

А.Н. Котеров¹, Л.Н. Ушенкова¹, И.Г. Дибиргаджиев¹, А.А. Вайнсон², М.В. Калинина¹, А.П. Бирюков¹

ИЗБЫТОЧНЫЙ ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ РИСК КАТАРАКТОГЕННЫХ НАРУШЕНИЙ ХРУСТАЛИКА У РАБОТНИКОВ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И МЕТА-АНАЛИЗ

¹Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

²НМИЦ онкологии им Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва

Контактное лицо: Алексей Николаевич Котеров, e-mail: govorilga@inbox.ru

РЕФЕРАТ

Клетки хрусталика являются наиболее радиочувствительными клетками организма, превышая по ключевым параметрам даже лимфоциты. Лучевые нарушения в хрусталике могут наблюдаться при относительно небольших дозах радиации, в связи с чем ряд авторов приписывают данным эффектам не детерминированную, а стохастическую природу.

Хотя катарактогенные последствия не всегда отражаются на остроте зрения, а хрусталики подвергаются успешной хирургической коррекции, при облучении различных профессиональных групп, в том числе работников ядерной индустрии, эти последствия расцениваются по важности сразу вслед за злокачественными новообразованиями и болезнями системы кровообращения. Представленное исследование показало, что публикаций на тему нарушений в хрусталике у работников ядерной индустрии очень мало – выявлено всего 20 источников (1967–2022), причем данных об эффектах малых доз (0,1 Гр для радиации с низкой ЛПЭ) не обнаружено. При проведении мета-анализа по ERR на 1 Гр/Зв для лучевых нарушений в хрусталике у работников ядерной индустрии значимыми оказались три когорты: малая группа в американском исследовании переработки трансурановых элементов, персонал ПО «Маяк» и работники РОСАТОМа – ликвидаторы аварии на ЧАЭС. Выборка была гомогенной, публикационное смещение являлось маловероятным, и по результатам мета-анализа (Fixed effect model) ERR на 1 Гр/Зв составил 0,30 (доверительные интервалы 95 %: 0,25; 0,35). Исходя из проведенной ранее (Котеров А.Н., и др., 2022) оценки средней накопленной дозы внешнего облучения для работников ядерной индустрии как мировой профессиональной категории, составившей 31,1 мЗв, расчет показал, что при ERR = 0,3 на 1 Гр/Зв избыточный преваленс катаракт для группы из «средних» работников равен 0,0093. Это соответствует приросту преваленса в 0,096 % сверх фонового уровня в 10,3 % для потенциально радиогенных катаракт (последнее значение взято из мета-анализа Hashemi H. et al, 2020). Подобный прирост вряд ли имеет практическую значимость, хотя для некоторых когорт (Sellafield, ПО «Маяк») могут иметься группы со значительными кумулятивными дозами и, следовательно, с повышенными рисками. Важность рисков катарактогенных нарушений в хрусталике у радиационных работников может быть обусловлена снижением профессиональной пригодности, поскольку искусственный хрусталик, как правило, слабо способен к аккомодации.

Ключевые слова: работники ядерной индустрии, хрусталик, катаракты, систематический обзор, мета-анализ

Для цитирования: Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Дибиргаджиев И.Г., Вайнсон А.А., Калинина М.В., Бирюков А.П. Избыточный относительный риск катарактогенных нарушений хрусталика у работников ядерной индустрии: систематический обзор и мета-анализ // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т. 68. № 3. С. 21–32. DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-3-21-32

A.N. Koterov¹, L.N. Ushenkova¹, I.G. Dibirgadzhiyev¹, A.A. Wainson², M.V. Kalinina¹, A.P. Biryukov¹

Excess Relative Risk of Cataractogenic Lense Disorders in Nuclear Workers: Systematic Review and Meta-analysis

¹A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

²N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center, Moscow, Russia

Contact person: Alexey N. Koterov, e-mail: govorilga@inbox.ru

ABSTRACT

The lens cells are the most radiosensitive cells in the body, surpassing even lymphocytes in key parameters. Radiation damages in the lens can be observed at relatively low doses, in connection with which a number of authors attribute to these effects not a deterministic, but a stochastic nature.

