

Обзорная статья

О ГАРМОНИЗАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ И РИСКА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИНЫХ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЧИСЛА ПОТЕРЯННЫХ ЛЕТ ЗДОРОВОЙ ЖИЗНИ

Л.В. Репин, Р.Р. Ахматдинов, А.М. Библин, В.С. Репин

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, 8

Основным показателем, используемым в настоящее время при оценке риска для здоровья, связанного с воздействием ионизирующих излучений, является величина радиационного ущерба. Данная величина была разработана Международной комиссией по радиологической защите более 30 лет назад и обладает как рядом несомненных достоинств, так и рядом недостатков, ограничивающих сферу ее возможного применения. Одним из таких недостатков является использование данной величины исключительно при оценке воздействия на здоровье радиационного фактора, что делает ее непригодной для корректного сравнительного анализа рисков различной природы. Представлен обзор современных научных публикаций, посвященных подходам к определению величины радиационного ущерба, и предпринята попытка анализа возможности применения методики ВОЗ по оценке бремени болезней в качестве основы для расчета универсальных показателей риска, связанного с воздействием вредных факторов среды обитания на популяционное здоровье. В качестве одного из возможных подходов к гармонизации методик оценки риска для здоровья рассмотрена возможность использования показателя DALY (годы жизни с поправкой на нетрудоспособность) как одного из показателей, часто используемых для оценки популяционного здоровья при решении различных задач в области организации здравоохранения. В статье обсуждаются целесообразность и возможность постепенного изменения методики расчета радиационного ущерба для более корректного использования эффективной дозы в качестве меры риска для здоровья.

Ключевые слова: радиационный риск, радиационный ущерб, DALY, здоровье населения, риск для здоровья, глобальное бремя болезней, тяжесть заболеваний, смертность, заболеваемость.

В области анализа рисков для здоровья существуют три прикладных направления научных исследований, тесно связанных между собой: 1) анализ популяционного здоровья (в том числе разработка обобщенных показателей популяционного здоровья); 2) разработка и расчет значений показателей риска для здоровья, связанного с воздействием различных вредных факторов среды обитания и 3) сравнительный анализ рисков различной природы. Исторически сложилось так, что в области оценки рисков для здоровья, связанных с негативным воздействием на здоровье населения различных факторов среды обитания, ионизирующее излучение стоит несколько особняком. В связи с этим вопросы гармонизации подходов к оценке радиационных

рисков и рисков иной природы поднимаются достаточно часто и являются предметом отдельного обсуждения [1, 2]. Наряду с этим в последние годы все чаще поднимается вопрос о необходимости пересмотра применяемых в настоящее время методологии оценки и показателей радиационных рисков для здоровья [3–6]. При решении множества вопросов, связанных с организацией здравоохранения и оценкой состояния популяционного здоровья, все чаще звучат и реализуются предложения о постепенном переходе от показателей здоровья на основе смертности к более информативным обобщенным показателям здоровья на основе числа лет здоровой жизни, потерянных вследствие заболевания, инвалидности или травмы, то есть числа потерянных лет полно-

© Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Репин В.С., 2022

Репин Леонид Викторович – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра (e-mail: l.repin@niirg.ru; тел.: 8 (921) 418-35-49; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4857-6792>).

Ахматдинов Рустам Расимович – ведущий инженер-исследователь информационно-аналитического центра (e-mail: rust.akh@niirg.ru; тел.: 8 (921) 440-98-16; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4151-5380>).

Библин Артём Михайлович – старший научный сотрудник, руководитель информационно-аналитического центра (e-mail: a.biblin@niirg.ru; тел.: 8 (981) 958-43-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3139-2479>).

Репин Виктор Степанович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, руководитель отдела здоровья (e-mail: v.repin@niirg.ru; тел.: 8 (921) 787-43-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5234-2489>).

ценной жизни без ограничений активности, функциональности и трудоспособности [7, 8].

В настоящей статье представлен краткий обзор современных научных публикаций по указанным прикладным направлениям и предпринята попытка анализа возможных путей совершенствования методологии оценки радиационных рисков и гармонизации показателей радиационного риска для здоровья с показателями риска для здоровья от воздействия иных вредных факторов.

Радиационный ущерб как показатель риска для здоровья. Понятие *detriment* (англ. «ущерб»)¹ в области радиационной защиты впервые было введено в 1977 г. Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) в 26-й Публикации «для терминологического, а где возможно, и количественного определения всех вредных эффектов» [9]. Указанное понятие было определено в общем виде «для какой-либо группы лиц» как «математическое ожидание вреда², вызываемого облучением, причем принимают во внимание не только вероятность возникновения каждого вида вредного эффекта, но и степень его тяжести». Понятие «ущерб» при этом включало в себя не только негативные эффекты для здоровья, но и «эффекты, не связанные непосредственно со здоровьем человека». Например, необходимость в ограничении потребления каких-либо продуктов или использования территорий. Для оценки негативного влияния облучения на здоровье человека там же было введено понятие «ущерб для здоровья».

Основным источником сведений о негативных последствиях воздействия ионизирующих излучений на здоровье человека в тот период времени являлось наблюдение за когортой лиц, подвергшихся радиоактивному облучению вследствие атомных бомбардировок японских городов Хиросима и Нагасаки в августе 1945 г. (Life Span Study (LSS-когорты)). В настоящее время известно, что одним из наиболее значимых на популяционном уровне отдаленных радиологических эффектов воздействия радиации на здоровье является повышение вероятности возникновения онкологических заболеваний у облученных лиц, зависящее в числе прочих факторов от дозы облучения, причем такие последствия имеют отсроченный на годы, а иногда и на десятилетия, характер. По этой причине с увеличением периода наблюдения за LSS-когортой

характер указанной зависимости постоянно уточнялся [11, 12].

Важно отметить, что понятие «доза», применительно к радиационному фактору воздействия, имеет свою специфику. «Доза облучения»³ не измеряемая, а расчетная величина, сложным образом связанная с показателями радиационной обстановки при внешнем облучении или поступлением радионуклидов в организм при внутреннем облучении. «Доза облучения» в силу многообразия видов ионизирующих излучений («альфа», «бета», «гамма», «нейтронное»), форм воздействия (внешнее и внутреннее облучение) разработана как универсальный интегральный показатель, позволяющий свести все виды и формы радиационного воздействия к одной величине – «эффективной дозе», наделенной свойством определять меру риска отдаленных негативных последствий облучения для здоровья.

К 1990 г. – моменту выхода 60-й Публикации МКРЗ [13] – объем накопленных научных знаний позволил сформулировать основные понятия в области оценки последствий воздействия радиации на здоровье. Были выделены и описаны четыре вида последствий для здоровья: изменения, повреждение, вред и ущерб (подробнее см. [14, 15]).

В итоге МКРЗ разработала и рекомендовала к использованию для решения ряда задач в области радиационной защиты мультиразмерный показатель радиационного ущерба для здоровья, представляющий собой сумму числа смертельных радиогенных раков F и числа несмертельных раков, взвешенных по доле летальности k для отдельных злокачественных новообразований (ЗНО) [14]. Применительно к конкретным нозологическим формам ЗНО ущерб может быть записан в виде:

$$D = F + k \cdot (1 - k) \cdot \frac{F}{k} = F \cdot (2 - k), \quad (1)$$

где D – величина радиационного ущерба для здоровья; F – число смертельных ЗНО, вызванных радиационным воздействием; k – доля летальности ЗНО; $\frac{F}{k}$ – общее число радиогенных ЗНО; $(1 - k)$ – доля несмертельных ЗНО; $(1 - k) \cdot \frac{F}{k}$ – общее число несмертельных ЗНО.

По мере наблюдения за LSS-когортой стало очевидным, что оценки радиационного риска для

¹ В основном тексте русского перевода 26-й Публикации МКРЗ [9] слово *detriment* было переведено как «вред», как и слово *harm* в том же пункте рекомендаций, однако в глоссарии данной публикации, а позже и в русском переводе 60-й Публикации МКРЗ [10] было закреплено различие в русскоязычной терминологии и предложено переводить понятия *harm* как «вред» и *detriment* как «ущерб». Здесь и далее перевод англоязычных понятий осуществляется в соответствии с указанным правилом.

² В англоязычной публикации использовано слово *harm*.

³ В настоящем обзоре, если не сказано иное, понятие «доза облучения» используется в наиболее широком смысле, как некая количественная характеристика различных видов ионизирующего излучения. Более подробная информация о различных дозовых единицах представлена, например, в Глоссарии МАГАТЭ (https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/IAEASafetyGlossary2007/Glossary/SafetyGlossary_2007r.pdf) и СанПиН 2.6.2523-09 «Нормы Радиационной безопасности (НРБ -031 99/2009)» (<https://docs.cntd.ru/document/902170553>).

