on the residential territory adjacent to the RAW disposal facility in settlement 1, and in settlement 2 (comparison settlement), as well as interpretation of the obtained data was performed in strict compliance with the requirements of regulatory documents specifying requirements to the research object. When performing measurements, the methodology described in the regulatory documents establishing these rules was used: MU 2.6.1.2398-08 "Radiation Monitoring and Sanitary-Epidemiological Assessment of Land Plots for Construction of Residential Buildings, Public and Industrial Buildings with Respect to Radiation Safety". The residents of the settlement 1 were found to be exposed to 3.7 mSv/year, i.e. 54.2% more than the average whole-year exposure dose received by the residents of the settlement 1 from natural background (2.4 mSv/year), which results in excessive risk of MHC development compared to the ecologically clean region. This indicates that excessive risk of MNS can occur even in conditions of radiation background within the considered safe dose of not more than 5 mSv/year. However, this risk is much lower than that from high doses of radiation. This makes it urgent to search for solutions that would allow implementation of the recommendations of the Chief State Sanitary Doctor of Russia regarding reduction of total radiation dose to 1 mSv per year or to develop measures allowing to neutralize harmful effects of radiation exposure on the human body.

Key words: additional cases of malignant neoplasms, radiation exposure, gamma radiation.

Cite as: Minaev Yu.L., Supil'nikov A.A., Zarubina E.G., Istratov P.A. Effects of low doses of gamma radiation on the human body. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ". Rehabilitation, Doctor and Health.* 2023;13(1). <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.1.CLIN.7>



Введение

XXI век стал веком быстро развивающихся технологий в промышленности, производстве, а также и в быту человека. Всё это потребовало большого количества энергии, производство которой растёт быстрыми темпами. Не последнее место в числе её источников занимает атомная энергетика. С одной стороны, атомная энергетика является крайне привлекательной, поскольку может обеспечить большим количеством «чистой» энергии при небольшом количестве топлива, с другой – при авариях (техногенных или вследствие природных катастроф в зоне объекта) последствия становятся катастрофическими в планетарном масштабе.

В настоящее время радиационному заражению планеты не уделяется столько внимания, как, например, другим экологическим проблемам: повышение в атмосфере количества парниковых газов, потепление климата, загрязнение атмосферы промышленными выбросами и т.п. Проблема радиоактивного заражения начинает активно обсуждаться только при возникновении аварийных ситуаций на АЭС, когда дозы облучения для населения становятся столь значительными, что могут вызывать развитие острой лучевой болезни и другие существенные нарушения здоровья в ближайшей перспективе. Однако непоправимый вред всему окружающему радиация, представляющая собой ионизирующее излучение, может наносить и при длительном воздействии на организм её малых доз. Малая доза облучения при любой мощности излучения трактуется как «низкий уровень облучения». К этому же понятию относят и низкую мощность дозы в течение всей жизни. По определению НКДАР ООН – наиболее компетентного международного научного органа – к малым дозам относятся накопленные дозы до 200 мЗв и к низкоинтенсивному излучению – мощность доз менее 1,10–4 Гр/мин.

К большим дозам облучения относят эквивалентные дозы, превышающие 1 Зв. Промежуточными эквивалентными дозами считают значения, заключённые между 0,1 и 1 Зв. Патогенетические процессы на фоне воздействия больших доз, в основном, изучены на последствиях военных действий (Хиросима, Нагасаки) и техногенных аварий (Чернобыльская АЭС, Фукусима 1 и др.).

Несмотря на длительный период изучения воздействия радиации на биологические объекты,

в том числе и человека, именно механизм влияния «малых» доз ионизирующего излучения и их последствия остаются наименее изученными, а результаты, полученные в этой области, – наиболее противоречивы. Мнения исследователей в этом вопросе кардинально отличаются. Общеизвестны две точки зрения: первая – гипотеза беспорогового действия ионизирующей радиации, согласно которой последняя в любом диапазоне доз вредна; и вторая гипотеза, которая утверждает, что малые дозы ионизирующего излучения способствуют репарации повреждений ДНК, стимулируют образование соответствующих ферментов, благодаря чему уменьшается число случаев рака.

Отсутствие единой точки зрения в отношении действия малых доз облучения среди учёных приводит к росту среди населения отрицательного отношения общественности к любым радиационным технологиям, а в практическом отношении – тормозит разработку действенных мер по защите населения от воздействия малых доз излучения.