Although cataractogenic consequences do not always affect visual acuity, and lens undergo successful surgical correction, when irradiating various professional groups, including workers in the nuclear industry, these consequences are regarded in importance immediately after malignant neoplasms and diseases of the circulatory system. The presented study showed that there are very few publications on the lens disorders in nuclear workers – only 20 sources were identified (1967–2022), and no data were found on the effects of low doses (0.1 Gy for low LET radiation).

When conducting a meta-analysis for ERR at 1 Gy/Sv for radiation damage in the lens of nuclear workers, three cohorts turned out to be relevant: a small group in the American study of transuranium elements processing, Mayak personnel and ROSATOM workers – liquidators of the Chernobyl accident. The sample was homogeneous, publication bias was unlikely, and, according to the results of a meta-analysis (Fixed effect model), ERR per 1 Gy/Sv was 0.30 (95 % confidence intervals: 0.25; 0.35).

Based on the earlier work (Kotero A.N. et al, 2022) of the mean cumulative dose of external exposure for nuclear workers as a world professional category, which amounted to 31.1 mSv, the calculation showed that with ERR = 0.3 per 1 Gy/Sv excess prevalence of cataracts for a group of 'average' workers is 0.0093. This corresponds to an increase in prevalence of 0.096 % over a background level of 10.3 %

for potentially radiogenic cataracts (last value taken from a meta analysis by Hashemi H. et al., 2020). Such an increase is unlikely to have practical significance. Although for some cohorts (Sellafield, PO 'Mayak') there may be groups with significant cumulative doses and, therefore, with increased risks.

The importance of the risks of cataractogenic disorders in the lens in radiation workers may be due to a decrease in professional suitability, since the artificial lens, as a rule, is poorly capable of accommodation.

Keywords: *nuclear workers, lens disorders, cataracts, systematic review, meta-analysis*

For citation: Koterov AN, Ushenkova LN, Dibirgadzhiyev IG, Wainson AA, Kalinina MV, Biryukov AP. Excess Relative Risk of Cataractogenic Lens Disorders in Nuclear Workers: Systematic Review and Meta-analysis. Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68(3):21–32. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-3-21-32

Введение и цель исследования

Нарушения в хрусталике расцениваются как третий по значимости эффект, вслед за злокачественными новообразованиями и болезнями системы кровообращения, у профессионально облучаемых групп (объединяющий термин «радиационные работники» ('Radiation workers') [1, 2], используется для медицинских рентгенологов и радиологов, стоматологов, промышленных радиографистов и работников ядерной индустрии) [3, 4]. Существует ряд обзоров и мета-анализов, посвященных показателям риска для радиогенных нарушений в хрусталике и для катаракт, но они посвящены либо медицинским рентгенологам и радиологам [5, 6], либо неспецифически охватывают все возможные облученные группы, от подвергавшихся лучевой терапии в детском возрасте до пострадавших от атомных бомбардировок, ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) и т.д. [4, 7, 8]. Для объединения столь необъединяемых групп имеется мнемоническое выражение о мета-анализе как о «смешивании яблок с апельсинами» ('combined apples and oranges' [9]). Для работников ядерной индустрии, как будет видно ниже, исследований радиационного катарактогенеза относительно мало, и до настоящего времени отсутствуют даже обычные («нарративные») обзоры, не говоря уже о систематических. Данные о работниках ядерной индустрии дискретно представлены в более широких обзорах по радиогенным нарушениям хрусталика. Таких обзоров за 2007–2022 гг. нам известно 47, для 38 доступны оригиналы (PDF), но отдельные сведения на тему рисков есть только в шести из них [4, 8, 10–13].

Цель представленного исследования – систематический обзор и мета-анализ величины избыточного относительного риска (ERR на 1 Гр/Зв) применительно к нарушениям в хрусталике и катарактам у работников ядерной индустрии, выполненные по наиболее полной выборке данных.