здоровья, сделанные на основании сведений о выявляемой онкологической заболеваемости в данной группе, являются более точными, чем оценки, сделанные на основании регистрации смертельных случаев вследствие онкологических заболеваний. По этой причине без изменения общей концепции оценки ущерба в 103-й Публикации МКРЗ [14] формула для вычисления ущерба несколько изменилась⁴:

$$R_D = R \cdot q + R \cdot (1 - q) \cdot (q_{\min} + (1 - q_{\min}) \cdot q), \quad (2)$$

где R_D – риск возникновения радиогенного ЗНО, взвешенный с учетом ущерба⁵; R – риск возникновения радиогенных ЗНО; q – доля летальности ЗНО; $R \cdot q$ – риск возникновения смертельного ЗНО; $R \cdot (1 - q)$ – риск возникновения несмертельных ЗНО; $(q_{\min} + (1 - q_{\min}) \cdot q)$ – вес, присвоенный несмертельному ЗНО при вычислении ущерба; q_{\min} – минимальный вес для несмертельных ЗНО.

Вес, присвоенный несмертельному ЗНО в данной формуле, заслуживает отдельного внимания и является одним из центральных элементов используемой МКРЗ в настоящее время методологии оценки радиационного ущерба для здоровья.

В разделах (А 144) – (А 145) 103-й Публикации МКРЗ следующим образом выразила свою позицию относительно данного весового множителя и его изменения по сравнению с использованным в 60-й Публикации [16]:

«(А 144) *Вред по снижению качества жизни.* Больные раком обычно ощущают ухудшение качества своей жизни. ... рак должен оцениваться не только по летальности, но и по боли, страданиям и любым побочным эффектам лечения рака. Чтобы получить такую оценку вводится коэффициент q_{\min} , ... – минимальный весовой множитель для несмертельных раков.

(А 145) Значение q_{\min} было установлено равным 0,1 (в большинстве случаев результат не сильно чувствителен к выбору этого значения). ... Однако поправка по q_{\min} не применялась для рака кожи, так как радиогенный рак кожи почти всегда относится к базально-клеточному типу, что обычно связано с крайне малыми болевыми ощущениями...».

Как видно из структуры весового множителя для несмертельных раков, несмотря на обозначенную МКРЗ позицию о необходимости учета снижения качества жизни, боли и страданий, связанных с радиогенными ЗНО, на самом деле используемая в настоящее время методология оценки радиационно-

го ущерба никак не учитывает данные факторы. Причина заключается в том, что на момент выхода в 1990 г. рекомендаций МКРЗ не существовало универсальной, признанной на международном уровне методологии оценки тяжести заболеваний, пригодной для использования в рамках методологии оценки риска. К моменту же выхода в 2007 г. 103-й Публикации кардинальный пересмотр внедренной методологии еще не назрел. Помимо этого, в задачи МКРЗ не входила разработка единой методологии оценки радиационных рисков, и использованная методология оценки ущерба служила главным образом для разработки и обоснования нормируемых дозовых величин, а также учета различий в радиочувствительности отдельных органов, тканей и систем организма.

Величина радиационного ущерба создавалась для решения различных задач в области радиационной защиты (в частности, для расчета взвешивающих коэффициентов органов, тканей и систем организма с учетом их радиочувствительности, то есть множителей, используемых для расчета так называемой «эффективной дозы облучения») и, по мнению разработчиков, должна была иметь достаточно ограниченную область применения. Однако рассчитанная с помощью данной методологии величина эффективной дозы фактически оказалась настолько удобной, что распространилась далеко за пределы указанной авторами области применения. Таким образом, МКРЗ удалось разработать весьма удачный количественный показатель риска для здоровья, и разработанные на его основе дозовые величины нашли широчайшее применение в области радиационной защиты, однако данный показатель оказался непригодным для обеспечения сравнительной оценки рисков различной природы, о чем будет более подробно сказано ниже.

Важно отметить, что авторитетными зарубежными и международными научными организациями были разработаны математические модели, позволяющие рассчитывать различные показатели заболеваемости и смертности от радиогенных ЗНО [17, 18] в зависимости от ряда факторов, таких как пол и возраст облученных лиц, доза облучения и т.п. Однако применимость таких показателей в решении задач сравнительного анализа рисков довольно низка. В значительной степени это связано с отсроченным характером медицинских радиологических последствий облучения, что по факту позволяет напрямую сравнивать радиационный фактор лишь с теми факторами, последствия которых также носят сравнимый отсроченный характер. При этом остается

⁴ В отличие от величины ущерба, описанной в 60-й Публикации МКРЗ, авторы 103-й Публикации определили описанный ниже показатель не в абсолютных числах, а в вероятностных величинах, т.е. в терминах риска. Однако для целей настоящей статьи принципиального значения это не имеет, так как переход от одних величин к другим не представляет никакой сложности.

⁵ В 103-й Публикации МКРЗ для обозначения данной величины использовался термин *detriment-adjusted risk* (англ. – «риск, взвешенный по ущербу»), однако в настоящее время авторы методологии отказались от использования данного термина и используют термин *radiation detriment* (англ. – «радиационный ущерб») [4].

нерешенной задача сравнительного анализа различных по степени тяжести заболеваний, связанных с воздействием различных факторов риска. Описанными выше причинами обусловлена задача разработки показателей риска, пригодных для сравнительного анализа, а также учитывающих тяжесть заболеваний и различное распределение реализации рисков во времени.

Обобщенные показатели здоровья населения и оценка тяжести заболеваний. Обобщенные показатели здоровья населения обеспечивают понятное представление сложных эпидемиологических данных, которые могут использоваться для формирования эффективных стратегий развития систем здравоохранения в части профилактики и предотвращения распространения наиболее социально значимых заболеваний [19]. Основное назначение таких показателей заключается в следующем:

- оценка состояния популяционного здоровья «между различными социальными группами в динамике»;

- обеспечение наиболее полной картины того, какие заболевания, травмы и факторы риска вносят наибольший вклад в ухудшение здоровья конкретной популяции, включая идентификацию наиболее важных проблем со здоровьем и того, становятся ли они со временем меньше или серьезнее (это, вероятно, наиболее распространенное применение обобщенных показателей здоровья);

- оценка наличия достаточного количества, точности и качества необходимой информации, относящейся к состоянию здоровья населения [19].

История развития обобщенных показателей здоровья населения⁶ насчитывает более 50 лет [20]. На протяжении многих лет популяционное здоровье оценивалось с помощью показателей, основанных только на смертности. Иными словами, здоровье популяции определялось тем, как и почему умирают люди – причинами и величиной смертности [19, 21].

Ожидаемая продолжительность жизни, смертность от всех причин, младенческая (детская) смертность и смертность по причине конкретного заболевания сравнивались на уровнях региона, страны и международном [22].

К настоящему времени в основе методологии вычисления большинства обобщенных показателей⁷ популяционного здоровья лежат анализ показателей половозрастной смертности от различных причин и эпидемиология заболеваний, не приводящих к смерти. Например, в паспорте национального проекта «Здравоохранение» на 2019–2024 гг. среди целевых показателей, относящихся непосредственно к оценке популяционного здоровья (первые четыре показателя), указаны только показатели на основе смертности [23]. Целевые показатели Министерства здравоохранения в рамках стратегии национальной безопасности России содержат дополнительно такие показатели, как «ожидаемая продолжительность жизни при рождении» и «средняя продолжительность жизни больных с хронической патологией после установления заболевания»⁸. Между тем подобные показатели, как и показатели на основе данных о заболеваемости, рождаемости и инвалидизации населения, не дают емкой и при этом краткой информации для оценки состояния здоровья населения в целом или для анализа эффективности развития системы здравоохранения⁹. В частности, не учитывается вклад тяжести хронических заболеваний, длительной нетрудоспособности, инвалидности и травм [21].

Удобство показателей на основе смертности вполне очевидно при решении множества задач в области анализа рисков для здоровья [24, 25]. Прежде всего, один смертельный случай вследствие воздействия какого-либо неблагоприятного фактора достаточно нагляден в качестве меры риска. Не менее наглядной (хотя и менее информативной с точки зрения популяционного ущерба) мерой риска является показатель заболеваемости [26]. Наглядность и простота оценки данных показателей обусловили их широкое применение в области оценки состояния здоровья населения [27]. Например, в государственном докладе Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году»¹⁰ в качестве основных групп показателей состояния здоровья населения, на которые влияют санитарно-гигиенические факторы, фигурируют следующие величины

⁶ Здесь и далее под обобщенными показателями популяционного здоровья (Summary Measures of Population Health – SMPH) подразумеваются такие интегральные величины, характеризующие ожидаемое здоровье, как индекс здоровья или единый индекс заболеваемости и смертности.