Цель и задачи исследования

Целью данного исследования стало изучение частоты возникновения дополнительных случаев злокачественных новообразований (ЗНО) в сравнительном аспекте между населением, проживающим рядом с полигоном захоронения радиоактивных ядерных отходов (РАО), за пределами санитарно-защитной зоны (поселение 1) и показателями экологически чистого района (поселение 2) того же территориального образования (области).

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. Изучить в сравнительном аспекте радиационный фон двух территориальных образований – поселения 1 и поселения 2.
2. Сравнить риски возникновения дополнительных случаев онкологической патологии в поселениях 1 и 2 для определения степени влияния малых доз радиации на здоровье населения.

Материал и методы исследования

В ходе исследования сравнивались радиационная обстановка и риски развития ЗНО в двух населённых пунктах: в поселении 1 (за пределами санитарно-защитной зоны), которое располагалось в 4-х километрах от полигона – захоронения РАО, и

в поселении 2, которое располагалось в экологически наиболее чистом районе той же области.

Оценка радиационной обстановки на прилегающей к объекту захоронения РАО жилой территории в поселении 1, и в поселении сравнения, а также интерпретация полученных данных проводилась в строгом соответствии с требованиями нормативных документов, устанавливающих требования к объекту исследований:

1. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ -99/2009).

2. СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ -99/2010).

3. СанПиН 2.6.1.2800 «Требования радиационной безопасности при облучении населения природными источниками ионизирующего излучения».

При выполнении измерений пользовались методикой, описанной в нормативных документах, устанавливающих данные правила: МУ 2.6.1.2398-08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности».

Средством измерения (СИ) послужил дозиметр «ДКС АТ-1123» (России; заводской № 52711; св-во о поверке № 897 до 11.02.2020 г.; диапазон измерений от 50 нЗв/ч до 10 Зв/ч; погрешность измерений не более $\pm 15\%$).

Значение индивидуальной годовой эффективной дозы внешнего облучения взрослых жителей населённых пунктов определялось по результатам измерений мощности дозы гамма-излучения в жилых и общественных зданиях и на открытой местности на территории населенного пункта 1 и на территории населенного пункта 2, располага-

ющегося в экологически благоприятном районе, и рассчитывалось по формуле, мЗв/год:

$$E_{\text{внеш}} = d \cdot 8800 \cdot 10^{-3} \cdot (0,5H_{\text{ул}} + 0,5H_{\text{зд}}),$$

где 8800 – стандартное число часов в году;

10^{-3} – коэффициент перевода мкЗв в мЗв;

0,5 и 0,5 – доля времени нахождения людей в помещениях и на улице соответственно. Коэффициент 0,5 для работы на улице и в закрытом помещении брался с учётом сельской местности и работы на открытом воздухе;

H – среднее значение мощности дозы гамма-излучения на открытой территории населенного пункта (индекс «ул.») и в жилых и общественных зданиях (индекс «здан.») соответственно;

d – дозовый коэффициент, численное значение которого принимается равным: 1,0 мЗв/мкЗв – если мощность эквивалентной (амбиентной) дозы гамма-излучения, выраженная в мкЗв/час; 0,7 мЗв/мкГр – если мощность поглощённой дозы гамма излучения, выраженная в мкГр/час; 0,0061 мЗв/мкР – если мощность экспозиционной дозы гамма-излучения, выраженная в мкР/час.*

Суммарная среднегодовая доза облучения, полученная жителями обоих населенных пунктов, определялась по формуле:

$$СГЭД = E_{\text{внеш}} + E_{\text{внутр}}.$$

Вычисление риска – вероятности наступления нежелательных последствий онкологической заболеваемости определялось нами по формуле:

Риск = СГЭД(мЗв/год) 0,001 · Коэффициент риска,

где коэффициенты для расчёта избыточного пожизненного риска онкологических заболеваний с учётом лет проживания на местности, имеющей радиационный фон, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты избыточного пожизненного риска онкологической заболеваемости (МУ 2.1.10.3014-12. Оценка радиационного риска у населения за счёт длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах)

Table 1. Coefficients of excess lifetime risk of cancer morbidity (MU 2.1.10.3014-12. Estimation of Radiation Risk in Population Due to Prolonged Uniform Man-Made Irradiation in Low Doses)

