

Об использовании коэффициентов ущерба для количественной оценки последствий воздействия ионизирующего излучения

Л.В. Репин

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

Статья посвящена особенностям использования и вычисления коэффициентов ущерба и корректности использования терминологии в области количественной оценки степени радиационного воздействия на здоровье человека.

Ключевые слова: *радиационный риск, вред, ущерб, номинальный коэффициент ущерба.*

Введение

Прошло более двадцати лет с момента выхода в свет 60-й публикации международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) [1, 2]. Принципы, изложенные в этой публикации, были положены в основу документов по обеспечению радиационной безопасности. В 2007 г. вышла 103-я публикация рекомендаций МКРЗ [3, 4], в которой подходы к обеспечению радиационной безопасности были развиты и уточнены в соответствии с наиболее современными представлениями о воздействии ионизирующего излучения (ИИ) на здоровье человека. В частности, изменились значения номинальных коэффициентов ущерба. Вместе с тем, в научных публикациях на эту тему приходится сталкиваться с различным и не всегда корректным употреблением данных коэффициентов. Иногда их используют для оценки индивидуальных рисков, иногда – для оценки рисков онкологической смертности, а иногда применяют к категориям населения, отличным от тех, для которых данные коэффициенты были рассчитаны [9].

Одной из важных задач, решаемых МКРЗ, является обеспечение единой основы для национальных норм в области радиационной безопасности. Частным случаем таких норм являются пределы доз. Установление и обоснование подобных пределов является сложной многофакторной задачей и основывается на концепции приемлемого риска, которая, в свою очередь, порождает вопросы количественной оценки последствий воздействия ИИ на здоровье. В данной статье рассматриваются терминологические несоответствия в области оценки последствий облучения. Кроме того, сделана попытка разобраться в одном из способов такой оценки – в особенностях вычисления и использования номинальных коэффициентов ущерба. Материал статьи относится к оценке воздействия малых доз [6] ИИ на здоровье населения.

Основные понятия

В оригинальной публикации 60 МКРЗ [1], изданной на английском языке, было предложено различать понятия «harm» и «detriment», для которых в ее русском переводе предлагалось использовать термины «вред» и «ущерб» соответственно [2]. Их значение определено следующим образом:

– вред – понятие, используемое для обозначения клинически наблюдаемых вредных эффектов, которые про-

являются у индивидуумов (соматические эффекты) и их потомков (наследуемые эффекты);

– ущерб – это сложное понятие, сочетающее вероятность, степень тяжести эффекта и время его проявления.

Понятие радиационного риска как строгого термина МКРЗ не определяет.

Вместо термина «радиационный риск», как он определен в НРБ-99/2009 [5], в Публикации 60 МКРЗ чаще используется слово «вероятность».

Публикация 103 МКРЗ на английском языке [3] содержит определения терминов «detriment» и «detriment-adjusted risk», которые в глоссарии русского издания [4] переводятся как «вред» и «радиационный риск» соответственно. При этом по тексту публикации первый термин произвольно переводится и как «вред», и как «ущерб», а второй – как «риск с учетом вреда».

Определение глоссария Публикации 103 МКРЗ [4] для этих терминов следующее:

– вред – суммарный вред для здоровья человека, наносимый группе людей облучением от источника излучения. Концепция радиационного вреда носит многосторонний характер. Его основными компонентами являются величины стохастического характера: вероятность развития смертельного радиационно-индуцированного онкологического заболевания, взвешенная вероятность развития наследственных радиационных эффектов и число лет жизни, потерянных в результате нанесения радиационного вреда;

– радиационный риск – вероятность возникновения радиационно-индуцированного стохастического эффекта с учетом модификаций данного параметра, позволяющих проводить оценки для отдельных компонент радиационного вреда при оценке тяжести последствия облучения.

Подобное терминологическое разнообразие не способствует строгости изложения материала, поэтому далее по тексту статьи обсуждаемые термины будут использоваться в следующем значении:

– риск – вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения;

– ущерб – суммарный вред для здоровья человека, наносимый группе людей ионизирующим излучением;

– риск, взвешенный по ущербу, – вероятность возникновения радиационно-индуцированного стохастического

эффекта с учетом модификаций данного параметра, позволяющих проводить оценки для отдельных компонент ущерба при оценке тяжести последствия облучения.

Ущерб

В Публикации 60 МКРЗ цели, для которых введено понятие ущерба, определены следующим образом:

- оценка последствий непрерывного или кумулятивного облучения, чтобы рекомендовать пределы дозы;
- сравнение последствий облучения с различными распределениями эквивалентной дозы по телу, что позволяет выбрать некоторые тканевые весовые множители;
- получение основы для определения стоимости единицы эффективной дозы, например, для использования ее в целях оптимизации защиты при какой-либо практической деятельности.