⁷ Важно оговориться, что большинство утверждений данного раздела относятся исключительно к обобщенным показателям здоровья, а не к процессу анализа медико-демографических данных в целом. В последнем случае может использоваться большое число различных частных показателей, отражающих отдельные аспекты популяционного здоровья.

⁸ О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/ (дата обращения: 14.12.2021).

⁹ Справедливости ради стоит отметить, что назначение целевых показателей следует рассматривать исключительно в их связи с формулировками целей, для анализа достижения которых они утверждены.

¹⁰ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 256 с.

в отношении физического и / или химического факторов риска:

- 1) заболеваемость всего населения;
- 2) смертность всего населения;
- 3) заболеваемость с временной утратой трудоспособности у мужчин и женщин;
- 4) травмы и отравления;
- 5) врожденные аномалии у детей;
- 6) младенческая смертность, рождаемость, естественная убыль населения;
- 7) распространенность:
 - болезней органов дыхания;
 - болезней органов пищеварения;
 - болезней системы кровообращения;
 - злокачественных новообразований;
 - врожденных пороков развития у детей.

Простота, наглядность и широкое использование подобных показателей здоровья населения на основе данных о заболеваемости и смертности привели к тому, что показатели риска для здоровья, связанного с воздействием вредных факторов среды обитания, также зачастую выражены в единицах заболеваемости и смертности.

Между тем данные показатели обладают как минимум двумя существенными недостатками при характеристике рисков для здоровья [28]¹¹:

1) при оценке рисков для здоровья населения, связанных со слабым или слабо изученным¹² воздействием вредного фактора, результаты оценки, выраженные в «ожидаемом количестве смертельных случаев» или «ожидаемом числе заболеваний», могут создать и зачастую создают ложное представление о реальных последствиях такого воздействия;

2) подобные показатели несут достаточно мало информации о причиненном здоровью населения ущербе для длительных и отсроченных последствий воздействия, так как не позволяют напрямую оценивать как экономические последствия негативного воздействия на государственном уровне (например, связанные с временной или постоянной потерей трудоспособности), так и средние индивидуальные риски (например, в связи с сокращением средней продолжительности жизни в группе риска) [29].

Действительно, для производственного травматизма характерно почти моментальное проявление его последствий (смерть, временная потеря трудоспособности или инвалидность), тогда как для профессионального облучения (то есть фракционированного по времени облучения персонала радиа-

ционных объектов во время работы) негативные для здоровья последствия могут проявиться лишь спустя много лет. Помимо этого, производственный травматизм имеет персонализированный характер, тогда как риски, связанные с воздействием вредных факторов, зачастую оцениваются в терминах вероятности для одного человека или частоты для группы лиц (атрибутивные риски).

Помимо отсутствия заболеваний понятие «здоровье» также означает отсутствие нарушений и функциональных ограничений вследствие предшествующих заболеваний и травм (ВОЗ определяет понятие «здоровье» как «состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов»)¹³ [30]. Для учета этого обстоятельства при анализе популяционного здоровья по мере развития систем сбора медико-демографических данных эволюционировали и обобщенные показатели здоровья. Наибольшей активности развитие указанных показателей достигло в 90-х гг. XX в. Именно в эти годы в дополнение к показателям половозрастной заболеваемости и смертности, сгруппированным по причинам заболеваемости / смерти, стали развиваться более информативные показатели, позволяющие учитывать ограничения в функциональности, снижение трудоспособности, а также факторы, снижающие «качество жизни» в период болезни или при наступлении инвалидности¹⁴. В значительной степени такая активность была обусловлена созданием и развитием проекта Всемирной организации здравоохранения «Глобальное бремя болезней» (далее – ГББ) [31].

Одна из целей данного проекта заключается в количественной оценке популяционной нагрузки преждевременной смертности и нетрудоспособности для основных заболеваний и групп заболеваний, а также в оценке потерянных вследствие названных причин лет жизни и взвешенных по степени тяжести лет жизни, прожитых с полной или частичной нетрудоспособностью [31].

Следуя терминологии ГББ и в соответствии с классификацией Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) ICF (International Classification of Functioning, Disability and Health [32]), термин «нетрудоспособность» широко используется в анализе тяжести заболеваний (Burden of Diseases) для обозначения отклонения от хорошего и идеального здоровья. Указанные отклонения включают в себя ог-

¹¹ Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

¹² Речь идет о воздействии малых доз радиации, небольших концентраций вредных веществ и иных вредных воздействий, оценка риска для которых сопряжена с достаточно большими неопределенностями.

¹³ Устав (Конституция) ВОЗ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.who.int/governance/eb/who_constitution_ru.pdf (дата обращения: 15.12.2021).

¹⁴ Учет снижения качества жизни по причине заболевания или приобретенной инвалидности обычно происходит при использовании специальных величин под общим названием HRQL (Health-Related Quality of Life – англ. «качество жизни, связанное с состоянием здоровья») [19].

раничения в следующих сферах: мобильность, способность заботиться о себе, участие в обычных видах активности, а также наличие таких факторов, как боль и дискомфорт, неуверенность и депрессия, когнитивные нарушения [33].

Подобный подход к оценке состояния здоровья с использованием стандартного описания состояния здоровья был применен, например, в проекте ВОЗ ГББ 2000 [34].

Перечень разработанных различными организациями обобщенных показателей здоровья достаточно широк и может быть условно разделен на две основные группы:

1) Health Expectancies (ожидания в отношении состояния здоровья);

2) Health Gaps (изменения в состоянии здоровья).

К первой группе показателей относятся [35]:

1) HALE – Health-Adjusted Life Expectancy, ожидаемая продолжительность жизни, взвешенная с учетом состояния здоровья;

2) DFLE – Disability Free Life Expectancy, ожидаемая продолжительность жизни без ограничений трудоспособности;

3) DALE – Disability-Adjusted Life Expectancy, ожидаемая продолжительность жизни, взвешенная с учетом нетрудоспособности;

4) ALE – Active Life Expectancy, ожидаемая продолжительность активной жизни и др.

Вторая группа включает в себя такие показатели, как:

1) DALY – Disability-Adjusted Life Years, годы жизни, взвешенные с учетом нетрудоспособности;

2) QALY – Quality-Adjusted Life Years, годы жизни, взвешенные с учетом качества жизни и т.п.

При расчете показателей первой группы учитывается, как правило, не только смертность, но и нетрудоспособность, вызванная различными причинами. Различия при расчете этих показателей заключаются в использовании разных весов и подходов для учета значимости заболеваний и иных причин ухудшения здоровья [36, 37]. Кроме того, некоторые показатели, такие как DFLE, вообще не учитывают различия в степени тяжести состояний нездоровья, так как при расчете показателя им всем придается одинаковый нулевой вес. Т.е. показатель DFLE учитывает только состояния «полного здоровья». Для тех показателей, при расчете которых учитывается тяжесть состояний «неполного здоровья», рекомендуется использовать различные веса для семи «классов нездоровья».

Вторая группа показателей, так называемые HALY¹⁵, описывает влияние причин ухудшения здоровья на сокращение продолжительности здоровой жизни, то есть изменения в состоянии популяционного здоровья в связи конкретным на-

рушением здоровья по сравнению с ситуацией отсутствия данного нарушения.

Для вычисления показателей HALY, связанных с конкретным заболеванием, необходимо выполнить три основных действия:

1. Описать связанное с заболеванием состояние здоровья.

2. Разработать численный показатель или его вес (весовой коэффициент) для состояния здоровья.

3. Скомбинировать численные показатели каждого состояния здоровья с оценками ожидаемой продолжительности жизни [19].

Если рассматривать обобщенные показатели здоровья в качестве возможной меры риска, связанного с воздействием на здоровье различных вредных факторов среды обитания, то очевидно, что показатели второй группы лучше подходят для этой цели, так как могут отражать именно изменения в состоянии здоровья (то есть позволяют количественно оценить разницу между состоянием здоровья популяционной группы без воздействия вредного фактора и состоянием здоровья вследствие воздействия, выделить компонент, связанный непосредственно с воздействием вредного фактора).

На сегодняшний день именно QALY и DALY являются наиболее часто используемыми из числа показателей, сочетающих оценки продолжительности жизни и состояния здоровья. При этом сферы практического применения показателей DALY и QALY несколько различаются [35].

Показатели QALY были разработаны в начале 1970-х гг. в качестве «индекса состояния здоровья», сочетающего продолжительность и качество жизни, и на раннем этапе применялись при скрининге туберкулеза. В настоящее время QALY используются прежде всего для экономических оценок множеством регулирующих организаций, сделавших анализ рентабельности (cost-effectiveness analysis) составной частью процесса принятия решений. QALY позволяют сравнить вмешательства в здоровье, которые способны продлить жизнь, но имеют серьезные побочные эффекты (такие, как постоянная нетрудоспособность, вызванная радиотерапией или химиотерапией при лечении рака), с вмешательствами, которые улучшают качество жизни без ее продления (такими, как паллиативная помощь или обезболивание) [19].