Возрастная группа на начало облучения	Периоды облучения, лет								
	1	2	3	5	10	20	30	40	50
Дети 0–14 лет	0,17	0,33	0,48	0,77	1,42	2,47	3,26	3,85	4,25
Подростки 15–17 лет	0,12	0,24	0,35	0,57	1,07	1,88	2,49	2,91	3,15
Дети и подростки 0–17 лет	0,16	0,31	0,46	0,73	1,35	2,34	3,10	3,65	4,02
Взрослые от 18 лет и старше	0,06	0,12	0,18	0,28	0,51	0,85	1,04	1,14	1,17
Все население	0,08	0,16	0,23	0,37	0,67	1,12	1,42	1,61	1,70

Количество злокачественных новообразований, которые могут возникнуть в течение предстоящей жизни по причине воздействия на жителей внешнего и внутреннего облучения, вычисляли по формуле:

Количество ЗНО = Численность населения · Риск.

Полученные результаты и их обсуждение

Опасность гамма-излучения обусловлена лёгкостью и глубиной его проникновения в живые ткани человека и животных. При этом для повреждающего эффекта на биологический объект не

влияет место расположения источника радиации – внешняя или внутренняя среда организма. Наибольшая опасность заключается в воздействии на генетический аппарат клеток, что может приводить к развитию злокачественных новообразований. Гамма-лучи и нейтроны, проходя через вещество, ионизируют атомы белков, липидов, нуклеиновых кислот и т.п.

В соответствии с поставленной целью и задачами нами определялись мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в поселениях 1 и 2 (табл. 2).

Таблица 2. Усреднённые результаты измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в точках с максимальными показаниями поискового прибора

Table 2. Averaged results of the measurement of the dose rate ambient equivalent of gamma radiation in the points with the maximum readings of the search instrument

Место измерения	Н, мкЗв/ч	Δ, мкЗв/ч	Примечание
Поселение 1 (на территории)	0,30	±0,02	Верхняя граница нормального фона
Поселение 1 (внутри жилых домов)	0,18	±0,03	Нормальный фон
Поселение 2 (на территории)	0,07	±0,004	Нормальный фон
Поселение 2 (внутри жилых домов)	0,05	0,003	Нормальный фон

Примечание: Н – измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения; Δ – неопределенность измерений.

Если говорить о радиационном фоне, то принято условно различать: нормальный фон, который для большинства территорий России составляет величину, изменяющуюся в пределах 0,05÷0,30 мкЗв/ч, и повышенный фон, где мощность эквивалентной дозы внешнего облучения составляет до 1,5÷2 мкЗв/ч. Как видно из представленных показателей, только на территории жилой застройки в поселении 1 была зафиксирована верхняя граница нормального фона. При этом радиационный фон в поселении 1 по своему уровню был сопоставим с той мощностью излучения, которая характерна, например, для полета на самолете на высоте 8000 метров, где мощность дозы составляет величину около $\dot{H} = 1,35$ мкЗв/ч.

В настоящее время опасность «малых» доз радиации для человека остаётся до конца не доказанной, поскольку очень сложным остаётся в этом случае вопрос применения основного критерия опасности облучения – количественной оценки дополнительных, по отношению к спонтанному уровню, случаев онкологических заболеваний и генетических нарушений. Сложность применения данного критерия заключается, прежде всего, во временном факторе, требующемся для формиро-

вания заключения и масштабности исследования, сравнении данных из различных зон. Безопасность или опасность «малых» доз радиации для человека при этом может быть подтверждена лишь сравнением возможного риска возникновения заболеваний на фоне облучения и уровня онкологической заболеваемости в благоприятных условиях.

В соответствии с этой теорией нами были в сравнительном аспекте проанализированы избыточные риски развития ЗНО в двух поселениях с разным радиационным фоном, но находящиеся в одном территориальном образовании (с равными природно-климатическими факторами и уровнем развития промышленной и сельскохозяйственных зон, что позволяло говорить о статистической однородности сопутствующих факторов, влияющих на состояние здоровья населения).

При расчёте показателей, связанных с определением избыточного риска развития онкологической патологии, для поселений 1 и 2 нами было сделано допущение, что средняя доза внутреннего облучения от естественных источников, накопленная на душу населения, в поселении 1 и поселении 2 не превышает средних общепланетарных

значений (1,2 мЗв главным образом за счёт радона и 0,3 мЗв от инкорпорированных радионуклидов) и является одинаковой для обоих поселений, поскольку они находятся в границах одного территориального образования (области). Для оценки радиационной обстановки в поселениях сравнения применялись те же показатели, что и для основной зоны. Для получения сравнимых результатов расчёт прогнозируемого числа дополнитель-

ных случаев ЗНО в поселении 2 проводился на аналогичном с поселением 1 количестве жителей.