Радиационные аспекты нарушений в хрусталике: краткий обзор

Радиочувствительность клеток хрусталика и радиогенные катаракты

Клетки хрусталика являются одними из наиболее радиочувствительных клеток [8, 10, 14–16]. Риск развития лучевой катаракты у животных был обнаружен вскоре после открытия рентгеновского излучения, в 1897 г. [10, 15, 16]; в 1903 г. появилась публикация с методикой защиты глаз рентгенолога и пациента [10, 15, 17], а в 1906 г. [18, 19] радиационная катаракта была зарегистрирована у рентгенолога.

Положение МКРЗ (ICRP) о высокой чувствительности хрусталика к излучению имеет место уже более 60 лет [15]; к примеру, в ICRP-103 (2007) указано: «Среди наиболее радиочувствительных тканей – яйцники и клетки семенников, костный мозг и хрусталик глаза» [20]. Показатели лучевой поражаемости клеток хрусталика превышают таковые даже для лимфоцитов, что, в част-

ности, показано в часто цитируемых работах [21, 22] для уровня двунитевых разрывов ДНК методом ДНК-комет и оценкой числа фокусов гистона γ H2AX соответственно.

Клинически катаракты определяются как прогрессирующее помутнение хрусталика, ведущее к потере зрения [10, 11, 14, 15, 17]. Основными типами радиогенных катаракт являются задние субкапсулярные (posterior subcapsular cataracts; PSCs), в то время как возрастные изменения обычно представляют собой ядерные или кортикальные образования [4, 10, 11, 14, 15, 17]. Частота катаракт, в том числе лучевой природы, сильно зависит от возраста и генетических детерминант [4, 15, 11, 23, 24]. Так, облучение в раннем детском возрасте (0–10 лет) намного опаснее, чем для возраста 10–20 лет, а затем чувствительность снижается [25]. На разных линиях мышей показано, что пол, доза, мощность дозы и генетический фон весьма влияют на помутнение хрусталика, причем выявились значительные взаимодействия указанных факторов [23].

Положение о радиационной специфичности исключительно PSCs продержалось до 2000-х гг., затем было показано, что и кортикальная катаракта может индуцироваться облучением [4, 8, 11, 12, 15, 16, 18, 26], в то время как для ядерной подобный эффект отрицается [4, 11, 12, 16, 18, 26]. Тем не менее, в трех исследованиях были выявлены радиогенные эффекты и для ядерной катаракты: от 2001 г. – космонавты [27], от 2005 г. – пилоты [28] и от 1993 г. – пациенты с компьютерной томографией головы [29] (результаты последней работы в дальнейшем не подтвердились [30]). Исключения явно обусловлены необычными факторами, влияющими на группы космонавтов и пилотов, в том числе излучением с высокой ЛПЭ, и не могут опровергать факт радиогенности только PSCs и кортикальных катаракт.

В то же время, и PSCs не являются уникальным признаком облучения; они могут быть обусловлены и иными факторами, включая старение [14], стероиды и пр. [8]. Отмечается, что после формирования катаракты трудно идентифицировать помутнение как именно радиационно-индуцированное [31].

Среди трех типов возрастной катаракты PSCs являются наименее распространенными, но, как сказано, наиболее радиогенными [19, 32].

Помутнения хрусталика и катаракты – неоднозначность границ и классификации

Граница между помутнениями и катарактой офтальмологически расплывчата, и для установления последней используется ряд диагностических методов, в результате чего подходы, конечные точки и системы классификации при эпидемиологических исследованиях должны быть стандартизированы [17], что наблюдается не всегда [11], усложняя интерпретацию рисков. Установление этих рисков и так во многом субъективно, поскольку степень нарушения зрения, воспринимаемая пациентом как тревожная, различается у разных людей. Так, известно, что причина обращения пациента к оф-

тальмологу с вопросом о целесообразности замены хрусталика из-за катаракты не коррелирует со степенью его инструментально оцениваемого помутнения [11].