DALY – это суммарный показатель популяционного здоровья, включающий в себя смертность и не смертельные последствия для здоровья. Изначально данный показатель разрабатывался для количественной оценки тяжести заболеваний в рамках проекта ГББ с целью измерения относительной величины потери здоровой жизни, связанной с различными причинами заболевания или ин-

¹⁵ Health-Adjusted Life Years (англ. «годы жизни, взвешенные с учетом состояния здоровья») – общий термин для группы показателей, включающих в себя показатели DALY, QALY и др.

валидности [30]. Методы расчета DALY основаны на предположении, что время является наиболее подходящим показателем тяжести заболевания, включающим время, прожитое с нетрудоспособностью, и время, потерянное вследствие преждевременной смерти [19].

Основной принцип расчета DALY заключается в том, что каждый вид заболевания или иной причины снижения трудоспособности взвешивается с учетом степени тяжести (от «0» – хорошее здоровье до «1» – смерть). На популяционном уровне этот вес умножается на продолжительность воздействия, а также на численность подверженной такому воздействию группы лиц. Таким образом, DALY определяется как сумма лет, утраченных вследствие преждевременной смерти, и лет здоровой жизни, которые потеряны в результате пребывания в состоянии отсутствия полного здоровья по причине негативного воздействия. «Основным преимуществом этого показателя является возможность обобщения последствий разных воздействий (например, экологических), а также объединения количественных и качественных характеристик жизни»¹⁶.

Показатели QALY и DALY могут быть использованы и используются в оценке рентабельности инвестиций в систему здравоохранения, хотя изначально только QALY были разработаны для этих целей [35]. Наиболее существенное отличие между показателями DALY и QALY заключается в том, что QALY больше подходит для оценки медицинского вмешательства с точки зрения последствий влияния такого вмешательства на качество жизни, тогда как показатели DALY позволяют количественно оценить негативное влияние самого заболевания на среднем индивидуальном или популяционном уровнях с точки зрения «степени тяжести» или популяционной нагрузки («бремени болезни»¹⁷). Поэтому именно показатели DALY более пригодны в качестве основы для расчета показателей ущерба, связанного с воздействием различных вредных факторов.

В наиболее общем виде формула для вычисления показателей DALY может быть записана следующим образом:

$$DALY = YLL + YLD, \quad (3)$$

где YLL – число лет, потерянных вследствие преждевременной смерти, то есть число лет, не дожитое человеком в среднем до значения ожидаемой продолжительности жизни вследствие преждевременной смерти, вызванной заболеванием; YLD – число лет, прожитых с нетрудоспособностью, вызванной заболеванием или иной причиной.

В свою очередь

$$YLL = M \cdot LE, \quad (4)$$

где M – число смертельных случаев, вызванных заболеванием; LE – стандартное значение ожидаемой продолжительности жизни для лиц, доживших до возраста смерти.

А YLD вычисляется с помощью формулы, использующей взвешивающий фактор, отражающий снижение качества жизни в связи с тем или иным заболеванием:

$$YLD = DW \cdot I \cdot DD, \quad (5)$$

где I – число случаев заболевания, не приводящих к смерти; DD – средняя продолжительность нетрудоспособности в связи с заболеванием; DW – взвешивающий множитель, приписываемый заболеванию, отражающий снижение качества жизни в связи с наличием заболевания.

Методология расчета показателей DALY постоянно совершенствуется [22, 38]. В настоящее время при расчете DALY допускается возможность придания различного веса годам жизни, прожитым с нарушениями здоровья в различных возрастах. Используя (в некоторых методиках) при вычислении DALY весовых коэффициентов для различных возрастов, обычно отдают предпочтение молодым взрослым перед младенцами и пожилыми людьми, так как такие люди считаются более «производительными» членами общества, способствующими развитию экономики. Однако не все государства считают такой подход приемлемым. Взвешивающие возрастные коэффициенты являются, вероятно, самыми противоречивыми социальными показателями, применяемыми при вычислении DALY.

Весовые коэффициенты нетрудоспособностей и возрастов – это не единственные социальные величины, учитываемые при оценке показателей DALY. В ходе реализации проекта ГББ были определены и другие вопросы (в дополнение к двум обсуждавшимся выше: стандартное число потерянных лет жизни вследствие смерти и веса нетрудоспособности), влияющие на то, как и почему вычисляются оценки DALY:

1. Как долго люди «должны» жить?

2. Является ли сохраненный сейчас год жизни более ценным для общества, чем год здоровой жизни, сохраненный когда-то в будущем, например через 20 лет?

3. Должны ли годы здоровой жизни оцениваться по-разному в различных возрастах? Например, ГББ выбрали оценивать год жизни молодого взрослого дороже, чем год жизни пожилого человека или младенца.

¹⁶ Бычкова С.Г. Социальная статистика: учебник для академического бакалавриата. – М.: Изд-во Юрайт, 2019. – 864 с.

¹⁷ Данный дословный перевод термина *burden of disease*, использующийся в официальных русскоязычных переводах публикаций ВОЗ, представляется авторам неудачным и неблагозвучным, поэтому в тексте статьи мы стараемся по возможности его избегать, заменяя другими словосочетаниями, имеющими сходный смысл.

4. Все ли люди одинаково важны?

5. Для заданного возраста все ли люди теряют одинаковое количество здоровья вследствие смерти, даже в случае, если их ожидаемая продолжительность жизни отличается между различными социальными группами населения? [39].

Однако не все исследователи согласились с таким подходом как в части отличий, так и в части весовых коэффициентов. Применение же такого подхода превращает DALY в большей степени в экономический показатель производительности затронутых болезнью лиц.

Критики отмечают три основные этические проблемы использования показателей QALY и DALY:

– они не в полной мере учитывают состояния лиц, имеющих неблагоприятный социальный статус или плохое состояние здоровья. Лица пожилого возраста и лица с уже существующими нарушениями здоровья вносят вклад в получение более низких значений показателей HALY, потому что потенциал для улучшения их здоровья является ограниченным;

– аналогичным образом эти показатели дискриминируют лиц с ограниченными возможностями лечения или меньшей вероятностью выздоровления (например, лиц с уже выявленными нарушениями здоровья или заболеваниями);

– оба показателя не учитывают качественные различия в исходах (например, спасение жизни по сравнению с улучшением здоровья) из-за способа агрегирования показателей заболеваемости и смертности. Значения показателей состояния здоровья и болезней комбинируются у разных лиц и для всего спектра состояний здоровья от состояния полного здоровья до смерти. Это означает, что не учитываются реальные различия между мероприятиями, направленными на спасение жизни, и мероприятиями, направленными на улучшение здоровья. Проблема агрегирования также поднимает вопрос о том, следует ли оценивать незначительные выгоды для многих людей так же, как значительные выгоды для нескольких человек [19].

В настоящее время развиваются новые методы оценки, которые лучше учитывают социальные особенности и могут помочь разрешить не только названные этические проблемы, но также дать улучшенное представление о популяционном здоровье.

Таким образом, наибольший научный интерес представляет оценка «тяжести заболеваний» как

ключевого параметра для включения в состав обобщенных показателей здоровья заболеваний, травм и видов инвалидности, не становящихся причиной смерти, но приводящих к снижению функциональных способностей, сокращению продолжительности и снижению качества жизни. Научно-практический интерес представляет поиск баланса в двух направлениях: 1) баланс между самооценкой состояния здоровья и качества жизни в связи с заболеванием, травмой или инвалидностью и объективными показателями здоровья и функциональности; 2) баланс между социально-экономическими (для государства и экономики разные социальные группы представляют различную «ценность»¹⁸) и гуманистическими (жизни всех людей одинаково важны, независимо от пола, возраста, расы, национальности, состояния здоровья и других социальных характеристик) оценками «важности» различных групп населения.

Развитие показателей для оценки радиационного ущерба. В рамках 2-й сессии «Риски и эффекты» международной интернет-конференции The Future of Radiological Protection («Будущее радиационной защиты»), прошедшей в октябре 2021 г. под эгидой МКРЗ, был представлен доклад рабочей группы TG-102 по разработке методологии вычисления радиационного ущерба, посвященный вопросу возможного совершенствования используемой методологии в будущем [40]. В данном докладе были выделены пять основных направлений возможного усовершенствования методологии:

1) актуализация исходных данных и параметров расчета ущерба;

2) пересмотр моделей зависимости «доза – эффект» и методики межпопуляционного переноса оценок риска;

3) учет зависимости риска от пола и возраста при расчете ущерба;

4) повышение прозрачности оценок и понятности показателей;

5) учет нераковых заболеваний.