Полученные в ходе исследования данные по рискам ЗНО для населения исследуемых поселений, при условии, если они будут проживать на его территории в течение 1 года, 5 и 10 лет соответственно (при использовании средних для данного населенного пункта значений Н), представлены в таблице 3.

Таблица 3. Дополнительные риски ЗНО для населения исследуемых поселений при условии различной длительности проживания в непосредственной близости от полигона РАО

Table 3. Additional risks of cancer for the population of the investigated settlements under the condition of different duration of residence in the vicinity of the RW dump

Показатель	Нср, мкЗв/ч	СГЭД, мЗв/год	Среднее количество населения, чел.	Количество дополнительных случаев заболевания ЗНО в течение последующей жизни населения		
				Проживание на территории 1 год	Проживание на территории 5 лет	Проживание на территории 10 лет
Поселение 1	0,30	3,7	7157	2,1	9,5	17,3
Поселение 2	0,07	2,0	7157	0,8	3,8	6,9
Избыточный риск ЗНО в поселении 1 по сравнению с поселением 2				+0,3	+5,7	+10,4

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что, несмотря на то, что радиационный фон в поселении 1 не выходит за верхние границы допустимых показателей, тем не менее, суммарная среднегодовая доза облучения, полученная жителями поселения 1, составляет 3,7 мЗв/год и превышает среднестатистические мировые показатели СГЭД, полученные от естественного фона (2,4 мЗв/год), на 54,2 %. Вместе с тем, этот показатель укладывается в допустимые нормативы, которые утверждены в РФ – до 5 мЗв/год и международные нормы 1–10 мЗв/год.

Избыточный риск ЗНО в поселении 1, характеризующийся как разница между оценкой риска, рассчитанной при условии воздействия конкретного негативного фактора среды обитания (дополнительная к естественному фону техногенная радиация), и оценкой риска, рассчитанной при условии отсутствия воздействия названного фактора, представлены в таблице 3. Избыточный риск ЗНО в поселении 2 был, по-видимому, обусловлен факторами внешней среды (экологическое неблагополучие не радиационной природы).

Заключение

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о следующем:

1. Избыточный риск ЗНО может возникать даже в условиях радиационного фона в пределах считающейся безопасной дозы не более 5 мЗв в год. Риск развития дополнительных случаев ЗНО значимо возрастает после 5 лет проживания в зоне воздействия малых доз радиации.

2. Несмотря на то, что уровень гамма-излучения не превышает в зоне жилой застройки допустимых значений (суммарная среднегодовая доза облучения, полученная жителями в поселении, 1–3,7 мЗв/год), количество дополнительных случаев заболевания ЗНО в течение последующей жизни населения при проживании на данной территории в течение 1-го года, 5 и 10 лет составляют +0,3, +5,7 и +10,3 случаев соответственно, что значительно больше, чем в поселении 2, где имеется лишь природный радиационный фон.

3. Выявление риска дополнительных случаев ЗНО на фоне длительного воздействия малых доз радиации делает актуальным поиск решений, позволяющих реализовать рекомендации главного государственного санитарного врача России о снижении суммарной дозы облучения до 1 мЗв в год.

Кроме этого, необходимо проводить мероприятия, позволяющие нивелировать вредные воздействия даже малых доз облучения на организм человека, а также разрабатывать программы комплексной оценки факторов (природно-климатического ха-

рактера, химической загрязненности и т.п.) с учётом возможной суммации вредных воздействий на здоровье человека при определении мест для строительства РАО.