Отметим, что, в отличие от целей оценки ущерба, подходы к его вычислению существенно менялись на протяжении многих лет. В данной статье рассматривается лишь один аспект использования понятия ущерба – количественная оценка последствий облучения. Об отличиях современного подхода к оценке ущерба от подхода, предложенного в Публикации 60 МКРЗ, будет рассказано ниже.

Номинальные коэффициенты

Воздействие малых доз ИИ на здоровье относится к вероятностным процессам. То есть для конкретного человека можно оценить лишь вероятность возникновения у него в будущем тех или иных негативных последствий, связанных с воздействием ИИ. При этом такая вероятность является индивидуальной и зависит от многих факторов (пол, возраст, величина дозы и др.). Однако для большой группы лиц, облученных в малой дозе, можно дать единую количественную оценку ущерба.

Для вычисления подобной оценки введено понятие номинальной популяции («популяции с одинаковым числом лиц обоего пола и с широким диапазоном возрастов» [2] или «популяции мужчин и женщин с типовым возрастным распределением» [4]).

При использовании линейной беспороговой (ЛБП) концепции [6] в области малых доз становится возможным определять суммарные последствия воздействия ИИ на здоровье группы лиц с использованием линейных коэффициентов:

$$\text{Последствия} = \text{Доза} \times \text{Коэффициент}$$

Такие коэффициенты, рассчитанные для различных номинальных популяций, принято называть номинальными коэффициентами. В Публикации 60 МКРЗ они назывались номинальными коэффициентами вероятности стохастических эффектов. Номинальные коэффициенты неприменимы для индивидуальных оценок вероятности наступления стохастических эффектов, а служат для оценки воздействия на конкретные номинальные популяции. МКРЗ [4] выделяет две основные номинальные популяции:

- вся популяция;
- лица работающих возрастов.

Для обеспечения единой основы при нормировании в области радиационной безопасности состав номинальных популяций усреднен с использованием данных различных реально существующих популяций. Однако предложенные МКРЗ подходы к определению величины ущерба позволяют вычислять коэффициенты и для иных популяций (или представительных групп населения) с

учетом особенностей их половозрастного состава, характеристик заболеваемости, смертности, качества медицинского обслуживания и т.п.

Подобные коэффициенты могут служить исключительно для оценки степени воздействия ИИ на здоровье соответствующей номинальной популяции и не могут использоваться для изменения пределов доз, т.к. величина ущерба не единственный (хотя и важный) фактор, на основании которого эти пределы установлены.

При определении суммарного ущерба в Публикации 60 МКРЗ базовым номинальным коэффициентом, то есть коэффициентом, с использованием которого вычислялись остальные номинальные коэффициенты, считается номинальный коэффициент вероятности смертельного исхода от радиационно-индуцированного рака на единицу дозы. Однако вероятность смертельного исхода может зависеть не только и не столько от конкретной нозологической формы, сколько от качества диагностики. Обнаружение злокачественного образования на более ранних стадиях существенно влияет на вероятность смертельного исхода, поэтому в Публикации 103 МКРЗ [3] в качестве основы для оценки ущерба используются номинальные коэффициенты вероятности возникновения злокачественного новообразования.

Оценка ущерба

Ущерб определяется в три этапа. На первом оценивается риск ЗНО, индуцированных воздействием ИИ. Подобные оценки строятся с использованием математических моделей, основанных на данных эпидемиологических исследований [7, 8]. Рассмотрение этих моделей выходит за рамки данной статьи. На втором этапе риски различных ЗНО взвешиваются по летальности. В конечной оценке ущерба заболевания с большей летальностью имеют больший вес. На третьем этапе заболевания взвешиваются по потерянному годам жизни.

Риск с учетом летальности (второй этап) представляет собой сумму двух слагаемых. Первое – это вероятность возникновения радиационно-индуцированного смертельного рака данной нозологии, определяемая в Публикации 103 МКРЗ, как произведение вероятности (R) возникновения данной нозологической формы онкологического заболевания на его летальность q. Второе слагаемое учитывает вред от несмертельных раков с весовым коэффициентом, зависящим от летальности данной нозологической формы:

$$\text{Риск}_{\text{лет.}} = R \times q + R \times (1 - q) \times ((1 - q_{\text{min}}) \times q + q_{\text{min}}), \quad (1)$$

где $(1 - q_{\text{min}}) \times q + q_{\text{min}}$ – вес, присваиваемый несмертельным ракам, при этом q_{min} – минимальный вес, который может быть присвоен несмертельному раку, – принят равным 0,1.

Очевидно, что вес, присваиваемый несмертельному раку и отражающий его тяжесть, тем больше, чем больше летальность данного онкологического заболевания q. Заметим, что не для всех вредных последствий вред взвешивается строго таким образом. Для онкологических заболеваний костей и кожи, а также для наследственных эффектов приведены особые значения коэффициентов [3].