Для первого направления авторы доклада выделили три основных составляющих: 1) использование актуальных статистических данных об уровнях онкологической заболеваемости и смертности; 2) использование сведений о популяциях, помимо азиатской и евро-американской и 3) переоценка взвешивающих коэффициентов, отражающих степень тяжести несмертельных¹⁹ заболеваний.

¹⁸ Этичность учета данного фактора при расчете обобщенных показателей здоровья населения является предметом отдельной дискуссии [20]. Как правило, в государствах с высоким уровнем дохода на душу населения придерживаются принципов равноценности всех жизней, тогда как в странах с ограниченным бюджетом на развитие системы здравоохранения вынуждены учитывать ограниченные возможности развития государственной системы здравоохранения при определении приоритетных направлений финансирования.

¹⁹ Под несмертельными заболеваниями в данном случае подразумеваются заболевания, вызываемые воздействием ионизирующих излучений, приводящие к сокращению продолжительности и снижению качества жизни, но не становящиеся причиной смерти. Данное понятие относится не к нозологической форме в целом, а лишь к той доле заболеваний, которые возникают у представителей облученной популяции вследствие облучения, но не становятся основной причиной смерти.

Второй и пятый пункты из данного списка в большей степени относятся к области обобщения результатов эпидемиологических исследований, тогда как остальные вопросы имеют более прикладной, методологический характер. Попытки расчета ущерба с использованием более современных медико-демографических данных конкретных популяций (в частности – российской) предпринимаются достаточно часто [41, 42], так же, как и замена некоторых параметров расчета ущерба, таких как доля летальности онкологических заболеваний и т.п. [5, 6]. Довольно часто, особенно в области оценки рисков от медицинского облучения, предпринимаются попытки учета зависимости рисков от пола и возраста при облучении [43–45].

Гораздо меньше внимания до последнего времени уделялось наиболее фундаментальному вопросу – собственно величине ущерба, ее смысловому наполнению и практической необходимости [46]. Между тем, как было отмечено выше, прогресс, достигнутый в последние годы в области оценки популяционного здоровья, наряду с устареванием данных, использованных для расчета ущерба, медико-демографических и иных данных, а также сложившаяся практика использования величины ущерба и ее производных делают задачу пересмотра и переосмысления этой величины весьма актуальной.

Например, K. Shimada и M. Kai в своей статье использовали показатель DALY в качестве возможной меры радиационного риска для здоровья [46]. На основании результатов выполненной оценки сделан вывод о том, что МКРЗ переоценивает вклад риска лейкемии и недооценивает вклад рака молочной и щитовидной железы. Отмечен недостаток величины ущерба, заключающийся в том, что он не может быть адекватно интерпретирован или использован. Ущерб, вопреки мнению многих специалистов, не означает риск для населения в целом, так как он вычислен для гипотетической популяции обоих полов, различного возраста и этнического состава. В работе отмечено, что мультиразмерная концепция ущерба, используемая для целей радиационной защиты, была выделена в качестве меры радиационного риска. В частности, в вопросе сравнения смертельных и несмертельных видов рака. Подчеркнуто также, что существующая концепция ущерба может быть использована только для целей сравнения эффекта от воздействия различных доз облучения.

Смена парадигмы оценки ущерба для здоровья в прикладной сфере, безусловно, должна иметь убедительное научное и практическое обоснование. Структурное сходство величины радиационного ущерба и показателя DALY позволяет исследовать несколько различных вариантов применения методологии оценки глобального бремени болезней при оценке радиационного ущерба и разработке соответствующих показателей:

1. Наиболее простой подход заключается в прямой замене весовых коэффициентов, присвоенных несмертельным ЗНО при вычислении ущерба, соответствующими показателями DW, применяемых при расчете DALY. Такой подход потребовал бы изменить последний этап вычисления взвешивающих множителей различных органов и тканей, так как значения ущерба²⁰ для несмертельных ЗНО отдельных органов и тканей уже вычисляются с учетом числа потерянных лет здоровой жизни, тогда как смертельные случаи рака не оценены с учетом данного показателя.

2. Показатели радиационного ущерба «де-факто» используются в качестве прогнозной меры риска при решении множества практических задач в области обеспечения радиационной безопасности, несмотря на прямое указание МКРЗ на некорректность подобного использования величины ущерба. По этой причине применение актуальных медико-демографических данных конкретных популяций при расчете числа радиационно-индуцированных случаев рака и вычисление значений линейных коэффициентов радиационного ущерба для наиболее значимых половозрастных групп населения могли бы придать больше реального смысла оценкам риска, вычисляемым с их использованием, даже несмотря на все известные неопределенности подобных оценок.

3. Наконец, вычисление значений линейных коэффициентов DALY на единицу дозы облучения и параллельное использование обоих показателей при характеристике риска смогли бы способствовать постепенному внедрению современных показателей радиационного ущерба без нарушения преемственности традиций и необходимости единовременного переобучения огромного числа специалистов.

Проведенный анализ литературных данных убедительно показывает актуальность проводимых исследований в области развития методологии оценки рисков и позволяет определить наиболее перспективные направления дальнейших исследований.

Выводы. На основании анализа приведенных в статье литературных источников можно сформулировать следующее:

1. Одним из прикладных аспектов совершенствования методологии оценки здоровья является постепенное изменение парадигмы оценки негативного влияния на здоровье населения различных факторов среды обитания, то есть анализа риска для здоровья. На смену обобщенным показателям здоровья на основе смертности населения, связанной с воздействием вредных факторов, при решении множества управленческих задач приходят показатели на основе сокращения продолжительности здоровой жизни вследствие воздействия таких факторов.

2. Внедрение показателей DALY в методологию оценки риска для здоровья может предоставить

²⁰ Или detriment-adjusted risk в терминологии 103-й Публикации МКРЗ [14].

целый ряд преимуществ, по сравнению с используемыми в настоящее время подходами:

– оценки риска на основе DALY позволяют более корректно сравнивать негативные эффекты воздействия вредного фактора на популяционное здоровье при различном распределении реализации рисков во времени;

– оценки на основе DALY упрощают межпопуляционный сравнительный анализ рисков, так как позволяют учесть популяционные различия значительно точнее, чем при сравнительном анализе риска на основе стандартизации половозрастных медико-демографических показателей;

– постоянно совершенствующиеся методики оценки тяжести заболеваний позволяют наиболее точно отразить в анализе рисков актуальное состояние национальных систем здравоохранения, в частности, успехи в области диагностики и лечения конкретных видов заболеваний;

– оценки популяционного риска на основе числа потерянных лет здоровой жизни не создают ложного восприятия наличия реальных смертельных случаев в ситуациях отсутствия эпидемиологических подтверждений наличия вредных эффектов от воздействия очень маленьких доз (экспозиций) вредного фактора

на большие по численности группы населения, то есть в ситуациях, когда наличие вредных эффектов не исключается лишь благодаря экстраполяции с области более высоких доз (экспозиций).

3. Быстрая смена парадигмы в области оценки рисков представляется трудно осуществимой на практике и вряд ли целесообразна. Представляется более реалистичным постепенное изменение системы показателей риска путем применения методологии оценки тяжести заболеваний, разработанной в рамках проекта ГББ, к вычислению показателей риска для здоровья, связанного с воздействием различных факторов среды обитания. Параллельно с этим возможно использование в качестве показателя для оценки вредного воздействия на здоровье величины DALY на единицу экспозиции вредного фактора.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки. Статья подготовлена в рамках выполнения НИР «Разработка и научное обоснование прикладных методов оценки радиационных рисков для здоровья населения при различных ситуациях и сценариях облучения на основе современных подходов к оценке радиационного ущерба».