Литература/References

- 1 Istratov P., Minaev Y., Zarubina E., Zolotariov P. Computer Program to Automate the Determination of the Size of Sanitary Protection Zones (Spzs) and Surveillance Zones for the Storage of Sources of Ionizing Radiation in Places of Burial / Storage of Radioactive Waste. *Advances in Systems Science and Applications*. 2022;22(4):212–223. <https://doi.org/10.25728/assa.2022.22.4.1241>
- 2 Istratov P. The Nature of the Combined Effect of Low Doses of Radiation and Chemical Pollutants in Doses Close to the Maximum Permissible, on the State of Somatic Health of the Population. *Advances in Systems Science and Applications*. 2022;22(4):202–211. <https://doi.org/10.25728/assa.2022.22.4.1237>
- 3 Петин В.Г., Проиксевич М.Д. Анализ действия малых доз ионизирующего излучения на онкозаболеваемость человека. *Радиация и риск*. 2012;21(1):39–57. [Petin V.G., Proiksevich M.D. Analysis of the effect of small doses of ionizing radiation on human oncological morbidity. *Radiation and risk*. 2012;21(1):39-57. (In Russ.)]
- 4 Коротовских О.И., Вазиров Р.А., Агданцева Е.Н., Баранова А.А. Математическое моделирование фактора изменения дозы при радиационноиндуцированной адаптации. *АНРИ*. 2019;4:57–63. [Korotovskikh OI, Vazirov RA, Agdantseva EN, Baranova AA Mathematical modeling of the dose change factor in radiation-induced adaptation. *ANRI*. 2019;4:57-63.]
- 5 Devic C., Ferlazzo M. L., Foray N. Influence of individual radiosensitivity on the adaptive response phenomenon: toward a mechanistic explanation based on the nucleo-shuttling of ATM Protein. *Dose-Response*. 2018;16(3):1559325818789836.
- 6 Shibamoto Y., Nakamura H. Overview of biological, epidemiological, and clinical evidence of radiation hormesis. *International journal of molecular sciences*. 2018;19(8):2387.
- 7 Кащеев В.В., Чекин С.Ю., Карпенко С.В., Максютов М.А., Туманов К.А., Кочергина Е.В., Глебова С.Е., Иванов С.А., Каприн А.Д. Оценка радиационных рисков злокачественных новообразований среди российских участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльско АЭС. *Радиация и риск*. 2021;30(1):58–77. [Kascheev VV, Chekin SV, Karpenko SV, Maksyutov MA, Tumanov KA, Kochergina EV, Glebova SE, Ivanov SA, Kaprin AD Assessment of radiation risks of malignancies among Russian participants of Chernobyl accident consequences liquidation. *Radiation and risk*. 2021;30(1):58-77. (In Russ.)]
- 8 Когарко И.Н., Аклейев А.В., Петушкова В.В., Нейфах Е.А., Когарко Б.С., Ктиторова О.В., Ганеев И.И. К вопросу о формировании адаптивного ответа под действием природного и профессионального факторов хронического облучения. Обзор литературы. *Радиация и риск*. 2021;30(3):134–148. [Kogarko I.N., Akleyev A.V., Petushkova V.V., Neyfakh E.A., Kogarko B.S., Ktitorova O.V., Ganeyev I.I. To the question of the formation of adaptive response under the action of natural and occupational factors of chronic irradiation. A review of the literature. *Radiation and risk*. 2021;30(3):134-148. (In Russ.)]

Конфликт интересов. Супильников А.А. является членом редакционной коллегии журнала, в рецензировании работы и принятии решения о публикации не участвовал.

Competing interests. Supilnikov A.A. is a member of the editorial board of the journal, did not participate in reviewing the work and making a decision on publication.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Funding. This research received no external funding.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо, и правила обращения с животными в случаях их использования в работе.

Compliance with ethical principles. The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary, and the rules of treatment of animals when they are used in the study.

Авторская справка**Минаев Юрий
Леонидович**

проректор по информационным технологиям и дистанционному обучению, Медицинский университет «Реавиз», Самара, Россия
E-mail: yu.l.minaev@reaviz.online; ORCID 0000-0002-2500-5540
Вклад в статью – разработка концепции исследования

**Супильников Алексей
Александрович**

кандидат медицинских наук, доцент, первый проректор по научной работе, заведующий кафедрой морфологии и патологии, Медицинский университет «Реавиз», Самара, Россия
E-mail: a.a.supilnikov@reaviz.online; ORCID 0000-0002-1350-0704
Вклад в статью – анализ радиобиологических принципов организации исследования

**Зарубина Елена
Григорьевна**

доктор медицинских наук, профессор, советник ректора по научной работе, директор центра практических навыков, заведующая кафедрой медико-биологических дисциплин, Медицинский университет «Реавиз», Самара, Россия
ORCID 0000-0002-7161-1226
Вклад в статью – статистическая обработка материала, подготовка выводов

**Истратов Петр
Александрович**

начальник отдела надзора за условиями труда и радиационной безопасностью, Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по г. Москве, Москва, Россия
ORCID 0000-0002-3204-1515
Вклад в статью – формулирование выводов и рекомендаций