В Публикации 103 МКРЗ [3] используются значения коэффициентов q, приведенные в национальном регистре онкологической выживаемости.

С точки зрения влияния на здоровье населения в целом, разные онкологические заболевания имеют еще одно

важное отличие – среднее число потерянных лет жизни без рака. Поэтому ущерб (в русском переводе Публикации 103 МКРЗ [4] – риск с учетом вреда) от конкретного онкологического заболевания определяется как произведение риска, взвешенного по летальности, на коэффициент относительной потери времени жизни без рака. Последний, в свою очередь, представляет собой частное от деления среднего числа потерянных лет жизни, характерного для данной нозологической формы (обозначим как I) к среднему числу потерянных лет жизни, характерного для всех онкологических заболеваний в целом ($I_{общ.}$). Его принято считать равным 15 годам. Данные взвешивающие коэффициенты не применяются для раков кожи и костей.

$$\text{Ущерб} = \text{Риск}_{\text{лет.}} \times I / I_{\text{общ.}} \quad (2)$$

Значение номинального коэффициента ущерба на единицу дозы получают путем суммирования значений ущерба, отнесенных к единице дозы, вычисленных для отдельных вредных эффектов, для которых существуют модели оценки вероятности возникновения и другие величины, приведенные в таблице А.4.1 Публикации 103 МКРЗ [4].

Оценка воздействия ИИ для различных популяций

Номинальные коэффициенты ущерба, которые использует МКРЗ для установления пределов доз, вычислены, как было сказано выше, для некой усредненной номинальной популяции. Следовательно, такие коэффициенты не могут служить для оценки воздействия ИИ на здоровье популяций, которые существенно отличаются по половозрастному составу и фоновым уровням онкологической заболеваемости от использованных в Публикациях МКРЗ.

Однако использование математических моделей оценки риска с учетом пола, возраста и фоновых (для конкретной популяции) показателей заболеваемости, а также вычисление ущерба на основе данных об онкологической выживаемости могут служить основой для вычисления номинальных коэффициентов ущерба, более адекватно отражающих специфику изучаемой популяции.

При оценке вредных последствий воздействия ИИ применение для описанных вычислений коэффициентов риска и летальности, характерных для Российской Федерации, может быть задачей отдельного исследования.

Выводы

1. Коэффициент ущерба может служить мерой оценки суммарного вреда, который наносит ионизирующее излучение здоровью конкретной популяции при облучении в малой дозе.

2. Номинальные коэффициенты ущерба, значение которых приводится в [3], вычислены для двух групп населения: обобщенная популяция (все население, с усредненным по разным популяциям половозрастным составом) и «лица работающих возрастов» (18–64 лет) с усредненным для данного диапазона половозрастным составом.

3. Возможно вычисление коэффициентов ущерба и для других больших по численности групп населения, имеющих выраженную специфику половозрастного состава.

4. Для более корректной количественной оценки степени воздействия ИИ на здоровье населения конкретной страны возможно вычислить коэффициенты с использованием уточненных национальных данных по онкологической заболеваемости и выживаемости.

5. Следует упорядочить использование в научных публикациях в области радиационной защиты употребление терминов риск, вред и ущерб, т.к. это может привести к некорректному использованию результатов вычислений.

Литература

1. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication // Annals of the ICRP. – 1991. – V. 21, № 1–3.
2. Радиационная безопасность. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикации 60-й МКРЗ. Ч. 2. : пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 208 с.
3. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 103 // Annals of the ICRP. – 2007.
4. Публикация 103-й Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ): пер с англ. / под общей ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009): Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.6.1.2523 – 09): утв. и введ. в действие от 01 сентября 2009 г. взамен СанПиН 2.6.1.758 – 99. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
6. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk: ICRP Publication 99 // Annals of the ICRP. – 2005. – Vol. 35, № 4.
7. Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes // United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York, 2006.
8. BEIR VII. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. National Academy Press. – Washington. – D.C. – 2005.
9. Суслин, В. П. Оценка радиологического риска для здоровья персонала группы «А» Новосибирской области от воздействия различных источников ионизирующего излучения / В.П. Суслин // Здоровье населения и среда обитания. – 2009. – № 6. – С. 4–11.

L.V. Repin

On the use of detriment parameters for the quantitative evaluation of radiation exposure consequences

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

Abstract. The article is devoted to the peculiarities of detriment coefficients use and calculation, ways of their calculation and consistency of terminology use in the field of quantitative assessment of the level of radiation impact on the human health.

Key words: radiation risk, harm, detriment, nominal detriment coefficient.

Л.В. Репин
Тел. (812)233-42-83
E-mail: journal@niirg.ru

Поступила: 15.02.2011 г.