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Демин В.Ф., Захарченко И.Е. Риск воздействия ионизирующего излучения и других вредных факторов на здоровье человека: методы оценки и практическое применение // Радиационная биология. Радиэкология. – 2012. – Т. 52, № 1. – С. 77–89.
2. Коренков И.П., Демин В.Ф., Соловьев В.Ю. Проблемы установления зависимости доза – эффект для оценки риска от воздействия ионизирующего излучения и вредных химических веществ // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 7. – С. 697–700. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-7-697-700
3. Cancer risk from chronic exposures to chemicals and radiation: a comparison of the toxicological reference value with the radiation detriment / E. Cléro, M. Bisson, V. Nathalie, E. Blanchardon, E. Thybaud, Y. Billaran // Radiat. Environ. Biophys. – 2020. – Vol. 60, № 4. – P. 531–547. DOI: 10.1007/s00411-021-00938-2
4. History of radiation detriment and its calculation methodology used in ICRP Publication 103 / E. Cléro, L. Vaillant, N. Hamada, W. Zhang, D. Preston, D. Laurier, N. Ban // J. Radiol. Prot. – 2019. – Vol. 39, № 3. – P. R19–R35. DOI: 10.1088/1361-6498/ab294a
5. Sensitivity analysis of parameters and methodological choices used in calculation of radiation detriment for solid cancer / W. Zhang, D. Laurier, E. Cléro, N. Hamada, D. Preston, L. Vaillant, N. Ban // Int. J. Radiat. Biol. – 2021. – Vol. 96, № 5. – P. 596–605. DOI: 10.1080/09553002.2020.1708499
6. Impact of updating the non-radiation parameters in the ICRP 103 detriment model / J. Breckow, S. Emami, S. Amalhaf, A. Beshgard, J. Vuermeyer, K. Spruck // Radiat. Environ. Biophys. – 2021. – Vol. 57. – P. 89–98. DOI: 10.1007/s00411-018-0731-z
7. Возможности применения индекса DALY для оценки состояния здоровья населения Российской Федерации [Электронный ресурс] / О.С. Кобякова, И.А. Деев, В.А. Бойков, М.Н. Милькевич, Е.С. Куликов, А.О. Наумов, А.А. Голубева, И.П. Шибалков // Социальные аспекты здоровья населения. – 2015. – Т. 42, № 2. – URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/660/30/lang,ru/> (дата обращения: 12.12.2021).
8. The burden of disease in Russia from 1980 to 2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 / V.I. Starodubov, L.B. Marczak, E. Varavikova, B. Bikbov, S.P. Ermakov, J. Gall, S.D. Glenn, M. Griswold [et al.] // The Lancet. – 2018. – Vol. 392, № 10153. – P. 1138–1146. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)31485-5
9. Публикация 26 МКРЗ. Радиационная защита // Труды МКРЗ. – М.: Атомиздат, 1978. – 88 с.
10. Публикация 60 МКРЗ. Радиационная безопасность. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Часть 2 / пер. с англ. Т.Д. Кузьминой / под ред. И.Б. Кеирим-Маркуса // Труды МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 208 с.
11. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: solid cancer and noncancer disease mortality: 1950–1997 / D.L. Preston, Y. Shimizu, D.A. Pierce, A. Suyama, K. Mabuchi // Radiat. Res. – 2012. – Vol. 178, № 2. – P. AV146–AV172. DOI: 10.1667/rrav12.1
12. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14, 1950–2003: an overview of cancer and noncancer diseases / K. Ozasa, Y. Shimizu, A. Suyama, F. Kasagi, M. Soda, E.J. Grant, R. Sakata, H. Sugiyama, K. Kodama // Radiat. Res. – 2012. – Vol. 177, № 3. – P. 229–243. DOI: 10.1667/rr2629.1
13. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Radiation protection. Part 2 / ed. by H. Smith // Annals of the ICRP. – 1991. – Vol. 21, № 1–3. – 211 p.

14. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 / ed. by J. Valentin // *Annals of the ICRP*. – 2007. – Vol. 37, № 2–4. – 339 p.
15. Репин Л.В. Об использовании коэффициентов ущерба для количественной оценки последствий воздействия ионизирующего излучения // *Радиационная гигиена*. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 35–37.
16. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите / пер. с англ. И.А. Гусева / под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы // *Труды МКРЗ*. – М.: ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.
17. EPA 402-R-11-001. EPA Radiogenic Cancer Risk Models and Projections for the U.S. Population. – Washington, D.C., 2011. – 175 p.
18. UNSCEAR 2006 Report. Effects of ionizing radiation. – New York: United Nations, 2009. – Vol. 2. – 338 p.
19. Lajoie J. Understanding the Measurement of Global Burden of Disease [Электронный ресурс] // National Collaborating Centre for Infectious Diseases. – 2015. – 22 p. – URL: https://nccid.ca/wp-content/uploads/sites/2/2015/03/Global_Burden_Disease_Influenza_ENG.pdf (дата обращения: 20.12.2021).
20. Murray C.J.L., Salomon J.A., Mathers C. A critical examination of summary measures of population health // *Bull. World Health Organ.* – 2000. – Vol. 78, № 8. – P. 981–994.
21. Gold M.R., Stevenson D., Fryback D.G. HALYs and QALYs and DALYs, Oh My: similarities and differences in summary measures of population health // *Annu. Rev. Public Health.* – 2002. – Vol. 23. – P. 115–134. DOI: 10.1146/annurev.publhealth.23.100901.140513
22. Sassi F. Calculating QALYs, comparing QALY and DALY calculations // *Health Policy Plan.* – 2006. – Vol. 21, № 5. – P. 402–408. DOI: 10.1093/heapol/czl018
23. Паспорт национального проекта «Здравоохранение» [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/gWYJ4OsAhPOweWajk1prKDEpregEcduI.pdf> (дата обращения: 12.12.2021).
24. Trends in mortality from occupational hazards among men in England and Wales during 1979–2010 / E.C. Harris, K.T. Palmer, V. Cox, A. Darnton, J. Osman, D. Coggon // *Occup. Environ. Med.* – 2016. – Vol. 73, № 6. – P. 385–393. DOI: 10.1136/oemed-2015-103336
25. Excess mortality associated with the COVID-19 pandemic among Californians 18–65 years of age, by occupational sector and occupation: March through November 2020 / Y.-H. Chen, M. Glymour, A. Riley, J. Balmes, K. Duchowny, R. Harrison, E. Matthay, K. Bibbins-Domingo // *PLoS One.* – 2021. – Vol. 16, № 6. – P. e0252454. DOI: 10.1371/journal.pone.0252454
26. Попова А.Ю. Состояние условий труда и профессиональная заболеваемость в Российской Федерации // *Медицина труда и экология человека*. – 2015. – № 3. – С. 7–13.
27. Анализ риска здоровью в задачах совершенствования санитарно-эпидемиологического надзора в Российской Федерации / Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, И.В. Май, П.З. Шур // *Анализ риска здоровью*. – № 2. – 2014. – С. 4–14. DOI: 10.21668/health.risk/2014.2.01
28. EPA 100-B-00-002. Risk Characterization: Science Policy Council Handbook. – Washington, DC, 2000. – 189 p.
29. Measuring the public's health / S.B. Thacker, D.F. Stroup, V. Carande-Kulis, J.S. Marks, K. Roy, J.L. Gerberding // *Public Health Rep.* – 2006. – Vol. 121, № 1. – P. 14–22. DOI: 10.1177/003335490612100107
30. Salomon J.A. Disability-Adjusted Life Years // *Encyclopedia of Health Economics*. – Elsevier, 2014. – P. 200–203. DOI: 10.1016/b978-0-12-375678-7.00511-3
31. Mathers C.D. History of global burden of disease assessment at the World Health Organization // *Arch. Public Health.* – 2020. – Vol. 78. – P. 77. DOI: 10.1186/s13690-020-00458-3
32. The International Classification of Functioning, Disability and Health: a new tool for understanding disability and health / T.B. Ustün, S. Chatterj, J. Bickenbach, N. Kostanjsek, M. Schneider // *Disabil. Rehabil.* – 2003. – Vol. 25, № 11–12. – P. 565–571. DOI: 10.1080/0963828031000137063
33. The Global Burden of Disease concept [Электронный ресурс] // WHO. – URL: https://www.who.int/quantifying_chimpacts/publications/en/9241546204chap3.pdf (дата обращения: 12.12.2021).
34. The Global Burden of Disease 2000 project: aims, methods and data sources [Электронный ресурс] / C.J.L. Murray, A.D. Lopez, C.D. Mathers, C. Stein // WHO. – 2001. – 57 p. – URL: <https://www.who.int/healthinfo/paper36.pdf> (дата обращения: 12.12.2021).
35. Handbook of disease burdens and quality of life measures / eds. by V.R. Preedy, R.R. Watson. – New York: Springer, 2010. – 4446 p. DOI: 10.1007/978-0-387-78665-0
36. Health-adjusted life expectancy (HALE) in Chongqing, China, 2017: An artificial intelligence and big data method estimating the burden of disease at city level / X. Ruan, Y. Li, X. Jin, P. Deng, J. Xu, N. Li, X. Li, Y. Liu [et al.] // *Lancet Reg. Health West. Pac.* – 2021. – Vol. 9. – P. 100110. DOI: 10.1016/j.lanwpc.2021.100110
37. Health-Adjusted Life Expectancy (HALE) in Korea: 2005–2011 / J.Y. Lee, M. Ock, S.H. Kim, D.S. Go, H.J. Kim, M.W. Jo // *J. Korean Med. Sci.* – 2016. – Vol. 31, suppl. 2. – P. S139–S145. DOI: 10.3346/jkms.2016.31.S2.S139
38. Chen A., Jacobsen K.H., Deshmukh A.A., Cantor S.B. The evolution of the disability-adjusted life year (DALY) // *Socio-Econ. Plan. Sci.* – 2015. – Vol. 49. – P. 10–15. DOI: 10.1016/j.seps.2014.12.002
39. The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020: summary / eds. by C.J.L. Murray, A.D. Lopez // World Health Organization. – Boston: Harvard School of Public Health, 1996. – 41 p.
40. Possible Improvements of Methodology for Calculating Radiation Detriment in the Future [Электронный ресурс] / N. Van, E. Clero, L. Vaillant, W. Zhang, N. Hamada, D. Preston, D. Laurier // ICRP. – URL: https://icrp.org/admin/Live%20Sessions/SLIDES_2-2_NobuhikoVan.pdf (дата обращения: 12.12.2021).
41. Эффект переноса моделей радиационного риска МКРЗ на популяцию РФ / А.И. Горский, С.Ю. Чекин, М.А. Максюгов, А.Н. Меняйло, А.М. Корело, К.А. Туманов, Н.С. Зеленская, О.Е. Лашкова, В.К. Иванов // *Радиация и риск*. – 2019. – Т. 28, № 4. – С. 5–15. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-4-5-15

42. Исследование влияния неопределённости фоновых показателей заболеваемости на прогноз радиационных рисков по моделям МКРЗ для российских популяций при однократном облучении / В.К. Иванов, С.Ю. Чекин, В.В. Кашеев, М.А. Максюттов, А.М. Корело, А.Н. Меняйло // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22, № 3. – С. 40–56.

