

К вопросу монетарной оценки потенциального ущерба, связанного с воздействием ионизирующего излучения на население Российской Федерации

А.В. Водоватов^{1,2}, Л.В. Репин¹, А.М. Библин¹, Д.В. Кононенко¹, Г.А. Горский^{1,3}

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

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

Введение: Оценка потенциального ущерба, связанного с воздействием ионизирующего излучения на человека, является одним из основных этапов принятия управленческих решений в контексте обоснования расходов на практическую реализацию требований по обеспечению радиационной безопасности. Наиболее универсальной является оценка ущерба в денежных единицах. Несмотря на то, что детальные расчеты такого ущерба являются специфическими для каждого сценария использования источников ионизирующего излучения, для грубой консервативной монетарной оценки возможно использовать методику, представленную в Нормах радиационной безопасности НРБ-99/2009. Целью данной работы являлась оценка потенциального ущерба, связанного с радиационным воздействием на человека в Российской Федерации, в монетарном выражении. *Краткое содержание:* В данной работе описаны ограничения применимости данной методики и выполнена оценка ущерба для различных источников ионизирующего излучения. *Заключение:* Результаты работы можно использовать для обоснования расходов на организацию мероприятий по обеспечению радиационной защиты в Российской Федерации.

Ключевые слова: радиационный ущерб, источники ионизирующего излучения, коллективная доза, монетарная оценка, Нормы радиационной безопасности.

Issues of monetary evaluation of potential radiation detriment of the population of the Russian Federation

Aleksandr V. Vodovатов^{1,2}, Leonid V. Repin¹, Artem M. Biblin¹, Dmitry V. Kononenko¹, Grigory A. Gorsky^{1,3}

¹ Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

² Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

³ I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint Petersburg, Russia

Introduction: Assessment of the potential radiation detriment is one of the key elements in decision-making processes within the context of the practical implementation of radiation safety requirements. In the absence of more suitable indicators, the most universal approach is based on the evaluation of detriment in monetary terms. Although detailed calculations of such detriment are specific to each scenario involving the use of sources of ionizing radiation, a rough conservative monetary evaluation can be performed using the methodology outlined in the Norms of the Radiation Safety NRB-99/2009. The objective of this study was to assess the potential detriment associated with radiation exposure in the Russian Federation, expressed in monetary units. *Summary:* The work describes the limitations of this methodology and provides an evaluation of detriment for various sources of ionizing radiation. *Conclusion:* The results of this study can be used to justify and estimate the effectiveness of radiation protection measures in the Russian Federation.

Key words: radiation detriment, sources of ionizing radiation, collective dose, monetary evaluation, Norms of the Radiation Safety.

Водоватов Александр Валерьевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: vodovatoff@gmail.com

Aleksandr V. Vodovатов

Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev
Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com

Введение

Практическая реализация принципов обоснования и оптимизации радиационной защиты требует решения задачи сопоставления пользы и вреда, связанных с изменением ситуации облучения [1, 2]. При этом сопоставление пользы и вреда должно осуществляться в соизмеримых единицах, а наиболее универсальной из таких единиц является стоимостное выражение пользы и «вреда» (затрат или издержек, вызванных изменением ситуации облучения) [3, 4]. Монетарная оценка вреда, связанного с использованием ионизирующего излучения (ИИ) в управляемых условиях, является комплексной задачей и может включать в себя множество факторов, не связанных напрямую с воздействием ИИ на человека. Например, при оценке полного ущерба, связанного с медицинским облучением, к числу издержек можно отнести не только стоимостное выражение ущерба для здоровья пациентов, связанного с воздействием ИИ при проведении исследования, но и издержки, связанные со снижением диагностической или терапевтической эффективности процедуры, возможным развитием побочных эффектов от процедуры и/или радиационных аварий и происшествий, связанных с переоблучением пациентов и прочее [3–5].