Неоднозначной является и декларируемая связь между помутнением хрусталика и формированием катаракты. Не все незначительные помутнения прогрессируют в катаракты [17, 18], однако в большинстве исследований риска использовался, как отмечалось, офтальмологический скрининг, и основную часть положительных результатов дают небольшие помутнения ограниченного клинического значения [33]. Как указано в обзоре R.E. Shore от 2016 г. [34], только в немногих исследованиях поддерживается положения МКРЗ о том, что небольшие помутнения, связанные с радиацией, являются предикторами катаракты, ухудшающей зрение. Еще в 1969 г. (ICRP-14) отмечалось, что незначительные помутнения, не мешающие зрению, нередко не прогрессируют, могут регрессировать или спонтанно исчезать со временем (см. в обзоре [17]). Регрессия помутнений показана, к примеру, у пострадавших после атомных бомбардировок – через 6 лет и через 21 год после облучения [17].

Помимо названных причин неопределенностей, их список при оценке рисков дополняет использование различных систем классификации помутнений хрусталика [11, 17]:

- ‘The Lens Opacities Classification System’ (LOCS), основанная на эталонных слайдах, – классифицирует цвет ядра и опалесценцию, кортикальную и в PSCs; по 5–6 классам каждая (Chylack L.T., Jr et al, 1993) [35].
- ‘Merriam and Focht System’ для обнаружения радиационно-индуцированных изменений хрусталика и их тяжести по баллам – score (Merriam G.R., Focht E., 1957; 1962) [36, 37].
- ‘Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System’ (Sparrow J.M. et al, 1986) [38].
- ‘Wisconsin System’ (Klein B.E. et al, 1990) [39].
- ‘WHO Cataract Grading Group system’ (Thylefors B. et al, 2002) [40].

В результате данные разных работ о распространенности помутнений хрусталика и катаракт нелегко сравнивать и объединять в синтетических исследованиях, поскольку оценки распространенности зависят в том числе от систем классификации пороговых значений (разрешимости). Помутнения и катаракты, классифицированные разными методами, нельзя сравнивать напрямую. Поэтому были предложены алгоритмы аппроксимации для преобразования LOCS либо в ‘Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System’, либо в ‘Wisconsin System’ (и наоборот) [17]. Но для столь незначительного анализа, как степень помутнения, это, скорее всего, вносит дальнейшие неопределенности.

Пять порогов дозы от МКРЗ за 35 лет для радиогенных нарушений в хрусталике

С 1977 г. (ICRP-26) и до 2011–2012 гг. (ICRP-118) МКРЗ называла пять порогов дозы (для незначительного помутнения и для катаракты) [17]. Комиссия впервые рекомендовала пределы дозы для хрусталика в 1954 г. и затем неоднократно пересматривала их [3, 10, 13]:

- В 1977 г. (ICRP-26) – 15 Зв (эквивалентная доза, в которой определяется экспозиция при облучении глаза [3, 13]). Годовой предел дозы 300 мЗв.
- В 1984 г. (ICRP-41) – 5 Зв для острого однократного или 8 Зв для фракционированного либо длительного облучения. Годовой предел дозы 150 мЗв.
- В 2007 г. (ICRP-103) [20] – 2 Зв для острого однократного или 5 Зв для фракционированного либо длительного облучения. Годовой предел дозы остался равным 150 мЗв.

- В 2011–2012 г. (ICRP-118) [3] – предложено единое пороговое значение (0,5 Гр для радиации с низкой ЛПЭ), основанное на предположении, что даже незначительное помутнение переходит в катаракту [17]. Предел профессиональной эквивалентной дозы для хрусталика составил 20 мЗв в год – в среднем за 5 лет, но при этом ни за один год доза не должна превышать 50 мЗв [3], то есть годовой лимит был снижен сразу в 7,5 раз.