43. Улучшенные модели оценки радиационного риска для отдельных когорт пациентов в Швеции / М. Андерссон, К. Эккерман, Д. Павел, А. Олмен, С. Маттссон // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 44–54. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-44-54

44. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении медицинских исследований в Российской Федерации / В.Ю. Голиков, А.В. Водоватов, Л.А. Чипига, И.Г. Шацкий // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14, № 3. – С. 56–68. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68

45. Радиационные риски медицинского облучения / В.К. Иванов, А.Ф. Цыб, Ф.А. Метлер, А.Н. Меняйло, В.В. Кашеев // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2011. – Т. 20, № 2. – С. 17–28.

46. Shimada K., Kai M. Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure // J. Radiol. Prot. – 2015. – Vol. 35, № 4. – P. 763–775. DOI: 10.1088/0952-4746/35/4/763

О гармонизации показателей радиационного риска для здоровья и риска от воздействия иных вредных факторов на основе оценки числа потерянных лет здоровой жизни / Л.В. Репин, Р.Р. Ахматдинов, А.М. Библин, В.С. Репин // Аналитика риска для здоровья. – 2022. – № 1. – С. 170–183. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.18

UDC 614.876

DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.18.eng



Review

ON HARMONIZATION OF HEALTH RISK INDICATORS CAUSED BY IONIZING RADIATION EXPOSURE AND OTHER HARMFUL FACTORS BASED ON DALY ESTIMATES

L.V. Repin, R.R. Akhmatdinov, A.M. Biblin, V.S. Repin

St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, 8 Mira Str., St. Petersburg, 197101, Russian Federation

Radiation detriment is a basic measure which is currently applied to assess health risks caused by exposure to ionizing radiation. This concept was developed by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) more than 30 years ago; it has both certain advantages and drawbacks that limit the scope of its possible application. A certain drawback is that this value is used exclusively to assess effects produced on health by radiation thus making it ineligible for correct comparative analysis of different risks. This review focuses on contemporary scientific papers devoted to various approaches to calculating radiation detriment. There is also an attempt to analyze whether it is possible to apply the WHO methodology for assessing burden of disease as a basis for calculating universal risk rates taking into account effects produced by exposure to harmful environmental factors on population health. A possibility to use DALY (disability-adjusted life years) estimate is considered as one of possible approaches to harmonizing health risk assessment methodologies. DALY is among estimates that are frequently used to assess population health when solving various tasks in public healthcare. The review dwells on discussing whether it is advisable and feasible to gradually change a methodology for calculating radiation detriment in order to use the effective dose as a measure of health risk more correctly.

Key words: radiation risk, radiation detriment, DALY, public health, health risk, global burden of disease, disease severity, mortality, morbidity.

© Repin L.V., Akhmatdinov R.R., Biblin A.M., Repin V.S., 2022

Leonid V. Repin – Junior Researcher at the Information and Analytical Center (e-mail: l.repin@niirg.ru; tel.: +7 (921) 418-35-49; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4857-6792>).

Rustam R. Akhmatdinov – Leading research engineer at the Information and Analytical Center (e-mail: rust.akh@niirg.ru; tel.: +7 (921) 440-98-16; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4151-5380>).

Artem M. Biblin – Senior Researcher, Head of the Information and Analytical Center (e-mail: a.biblin@niirg.ru; tel.: +7 (981) 958-43-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3139-2479>).

Viktor S. Repin – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Head of the Health Department (e-mail: v.repin@niirg.ru; tel.: +7 (921) 787-43-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5234-2489>).

References

1. Demin V.F., Zakharchenko I.E. Risk vozdeistviya ioniziruyushchego izlucheniya i drugikh vrednykh faktorov na zdorov'e cheloveka: metody otsenki i prakticheskoe primenenie [The risk of exposure to ionizing radiation and other harmful factors for human health: assessment methods and practical application]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, 2012, vol. 52, no. 1, pp. 77–89 (in Russian).
2. Korenkov I.P., Demin V.F., Soloviev V.Yu. Problems of the establishment of dose – effect relationship for risk assessment under exposure to ionizing radiation and harmful chemical substances. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 7, pp. 687–700. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-7-697-700 (in Russian).
3. Cléro E., Bisson M., Nathalie V., Blanchardon E., Thybaud E., Billarand Y. Cancer risk from chronic exposures to chemicals and radiation: a comparison of the toxicological reference value with the radiation detriment. *Radiat. Environ. Biophys.*, 2020, vol. 60, no. 4, pp. 531–547. DOI: 10.1007/s00411-021-00938-2
4. Cléro E., Vaillant L., Hamada N., Zhang W., Preston D., Laurier D., Ban N. History of radiation detriment and its calculation methodology used in ICRP Publication 103. *J. Radiol. Prot.*, 2019, vol. 39, no. 3, pp. R19–R35. DOI: 10.1088/1361-6498/ab294a
5. Zhang W., Laurier D., Cléro E., Hamada N., Preston D., Vaillant L., Ban N. Sensitivity analysis of parameters and methodological choices used in calculation of radiation detriment for solid cancer. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2021, vol. 96, no. 5, pp. 596–605. DOI: 10.1080/09553002.2020.1708499
6. Breckow J., Emami S., Amalhaf S., Beshgard A., Buermeyer J., Spruck K. Impact of updating the non-radiation parameters in the ICRP 103 detriment model. *Radiat. Environ. Biophys.*, 2021, vol. 57, pp. 89–98. DOI: 10.1007/s00411-018-0731-z
7. Kobyakova O.S., Deyev I.A., Boikov V.A., Milkevich M.N., Kulikov E.S., Naumov A.O., Golubeva A.A., Shibalkov I.P. Possible application of DALY to health assessment of population in Russia. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2015, no. 2. Available at: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/660/30/> (12.12.2021) (in Russian).
8. Starodubov V.I., Marczak L.B., Varavikova E., Bikbov B., Ermakov S.P., Gall J., Glenn S.D., Griswold M. [et al.]. The burden of disease in Russia from 1980 to 2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet*, 2018, vol. 392, no. 10153, pp. 1138–1146. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)31485-5
9. Publikatsiya 26 MKRZ. Radiatsionnaya zashchita [ICRP Publication 26. Recommendations of the ICRP]. *Trudy MKRZ*. Moscow, Atomizdat, 1978, 88 p. (in Russian).
10. Publikatsiya 60 MKRZ. Radiatsionnaya bezopasnost'. Rekomendatsii Mezhdunarodnoi komissii po radiologicheskoi zashchite 1990 goda. Chast' 2 [ICRP Publication 60. Radiation protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Part 2]. In: I.B. Keirim-Markus ed. *Trudy MKRZ*. Moscow, Energoatomizdat, 1994, 208 p. (in Russian).
11. Preston D.L., Shimizu Y., Pierce D.A., Suyama A., Mabuchi K. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: solid cancer and noncancer disease mortality: 1950–1997. *Radiat. Res.*, 2012, vol. 178, no. 2, pp. AV146–AV172. DOI: 10.1667/rrav12.1
12. Ozasa K., Shimizu Y., Suyama A., Kasagi F., Soda M., Grant E.J., Sakata R., Sugiyama H., Kodama K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14, 1950–2003: an overview of cancer and noncancer diseases. *Radiat. Res.*, 2012, vol. 177, no. 3, pp. 229–243. DOI: 10.1667/rr2629.1
13. ICRP Publication 60. Radiation protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Part 2. In: H. Smith ed. *Annals of the ICRP*, vol. 21, no. 1–3. Oxford, Pergamon Press, 1991, 211 p.
14. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. In: J. Valentin ed. *Annals of the ICRP*, 2007, vol. 37, no. 2–4, 339 p.
15. Repin L.V. On the use of detriment parameters for the quantitative evaluation of radiation exposure consequences. *Radiatsionnaya gigiena*, 2011, vol. 4, no. 1, pp. 35–37 (in Russian).
16. Publikatsiya 103 MKRZ. Rekomendatsii 2007 goda Mezhdunarodnoi komissii po radiatsionnoi zashchite [ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection]. In: M.F. Kiselev, N.K. Shandala eds. *Trudy MKRZ*. Moscow, OOO PKF “Alana”, 2009, 344 p. (in Russian).
17. EPA 402-R-11-001. EPA Radiogenic Cancer Risk Models and Projections for the U.S. Population. *U.S. Environmental Protection Agency*, Washington, D.C., 2011, 175 p.
18. UNSCEAR 2006 Report. Effects of ionizing radiation. Vol. 2. New York, United Nations Publ., 2009, 338 p.
19. Lajoie J. Understanding the Measurement of Global Burden of Disease. *National Collaborating Centre for Infectious Diseases*, 2015, 22 p. Available at: https://nccid.ca/wp-content/uploads/sites/2/2015/03/Global_Burden_Disease_Influenza_ENG.pdf (20.12.2021).
20. Murray C.J.L., Salomon J.A., Mathers C. A critical examination of summary measures of population health. *Bull. World Health Organ.*, 2000, vol. 78, no. 8, pp. 981–994.
21. Gold M.R., Stevenson D., Fryback D.G. HALYs and QALYs and DALYs, Oh My: similarities and differences in summary measures of population health. *Annu. Rev. Public Health*, 2002, vol. 23, no. 1, pp. 115–134. DOI: 10.1146/annurev.publhealth.23.100901.140513
22. Sassi F. Calculating QALYs, comparing QALY and DALY calculations. *Health Policy Plan.*, 2006, vol. 21, no. 5, pp. 402–408. DOI: 10.1093/heapol/czl018
23. Pasport natsional'nogo proekta «Zdravookhraneniye» [The profile of the “Healthcare” national project]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/gWYJ4OsAhPOweWaJk1prKDEpregEcduI.pdf> (12.12.2021) (in Russian).
24. Harris E.C., Palmer K.T., Cox V., Darnton A., Osman J., Coggon D. Trends in mortality from occupational hazards among men in England and Wales during 1979–2010. *Occup. Environ. Med.*, 2016, vol. 73, no. 6, pp. 385–393. DOI: 10.1136/oemed-2015-103336