Масштаб и сложность задачи оценки пользы и вреда при медицинском облучении пациентов заключаются еще и в различном распределении пользы и вреда во времени. Потенциальная польза от использования ИИ реализуется (при удачном стечении обстоятельств) либо непосредственно после проведения исследования (благодаря быстрому получению необходимой диагностической информации), либо спустя некоторое время (благодаря своевременной постановке диагноза, эффективному лечению и увеличению продолжительности здоровой жизни пациента). Возможный вред от медицинского облучения может реализоваться спустя годы и даже десятилетия¹. Аналогичные рассуждения применимы и к иным ситуациям и сценариям облучения [6, 7]. Тем не менее, даже консервативная монетарная оценка вреда (ущерба) позволит обеспечить необходимую базу для решения практических задач обеспечения радиационной защиты населения.

Цель исследования – оценка потенциального ущерба, связанного с радиационным воздействием на человека в Российской Федерации, в монетарных величинах.

В СанПиН 2.6.1.2523-09² предлагается следующий подход к монетарной оценке потенциального ущерба, связанного с радиационным воздействием на человека: «Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года жизни населения. Величина денежного

Introduction

The practical implementation of the principles of justification and optimization in radiation protection requires addressing the challenge of comparing the benefits and detriment associated with changes in exposure situations [1, 2]. Comparison of benefits and detriment must be conducted in commensurate units, with the most universal of these being the monetary expression of benefits and "detriment" (costs or losses induced by changes in the exposure situation) [3, 4]. The monetary valuation of detriment associated with the use of ionizing radiation (IR) in controlled situations is a complex task that may encompass a wide range of factors not directly related to the impact of IR on humans. For instance, when assessing the total detriment associated with medical exposure, the costs may include not only the monetary valuation of reduction in patient health due to IR exposure during procedures, but also expenses related to reduced diagnostic or therapeutic effectiveness of the procedure, potential development of side effects from the procedure, and/or radiation accidents and incidents resulting in patient overexposure [3–5].

The scale and complexity of the task of assessing benefits and detriment in the context of medical exposure of patients are further compounded by the differing temporal distribution of benefits and detriment. The potential benefits from the use of IR are realized (under favorable circumstances) either immediately following the procedure (due to the rapid acquisition of necessary diagnostic information) or after some time (due to timely diagnosis, effective treatment, and an increase in the patient healthy lifespan). In contrast, the potential harm from medical exposure may manifest years or even decades later¹. Similar considerations apply to other exposure situations and scenarios [6, 7]. Nevertheless, even a conservative monetary valuation of harm (detriment) can provide the necessary basis for addressing practical challenges in ensuring the radiation protection of the population.

The objective of this study was to evaluate the potential detriment associated with radiation exposure to humans in the Russian Federation, expressed in monetary terms.

In SanPiN 2.6.1.2523-09 ("Norms of the Radiation Safety (NRB-99/2009)"),² the following approach to the monetary estimation of potential detriment associated with radiation exposure to humans is proposed: "To justify expenditures on radiation protection in the implementation of the optimization principle, it is assumed that exposure resulting in a collective effective dose of 1 person-Sv leads to potential detriment equivalent to the loss of approximately 1 person-year of population life. The monetary equivalent of the loss of 1 person-year of life is established by separate federal-level documents and set at no less than 1 annual per capita national income."

¹В рамках настоящей статьи не рассматриваются издержки, относящиеся к периоду, предшествующему периоду облучения. К таким издержкам можно отнести расходы и риски, связанные с разработкой, производством, логистикой, эксплуатацией и обслуживанием оборудования, являющегося источником ИИ, а также иные издержки, не относящиеся непосредственно к ситуации облучения человека. [Within the scope of this article, costs pertaining to the period prior to the exposure period are not considered. Such costs may include expenses and risks associated with the development, production, logistics, operation, and maintenance of equipment serving as a source of IR, as well as other costs not directly related to the situation of human exposure (In Russ..)]

²Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47 (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 14.08.2009, регистрационный № 14534). [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 14.08.2009, registration No. 14534). (In Russ..)]

эквивалента потери 1 чел.-года жизни устанавливается отдельными документами федерального уровня в размере не менее 1 годового душевого национального дохода».