Такая лабильность порогов демонстрирует неоднозначность в понятиях о дозовой зависимости вкупе с понятиями о том, что, как сказано, считать помутнениями хрусталика.

Дискуссия о природе лучевых катарактогенных нарушений: тканевые (детерминированные) или стохастические эффекты?

Вследствие того, что для пострадавших от атомных бомбардировок после расчетной оценки порога было обнаружено, что нижний лимит 90 % доверительного интервала (CI) – ниже нуля [25, 41], некоторыми авторами предполагается не детерминированный, а стохастический характер эффекта [3, 8, 13, 17], хотя в ряде исследований и сообщалось о *расчетных* пороговых значениях (для радиации с низкой ЛПЭ) – от порядка 0,1 Гр [41] до 0,14 Гр [42] и 0,34–0,5 Гр [43].

Материалы и методы

Для систематического обзора была сформирована по возможности полная выборка всех исследований, в которых определяли катарактогенный эффект у работников любых инсталляций и производств, имеющих отношение к ядерной индустрии, то есть к «отрасли промышленности, связанной с ядерным топливным циклом для производства компонентов ядерного оружия и топлива для энергетических или транспортных установок» [44]. Достаточно специфичный англоязычный термин – это ‘Nuclear workers’ [45] (впервые обнаруженный нами в итальянской статье 1966 г. [46]); менее распространено – ‘Nuclear industry workers’ [47].

В PubMed поиск источников (в двойных кавычках, что распознается системами как единая конструкция) осуществляли на следующие сочетания:

[lens&nuclear workers] – 126 источников (однако результаты неспецифичны – нет разделения с другими работниками, в частности, с медицинскими).

[cataract&nuclear workers] – 84 публикации (то же самое).

[lens&“nuclear workers”] – 4 работы.

[lens&“nuclear industry”] – 6 источников.

[cataract&nuclear power plant] – 22 работы.

В Google поиск по модулю «точное соответствие» на [lens + “nuclear workers”] выявил 115 ссылок, а на [lens + “nuclear industry workers”] – 114 ссылок.

В базе Cochrane Systematic Reviews (Cochrane Database) на конструкцию “nuclear workers” обнаружен единственный обзор с оценкой эффекта по абберациям хромосом.

Таким образом, видно, что число источников даже на неспецифические сочетания ключевых слов относительно невелико и весь материал можно было проанализировать визуально. Но особый вклад вносил скрининг списков литературы в последовательно обнаруживаемых публикациях, равно как и в имеющихся 38 обзорах по различным аспектам радиационного катарактогенеза, включая дозовые зависимости.

Мета-анализ выполняли с помощью программы WinPepi (version 11.60; J. Abramson; Israel). Программа

оценивает гетерогенность выборки по стандартным коэффициентам 'Higgins and Thompson' [9]. Показатель H менее 1,2 свидетельствует о гомогенности выборки, а свыше 1,5 – о выраженной гетерогенности. Величина I^2 отражает процент вариант в выборке, соответствующих гетерогенности. При наличии гетерогенности из двух статистических моделей мета-анализа (Fixed-effect и Random-effect) рекомендуется выбирать вторую, что и имеет место для большинства медико-биологических исследований [9].

Программа WinPeri анализирует также публикационное смещение (publication bias) по 'Regression asymmetry test' для Funnel plot от М. Egger с соавторами [9].

Результаты и обсуждение

Выборка данных и их анализ на предмет зависимости от дозы облучения

Сформированная и, судя по всему, наиболее полная выборка работ по теме настоящего систематического обзора представлена в табл. 1.

Итого, в табл. 1 отражены результаты 20 работ 1967–2021 гг. (некоторые публикации повторяются) из пяти стран, причем отечественные источники – в подавляющем большинстве – 15 (75 %), и основная их часть посвящена работникам ПО «Маяк». Анализ данных в таблице не выявляет эффектов малых доз (до 0,1 Гр излучения с низкой ЛПЭ [69]) ни у каких контингентов. Для персонала ПО «Маяк» имеющаяся информация вообще не позволяет судить о таких эффектах, ибо авторы в качестве референсной «1» для RR почти постоянно выбирают группу с дозой 0–0,25 Гр (2016–2020) [58, 62–66]. И это при том, что данные по ПО «Маяк» столь же постоянно фигурируют в зарубежных обзорах с акцентом на эффекты малых доз [4, 10–13, 70]. Сходным образом, в корейском исследовании даже 2021 г. [68] минимальный дозовый диапазон – 0,1–0,99 Гр.