25. Chen Y.-H., Glymour M., Riley A., Balmes J., Duchowny K., Harrison R., Matthey E., Bibbins-Domingo K. Excess mortality associated with the COVID-19 pandemic among Californians 18–65 years of age, by occupational sector and occupation: March through November 2020. *PLoS One*, 2021, vol. 16, no. 6, pp. e0252454. DOI: 10.1371/journal.pone.0252454
26. Popova A.Yu. Working conditions and occupational morbidity in the Russian Federation. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2015, no. 3, pp. 7–13 (in Russian).
27. Onishchenko G.G., Popova A.U., Zaitseva N.V., May I.V., Shur P.Z. Health risk analysis in the tasks of improving sanitary and epidemiological surveillance in the Russian Federation. *Health Risk Analysis*, 2014, no. 2, pp. 4–13. DOI: 10.21668/health.risk/2014.2.01.eng
28. EPA 100-B-00-002. Risk Characterization: Science Policy Council Handbook. *U.S. Environmental Protection Agency*. Washington, DC, 2000, 189 p.
29. Thacker S.B., Stroup D.F., Carande-Kulis V., Marks J.S., Roy K., Gerberding J.L. Measuring the public's health. *Public Health Rep.*, 2006, vol. 121, no. 1, pp. 14–22. DOI: 10.1177/003335490612100107
30. Salomon J.A. Disability-Adjusted Life Years. *Encyclopedia of Health Economics*. Elsevier, 2014, pp. 200–203. DOI: 10.1016/b978-0-12-375678-7.00511-3
31. Mathers C.D. History of global burden of disease assessment at the World Health Organization. *Arch. Public Health*, 2020, vol. 78, pp. 77. DOI: 10.1186/s13690-020-00458-3
32. Ustün T.B., Chatterj S., Bickenbach J., Kostanjsek N., Schneider M. The International Classification of Functioning, Disability and Health: a new tool for understanding disability and health. *Disabil. Rehabil.*, 2003, vol. 25, no. 11-12, pp. 565–571. DOI: 10.1080/0963828031000137063
33. The Global Burden of Disease concept. *WHO*. Available at: https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/en/9241546204chap3.pdf (12.12.2021).
34. Murray C.J.L., Lopez A.D., Mathers C.D., Stein C. The Global Burden of Disease 2000 project: aims, methods and data sources. *WHO*, 2001, 57 p. Available at: <https://www.who.int/healthinfo/paper36.pdf> (12.12.2021).
35. Handbook of disease burdens and quality of life measures. In: V.R. Preedy, R.R. Watson eds. New York, Springer, 2010, 4446 p. DOI: 10.1007/978-0-387-78665-0
36. Ruan X., Li Y., Jin X., Deng P., Xu J., Li N., Li X., Liu Y. Health-adjusted life expectancy (HALE) in Chongqing, China, 2017: An artificial intelligence and big data method estimating the burden of disease at city level. *Lancet Reg. Health West. Pac.*, 2021, vol. 9, pp. 100110. DOI: 10.1016/j.lanwpc.2021.100110
37. Lee J.Y., Ock M., Kim S.H., Go D.S., Kim H.J., Jo M.W. Health-Adjusted Life Expectancy (HALE) in Korea: 2005–2011. *J. Korean Med. Sci.*, 2016, vol. 31, suppl. 2, pp. 139–145. DOI: 10.3346/jkms.2016.31.S2.S139
38. Chen A., Jacobsen K.H., Deshmukh A.A., Cantor S.B. The evolution of the disability-adjusted life year (DALY). *Socio-Econ. Plan. Sci.*, 2015, vol. 49, pp. 10–15. DOI: 10.1016/j.seps.2014.12.002
39. The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020: summary. In: C.J.L. Murray, A.D. Lopez eds. *WHO*. Boston, Harvard School of Public Health Publ., 1996, 41 p.
40. Ban N., Clero E., Vaillant L., Zhang W., Hamada N., Preston D., Laurier D. Possible Improvements of Methodology for Calculating Radiation Detriment in the Future. *ICRP*. Available at: https://icrp.org/admin/Live%20Sessions/SLIDES_2-2_NobuhikoBan.pdf (12.12.2021).
41. Gorski A.I., Chekin S.Yu., Maksioutov M.A., Menyajlo A.N., Korelo A.M., Tumanov K.A., Zelenskaya N.S., Lashkova O.E., Ivanov V.K. Transfer of ICRP models of radiation risk to the population of the Russian Federation. *Radiatsiya i risk*, 2019, vol. 28, no. 4, pp. 5–15. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-4-5-15 (in Russian).
42. Ivanov V.K., Chekin S.Yu., Kashcheev V.V., Maksyutov M.A., Korelo A.M., Menyailo A.N. Issledovanie vliyaniya neopredelennosti fonovykh pokazatelei zaboлеваemosti na prognoz radiatsionnykh riskov po modelyam MKRZ dlya rossiiskikh populyatsii pri odnokratnom obluchenii [Effect produced by uncertainty of baseline incidence rates on estimating radiation risks with ICRP models for Russian populations following single exposure to radiation]. *Radiatsiya i risk*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 40–56 (in Russian).
43. Andersson M., Eckerman K., Pawel D., Almén A., Mattsson S. Improved radiation risk models applied to different patient groups in Sweden. *Radiation Hygiene*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 44–54. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-44-54
44. Golikov V.Yu., Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Shatsky I.G. Evaluation of radiation risk for patients undergoing medical examinations in the Russian Federation]. *Radiatsionnaya gigiena*, 2021, vol. 14, no. 3, pp. 56–68. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68 (in Russian).
45. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Mettler F.A., Menyaylo A.N., Kashcheev V.V. Health risks of medical radiation exposure. *Radiatsiya i risk*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 17–28 (in Russian).
46. Shimada K., Kai M. Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure. *J. Radiol. Prot.*, 2015, vol. 35, no. 4, pp. 763–775. DOI: 10.1088/0952-4746/35/4/763

Repin L.V., Akhmatdinov R.R., Biblin A.M., Repin V.S. On harmonization of health risk indicators caused by ionizing radiation exposure and other harmful factors based on DALY estimates. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 1, pp. 170–183. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.18.eng

Получена: 24.01.2022

Одобрена: 08.03.2022

Принята к публикации: 11.03.2022