Указанные значения выведены из следующих соображений:

1) риск развития стохастических эффектов облучения принимается равным 0,057 на 1 чел.-Зв коллективной дозы в соответствии с п. 2.3 НРБ-99/2009;

2) средняя потеря лет жизни, связанная с возникновением онкологического заболевания, в соответствии с Публикацией 103 МКРЗ [1] принята равной 15 годам;

3) облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потере приблизительно $0,057 \cdot 15 = 0,855$ чел.-года жизни;

4) доля несмертельных заболеваний в общем радиационном ущербе составляет порядка 10 %, что позволяет округлить потери до 1 чел.-года жизни.

Указанные соображения позволяют примерно оценить нижнюю границу возможных непрямым экономических потерь на уровне 1 среднегодовой величины валового внутреннего продукта на душу населения, «непроизведенного вследствие потери рабочего времени (дней и лет) заболевшим» [8] или непроизведенного вследствие необходимости ухода за лицом, нуждающимся в таком уходе (при заболевании ребенка, пенсионера или иного лица). Важно отметить, что полученная таким образом оценка возможного ущерба рассчитана лишь на решение задачи обоснования расходов на обеспечение радиационной защиты. Не следует воспринимать данную оценку в качестве прогноза реального экономического ущерба [3, 4]. Тем более, не следует рассматривать указанную величину в качестве оценки ущерба в ситуациях, связанных с радиационными авариями, поскольку оценка нерадиационных последствий таких аварий является отдельной сложной задачей, при решении которой непосредственно радиационный вред для здоровья зачастую не играет значимой роли в суммарном ущербе.

Рассматривая экономический ущерб, связанный непосредственно с воздействием ИИ на здоровье человека в различных ситуациях облучения, следует различать управляемую и неуправляемую составляющие ущерба (суммарного риска для здоровья). К неуправляемой составляющей относятся источники ИИ, вклад которых в коллективную дозу облучения принципиально не может быть снижен разумными способами (например, облучение за счет ^{40}K , содержащегося в теле человека, или за счет космического излучения). Неуправляемые риски следует воспринимать не как «риски», но как условия жизни. В противоположность им к управляемой составляющей ущерба относятся источники ИИ, вклад которых в коллективную дозу принципиально может корректироваться. Однако, рассматривая управляемые источники ИИ, следует разделять связанные с такими источниками риски на предотвратимые и предотвратимые. В отличие от управляемых и неуправляемых, граница между предотвратимыми и предотвратимыми рисками менее строга и может определяться исходя из целесообразности вмешательства. Примером, демонстрирующим нестрогость границы, может служить ситуация природного облучения. По данным функционирующего в Российской Федерации в рамках Единой государственной системы контроля и учета доз облучения граждан (ЕСКИД) более 20 лет Федерального банка данных доз облучения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона (ФБДОПИ)³, среднерегиональные дозы облучения населения за счет природных источников (за вычетом неуправляемого компонента, составляющего в сред-

These values are derived from the following considerations:

1. The risk of developing stochastic effects from radiation exposure is taken as 0.057 per 1 person-Sv of collective dose, in accordance with Clause 2.3 of NRB-99/2009;

2. The average loss of years of life associated with the onset of an oncological disease is assumed to be 15 years, in accordance with ICRP Publication 103 [1];

3. Exposure resulting in a collective effective dose of 1 person-Sv leads to a loss of approximately $0.057 \cdot 15 = 0.855$ person-year of life;

4. The proportion of non-fatal diseases in the total radiation-induced detriment is approximately 10 %, which allows rounding the loss to 1 person-year of life.

These considerations allow for an approximate estimation of the lower bound of potential indirect economic losses at the level of 1 average annual per capita gross domestic product, "not produced due to the loss of working time (days and years) by the affected individual" [8] or not produced due to the need to care for a person requiring such care (e.g., in the case of illness of a child, pensioner, or other individual). It is important to note that the estimate of potential detriment derived in this manner is intended solely for the purpose of justifying expenditures on radiation protection measures. This estimate should not be interpreted as a prediction of actual economic detriment [3, 4]. Furthermore, it should not be regarded as an assessment of detriment in situations involving radiation accidents, as the evaluation of non-radiation consequences of such accidents constitutes a separate and complex task, in which direct radiation harm to health often does not play a significant role in the total detriment.