Можно сделать вывод, что, несмотря на недавние и относительно недавние утверждения о «беспороговости» и «стохастичности» катарактогенного эффекта радиации [3, 8, 13, 17, 71], для работников ядерной индустрии за, формально, 55 лет (с 1967 г. [48]) никаких подобных данных не получено. Это показывает, что ядерная индустрия – не медицинская радиология или промышленная радиография, где имеются некие данные, свидетельствующие о возможности катарактогенных эффектов малых доз [72–76], вероятно вследствие локальной экспозиции глаз. Хотя для радиологов и рентгенологов могут иметься неопределенности в дозиметрии. Так, в работе [71] отмечается, что данный контингент не всегда соблюдает защитные мероприятия – менее 30 % интервенционных операторов носят необходимые очки из оцинкованного стекла; они также допускают небрежности в ношении индивидуальных дозиметров и пр.

Мета-анализ ERR на 1 Гр/Зв для радиогенных нарушений хрусталика у работников ядерной индустрии

Мета-анализ с помощью программы WinPeri было возможно провести только для выборки из величин ERR на 1 Гр/Зв вкупе с обязательной информацией о 95 % CI. Уместных работ оказалось немного, включая один наш пересчет для американского исследования [54]. Результаты корейской работы [68] включены быть не могли, поскольку риск в оригинале был представлен не на 1 Гр, а на 10 мГр: несмотря на декларацию о линейной беспороговой концепции, при арифметическом пересчете риска на 1 Гр с ERR на 10 мГр или на 100 мГр показатели могут отличаться в разы [77, 78]. В результате мета-анализ был ограничен четырьмя исследованиями,

из которых два представляли персонал ПО «Маяк» [58, 62, 63], а одно – работников РОСАТОМа – ликвидаторов аварии на ЧАЭС [60, 61]. Еще одна работа соответствовала, как сказано, американской группе, имевшей дело с трансураниевыми элементами [54].

Исследование гетерогенности выборки по 'Higgins and Thompson' [9] программой WinPeri продемонстрировало величину $H = 1,0$ (95 % CI: 1,0; 2,6) и $I^2 = 0,0$ % (95 % CI: 0,0; 84,7), то есть абсолютную гомогенность. Поэтому для мета-анализа (модуль 'Differences') использовалась Fixed-effect model, и ERR на 1 Гр/Зв оказался равным 0,30 (95 % CI: 0,25; 0,35). Egger's test для публикационного смещения соответствовал $p = 0,345$, то есть данный уклон маловероятен.

Результаты мета-анализа представлены в виде Forest plot на рис. 1.

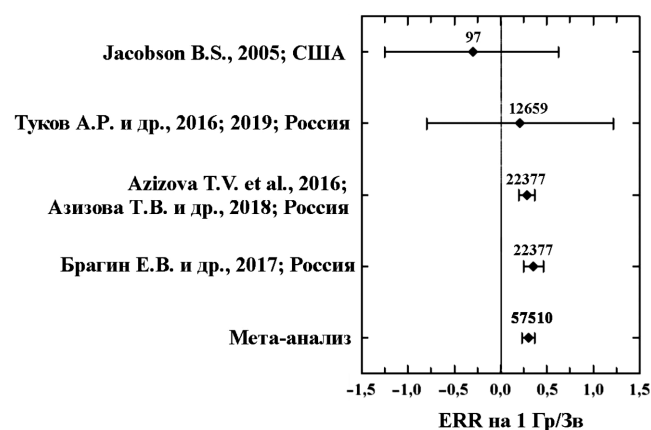


Рис. 1. Forest plot мета-анализа ERR на 1 Гр/Зв для работников ядерной индустрии. На графике приведены 95 % CI и величины соответствующих выборок