When considering the economic detriment directly associated with the impact of IR on human health across various exposure situations, it is necessary to distinguish between the manageable and unmanageable components of detriment (total health risk). The unmanageable component includes sources of IR whose contribution to the collective dose cannot, in principle, be reasonably reduced (e.g., exposure due to ^{40}K present in the human body or due to cosmic radiation). Unmanageable risks should be perceived not as "risks" but as inherent conditions of life. In contrast, the manageable component of detriment encompasses sources of IR whose contribution to the collective dose can, in principle, be adjusted. However, when examining manageable IR sources, it is important to further differentiate the associated risks into preventable and unpreventable categories. Unlike the distinction between manageable and unmanageable components, the boundary between preventable and unpreventable risks is less rigid and may be determined based on the feasibility of intervention. An example illustrating the flexibility of this boundary is the case of exposure to natural background radiation. According to data from the Federal Dose Data Bank on Exposure from Natural and Technogenically Altered Radiation Background, which has been operating in the Russian Federation for over 20 years as part of the Unified System for Monitoring and Recording Individual Radiation Doses of Citizens (ESKID)³, the average regional doses to the population from natural sources (excluding the unmanageable component, which averages about 15 %) vary widely—from slightly above 2 to nearly 9 mSv/year. At the same time,

³Постановление Правительства Российской Федерации от 16.06.97 № 718 «О порядке создания единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан» [Decree of the Government of the Russian Federation No. 718 of June 16, 1997, "On the Procedure for Establishing the Unified System for Monitoring and Recording Individual Radiation Doses of Citizens "(In Russ.)]

нем около 15 %) варьируются в достаточно широких пределах – от чуть более 2 до почти 9 мЗв/год. При этом классификация уровней доз установлена в отечественных санитарных правилах, по сути, экспертно (например, после накопления 10-летнего массива данных о реальных дозах облучения первоначальные границы доз приемлемого, повышенного и высокого природного облучения населения, установленные в ОСПОРБ-99⁴, были пересмотрены в ОСПОРБ 99/2010⁵ в сторону увеличения в два раза). Соответственно, предотвратимыми полагаются риски, снижение которых до «приемлемого» уровня в принципе рассматривается в рамках системы радиационной защиты [6, 7].

Для прогнозной монетарной оценки потенциального ущерба населению Российской Федерации за счет различных видов источников ИИ были использованы данные о структуре коллективной дозы, полученные по результатам радиационно-гигиенической паспортизации за 2023 год⁶. Для расчетов использовали величину душевого валового национального дохода в Российской Федерации, принятую за 1,1 млн рублей⁷. Результаты расчетов представлены в таблице.

the classification of dose levels in national regulations has been established largely on an expert basis (e.g., after accumulating a 10-year dataset of actual exposure doses, the initial thresholds for acceptable, elevated, and high levels of public exposure to natural background radiation set in OSPORB-99⁴ were revised upward by a factor of two in OSPORB-99/2010⁵). Accordingly, risks are considered preventable if their reduction to an "acceptable" level is, in principle, addressed within the framework of the radiation protection system [6, 7].

For the predictive monetary estimation of potential detriment to the population of the Russian Federation caused by various types of IR sources, data on the structure of the collective dose, obtained from the results of radiation-hygienic certification for 2023⁶, were utilized. For the calculations, the per capita gross national income in the Russian Federation was adopted as 1.1 million RUB⁷. The results of the calculations are presented in the table.

Таблица

Структура коллективной дозы населения Российской Федерации и связанного с ней потенциального ущерба в различных единицах

[Table

Structure of the collective dose of the population of the Russian Federation and its associated potential detriment in various units]

Виды облучения населения Российской Федерации [Type of radiation exposure in the Russian Federation]	Коллективная эффективная доза, чел.-Зв/год [Collective effective dose (person-Sv/year)]	Вклад, % [Contribution (%)]	Средняя эффективная доза на жителя, мЗв/год [Average effective dose per resident (mSv/year)]	Натуральная оценка годового ущерба, количество смертельных и не смертельных случаев заболеваний [Natural annual detriment estimate (Number of fatal and non-fatal cases)]	Монетарная оценка годового ущерба, млн руб. [Monetary annual detriment estimate (Million RUB)]	Управляемость источником [Source controllability]	Потенциал снижения [Reduction potential]
Деятельность предприятий, использующих источники ИИ. В том числе: [Activities of enterprises using ionizing radiation sources Including:]	347,1	0,1	0,002	20	381,81	Да [Yes]	Да [Yes]
– персонала [– Staff]	329,1	0,1	0,002	19	362,01	Да [Yes]	Да [Yes]
– населения, проживающего в зонах наблюдения [– Population residing in observation zones]	18	0,003	–	1	19,8	Да [Yes]	Нет [No]

⁴Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99): Санитарные правила СП 2.6.1.799-99. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27.12.1999. [Basic sanitary rules for the provision of radiation safety (OSPORB-99). Sanitary rules SP 2.6.1.799-99. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation 27.12.1999. Expired. (In Russ.)]

⁵Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26.04.2010 № 40 (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 11.08.2010, регистрационный № 18115). [Basic sanitary rules for the provision of radiation safety (OSPORB 99/2010). Sanitary rules and norms SP 2.6.1.2612-10. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 26.04.2010 No. 40 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 11.08.2010, registration No. 18155). (In Russ.)]

⁶Постановление Правительства Российской Федерации № 93 от 28.01.97 г. «О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий» [Decree of the Government of the Russian Federation No. 93 of January 28, 1997, "On the Procedure for Developing Radiation-Hygienic Passports of Organizations and Territories"(In Russ.)]

⁷Доступно по ссылке: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/WVP_na_dushu_s1995-2023.xls (Дата обращения: 01.02.2025) [Available from: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/WVP_na_dushu_s1995-2023.xls (Accessed February 01.02.2025) (In Russ.)]

Discussion

Продолжение таблицы

Виды облучения населения Российской Федерации [Type of radiation exposure i in the Russian Federation]	Коллективная эффективная доза, чел.-Зв/год [Collective effective dose (person-Sv/year)]	Вклад, % [Contribution (%)]	Средняя эффективная доза на жителя, мЗв/год [Average effective dose per resident (mSv/year)]	Натуральная оценка годового ущерба, количество смертельных и несмертельных случаев заболеваний [Natural annual detriment estimate (Number of fatal and non-fatal cases)]	Монетарная оценка годового ущерба, млн руб. [Monetary annual detriment estimate (Million RUB)]	Управляемость источником [Source controllability]	Потенциал снижения [Reduction potential]
Техногенно измененный радиационный фон. В том числе: [Technogenically altered radiation background Including:]	956,3	0,2	0,01	55	$1,052 \cdot 10^3$	Нет [No]	Нет [No]
– за счет глобальных выпадений [– Due to global fallout]	740,1	0,1	0,01	42	814,11	Нет [No]	Нет [No]
– за счет радиационных ава- рий прошлых лет [– Due to past radiation accidents]	216,2	0,0	–	12	237,82	Нет [No]	Нет [No]
Природные источники. В том числе: [Natural sources Including:]	465983	73,4	3,15	26561	$5,126 \cdot 10^5$	Да [Yes]	Да [Yes]
– от радона [– From radon]	259341	40,8	1,75	14782	$2,853 \cdot 10^5$	Да [Yes]	Да [Yes]
– от внешнего терригенного гамма-излучения [– From external terrestrial gamma radiation]	101633	16,0	0,69	5793	$1,118 \cdot 10^5$	Да [Yes]	Нет [No]
– от космического излучения [– From cosmic radiation]	59207	9,3	0,4	3375	$6,513 \cdot 10^4$	Нет [No]	Нет [No]
– от пищи и питьевой воды [– From food and drinking water]	20640	3,3	0,14	1176	$2,27 \cdot 10^4$	Да [Yes]	Нет [No]
– от содержащегося в организме ^{40}K [– From naturally occurring ^{40}K in the body]	25163	4,0	0,17	1434	$2,768 \cdot 10^4$	Нет [No]	Нет [No]
Медицинские диагностические исследования [Medical diagnostic examinations]	167627	26,4	1,13	9555	$1,844 \cdot 10^5$	Да [Yes]	Да [Yes]
Радиационные аварии и происшествия в отчетном году [Radiation accidents and incidents in the reporting year]	–	–	–	–	–	Да [Yes]	Да [Yes]

Виды облучения населения Российской Федерации [Type of radiation exposure in the Russian Federation]	Коллективная эффективная доза, чел.-Зв/год [Collective effective dose (person-Sv/year)]	Вклад, % [Contribution (%)]	Средняя эффективная доза на жителя, мЗв/год [Average effective dose per resident (mSv/year)]	Натуральная оценка годового ущерба, количество смертельных и не смертельных случаев заболеваний [Natural annual detriment estimate (Number of fatal and non-fatal cases)]	Монетарная оценка годового ущерба, млн руб. [Monetary annual detriment estimate (Million RUB)]	Управляемость источником [Source controllability]	Потенциал снижения [Reduction potential]
Всего по Российской Федерации [Total for the Russian Federation]	634913	–	4,29	36190	6,984·10 ⁵	Да [Yes]	Да [Yes]
Реально снижаемая коллективная доза, чел.-Зв [Effectively reducible collective dose (person-Sv)]	427315,1	–	–	24357	4,7·10 ⁵	–	–

Результаты, представленные в таблице, позволяют сделать следующие выводы:

- коллективная доза населения Российской Федерации от всех источников ИИ составляет около 630 тыс. чел.-Зв, что соответствует примерно 700 млрд руб. потенциального экономического ущерба;

- значительный вклад в коллективную дозу и, как следствие, в потенциальный экономический ущерб вносят источники ИИ, управление которыми на текущем уровне развития технологий принципиально невозможно (например, облучение за счет космического излучения или ⁴⁰K, поступающего в организм с пищей и водой), или такое управление является малоэффективным (например, облучение за счет глобальных выпадений или проживание на радиоактивно загрязненных территориях);

- для ряда управляемых источников ИИ отсутствует реальный потенциал для значимого снижения коллективной дозы (несмотря на то, что снижение доз для отдельных индивидуумов вполне реализуемо). К таким категориям можно отнести, например, внешнее терригенное гамма-излучение или внутреннее облучение за счет радионуклидов, содержащихся в пищевых продуктах и питьевой воде (прежде всего, природных) [6, 7].

Таким образом, реальное значение потенциально снижаемой коллективной дозы будет значительно ниже. За вычетом коллективной дозы от источников, управление которыми невозможно, и/или для которых потенциальное снижение коллективной дозы за счет различных защитных мероприятий является пренебрежимо малым, реально снижаемая коллективная доза населения Российской Федерации оценивается примерно в 430 тыс. чел.-Зв, в основном от радона и медицинских источников ИИ. Этой коллективной дозе соответствует потенциальный экономический ущерб в 470 млрд руб.

Как уже было отмечено выше, данный ущерб включает в себя исключительно не прямые экономические потери за счет временного или постоянного исключения людей из производства валового национального продукта. Учет прямых потерь (за счет затрат на диагностику и лечение патологических состояний, вызванных воздействием ИИ) в данной ра-

The results presented in the table allow for the following conclusions:

- The collective dose to the population of the Russian Federation from all sources of IR amounts to approximately 630,000 person-Sv, corresponding to roughly 700 billion RUB in potential economic detriment;

- A significant contribution to the collective dose, and consequently to the potential economic detriment, is due to IR sources whose management, at the current level of technological development, is fundamentally impossible (e.g., exposure due to cosmic radiation or ⁴⁰K ingested with food and water) or is of limited effectiveness (e.g., exposure due to global fallout or residence in radioactively contaminated territories);

- For a number of manageable sources of IR, there is no real potential for significantly reducing the collective dose (despite the fact that dose reduction for individual persons is quite feasible). Such categories include, for example, external terrestrial gamma radiation or internal exposure due to radionuclides present in food products and drinking water (primarily of natural origin) [6, 7].

Hence, the actual value of the potentially reducible collective dose will be significantly lower. Excluding the collective dose from sources that cannot be managed and/or for which the potential reduction in collective dose through various protective measures is negligibly small, the realistically reducible collective dose to the population of the Russian Federation is estimated at approximately 430,000 person-Sv, primarily from radon and medical sources of ionizing radiation (IR). This collective dose corresponds to a potential economic detriment of 470 billion RUB.

As noted earlier, this detriment encompasses solely indirect economic losses resulting from the temporary or permanent exclusion of individuals from the production of gross national product. The assessment of direct losses (due to costs associated with the diagnosis and treatment of pathological conditions caused by IR) was not considered in this

боте не рассматривался; такие потери должны оцениваться применительно к каждому сценарию облучения для каждого источника ИИ. В качестве примера затрат на диагностику и лечение можно привести стоимость госпитализации по профилю «онкология» из тарифов ФОМС⁸, которая составляет около 230 тыс. рублей за одну госпитализацию.

Заключение

В данной работе выполнена консервативная прогнозная монетарная оценка не прямых экономических потерь за счет воздействия различных ИИ на население Российской Федерации. Показано, что потенциальный экономический ущерб от всех ИИ, оцененный в соответствии с методикой из НРБ-99/2009, составляет примерно 700 млрд руб.; от управляемых и снижаемых ИИ – 470 млрд руб. При этом данная монетарная оценка должна использоваться для обоснования расходов на поддержание достигнутого уровня радиационной безопасности, и не может быть использована в качестве оценки реального ущерба и/или затрат на сведение ущерба к пренебрежимо малым значениям. Данные значения целесообразно использовать при подготовке и обосновании различных управленческих решений в сфере радиационной защиты и радиационной безопасности населения.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Водоватов А.В. разработал дизайн исследования, определил цели и задачи, подготовил окончательный вариант рукописи.

Репин Л.В. редактировал промежуточный вариант рукописи.

Библин А.М. редактировал промежуточный вариант рукописи.

Кононенко Д.В. редактировал промежуточный вариант рукописи.

Горский Г.А. редактировал промежуточный вариант рукописи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации Международной Комиссии по Радиационной защите от 2007 г.: пер. с англ. / Под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 312 с.
2. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности GSR Part 3. МАГАТЭ, Вена, 2015. 518 с.
3. ICRP Publication 37. Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection. International Commission in Radiological Protection, Oxford, 1983. 76 p.
4. Ahmed J.U., Daw H.T. Cost-Benefit Analysis and Radiation Protection // IAEA bulletin. 1980. Vol. 22, № 5/6. P. 13–22.
5. Moores B. Cost-risk-benefit analysis in diagnostic radiology: a theoretical and economic basis for radiation protection of the patient // Radiation Protection Dosimetry. 2016. Vol. 169, № 1–4. P. 2–10. DOI: 10.1093/rpd/ncv506.
6. Exposure Due to Radionuclides in Food Other Than During a Nuclear or Radiological Emergency. Part 1: Technical Material. IAEA Safety Reports Series No. 114. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2023. 187 p.

study; such losses should be evaluated separately for each exposure scenario and each IR source. As an example of diagnostic and treatment costs, the cost of hospitalization under the "oncology" profile, based on the tariffs of the Federal Compulsory Medical Insurance Fund⁸, amounts to approximately 230,000 RUB per hospitalization.

Conclusion

This study provides a conservative forecasted monetary estimation of the indirect economic losses caused by the impact of various IR sources on the population of the Russian Federation. It is demonstrated that the potential economic damage from all IR sources, evaluated according to the methodology outlined in NRB-99/2009, is approximately 700 billion RUB, with 470 billion RUB attributed to managed and mitigable IR sources. This monetary estimation should be used to justify the expenses associated with maintaining the current level of radiological safety and cannot be considered as an evaluation of actual damage and/or costs for reducing the damage to negligible levels. These values are recommended for use in the preparation and justification of various managerial decisions in the field of radiological protection and the radiation safety of the population.

Authors' personal contribution

Aleksandr V. Vodovатов developed design of the study, determined aims and objectives, prepared draft of the manuscript.

Leonid V. Repin prepared draft of the manuscript.

Artem M. Biblin prepared draft of the manuscript.

Dmitry V. Kononenko prepared draft of the manuscript.

Grigory A. Gorsky prepared draft of the manuscript.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

Sources of funding

The study was not supported by sponsorship.

References

1. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4): 332.
2. IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards; 2014. 436 p.
3. ICRP Publication 37. Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection. International Commission in Radiological Protection. Oxford; 1983. 76 p.
4. Ahmed JU, Daw HT. Cost-Benefit Analysis and Radiation Protection. *IAEA bulletin*. 1980;22(5/6): 13-22.
5. Moores B. Cost-risk-benefit analysis in diagnostic radiology: a theoretical and economic basis for radiation protection of the patient. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;169(1-4): 2-10. DOI: 10.1093/rpd/ncv506.
6. Exposure Due to Radionuclides in Food Other Than During a Nuclear or Radiological Emergency. Part 1: Technical Material. IAEA Safety Reports Series No. 114. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2023. 187 p.
7. Exposure Due to Radionuclides in Food Other Than During a Nuclear or Radiological Emergency. Part 2: Considerations in Implementing Requirement 51 of IAEA General Safety Requirements Part 3 (International Basic Safety Standards). IAEA-TECDOC-2011. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2022. 51 p.

⁸Доступно по ссылке: https://lofoms.spb.ru/files/sogl_2024_pril19.xls?1 (Дата обращения: 01.02.2025) [Available from: https://lofoms.spb.ru/files/sogl_2024_pril19.xls?1 (Accessed: February 01.02.2025) (In Russ.)]

7. Exposure Due to Radionuclides in Food Other Than During a Nuclear or Radiological Emergency. Part 2: Considerations in Implementing Requirement 51 of IAEA General Safety Requirements Part 3 (International Basic Safety Standards). IAEA-TECDOC-2011. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2022. 51 p.
8. Михеева М.А., Михеева И.В. Динамика рейтинга экономического ущерба от инфекционных болезней как критерий эффективности эпидемиологического контроля // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2020. Т. 97, № 2. С. 174–181. DOI: 10.36233/0372-9311-2020-97-2-174-181.
8. Mikheeva M, Mikheeva I. Ranking dynamics of economic burden of infectious diseases as a criterion of effectiveness of epidemiologic control. *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology*. 2020;97(2): 174-181. DOI: 10.36233/0372-9311-2020-97-2-174-181 (In Russian).

Received: February 10, 2025

Поступила: 10.02.2025

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета. **Адрес для переписки:** 197101, ул. Мира 8, Санкт-Петербург, Россия; E-mail: vodovatoff@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5191-7535

Репин Леонид Викторович – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-4857-6792

Библин Артем Михайлович – старший научный сотрудник, руководитель Информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-3139-2479

Конonenko Дмитрий Викторович – научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-1392-1226

Горский Григорий Анатольевич – кандидат медицинских наук, заместитель директора по инновационной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0001-7310-9718

Для цитирования: Водоватов А.В., Репин Л.В., Библин А.М., Конonenko Д.В., Горский Г.А. К вопросу монетарной оценки потенциального ущерба, связанного с воздействием ионизирующего излучения на население Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 1. С. 132–139. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-132-139

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia (Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com)
ORCID: 0000-0002-5191-7535

Leonid V. Repin – Junior Researcher, Information Analytical Center, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0002-4857-6792

Artem M. Biblin – Senior Research Fellow, Head of Information Analytical Center, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0002-3139-2479

Dmitry V. Kononenko – Researcher, Laboratory for Dosimetry of Natural Sources of Radiation, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0002-1392-1226

Grigory A. Gorsky – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director of Innovation Work, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Associate Professor, Department of Hygiene of Conditions of Education, Docent, Work and Radiation Hygiene, I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0001-7310-9718

For citation: Vodovatov A.V., Repin L.V., Biblin A.M., Kononenko D.V., Gorsky G.A. Issues of monetary evaluation of potential radiation detriment of the population of the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 1. P. 132–139. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-132-139