Fig. 1. Forest plot of ERR meta-analysis at 1 Gy/Sv for nuclear workers. The graph shows 95 % CI and corresponding sample sizes

Возможные ограничения исследований

Приведенные выше результаты систематического обзора и мета-анализов в принципе охватили почти все основные пункты в международном руководстве для мета-анализа PRISMA [79] и в соответствующих отечественных методических рекомендациях (Омельяновский В.В. и др., 2017 [80]). Пока вне рассмотрения остались оценки качества работ, влияния вмешивающихся факторов и субъективных уклонов (примерные пункты 12, 15, 19 PRISMA [79] и пункт 3 отечественного руководства [80]).

Главное ограничение настоящего мета-анализа – бедность выборки. Представлены преимущественно только две когорты – работники РОСАТОМа, являющиеся ликвидаторами аварии на ЧАЭС, и персонал ПО «Маяк». Для американской инсталляции по переработке трансураниевых элементов группа была очень мала и, как видно из таблицы и рис. 1, эти данные скорее всего выпадали. Однако других данных по ERR на 1 Гр/Зв применительно к нарушениям в хрусталике для работников мировой ядерной индустрии, по всем признакам, не имеется. Наше исследование оперировало, по-видимому, наиболее полной выборкой из всех, представленных в эпидемиологических или обзорных публикациях.

Сила данной выборки, согласно требованиям к мета-анализу [79, 80], состоит в скрупулезном учете массы вмешивающихся факторов (конфаундеров) авторами исследований работников ПО «Маяк» [58, 62, 63]. В принципе, эта когорта, как и пострадавшие от атомной бомбар-

Таблица 1

Исследования частоты катаракт и нарушений в хрусталике у работников ядерной индустрии. Полукожирным выделены данные, вошедшие в мета-анализ
Studies on the incidence of cataracts and lens disorders in nuclear workers. Bold indicates data included in the meta-analysis

Источник, страна, доступность первоисточника / Source, country, availability of the original source	Когорта/Группа / Cohort/Group	n (sample size)	Дозовые группы / Dose groups	Риски / Risks
1	2	3	4	5
Voelz G.L., et al, 1967; США [48]. Abstract и цитировано по ICRP-118 [3]	Работники ядерного реактора; возраст менее 40 лет	847	γ -нейтронное излучение. Mean: 40 мЗв (max 0,25 Зв)	Незначительные изменения хрусталика у 10–36 % лиц. Кумулятивные дозы для двух групп (с изменениями и без таковых) не отличались. Вывод об эффекте старения, а не радиации
Griffith T.P. et al, 1985; Великобритания [49]. Оригинал	Рабочий ядерного объекта	1 (случай)	Тотальная доза: 0,67 Зв; на хрусталик: 0,70–0,87 Зв. Загрязнение глаз плутонием	Катаракта в 47 лет. Основываясь на радиационных нормах ICRP того времени – вывод о нелучевой априорности
Михайлина Т.Н., Виноградова М.В., 1992; Россия [50]. Цитировано по ICRP-118 [3]	Работники ПО «Маяк»	Нет данных	γ -нейтронное излучение; острой лучевой синдром	Три случая катаракты
Okladnikova N.D. et al, 1994; Россия [51]. Оригинал	Работники ПО «Маяк»	37 (острое облучение)	γ -нейтронное излучение: 0,5–10 Гр; острый лучевой синдром: >3 Гр	Отсутствие катаракт после хронического воздействия в дозах 0,5–10 Гр. Три катаракты после острого лучевого синдрома (8 %)
Гуськова А.К., 1999; Россия [52]. Цитировано по ICRP-118 [3]	Работники ядерной индустрии России	Нет данных	Хроническое облучение	При дозах <2 Гр катаракты не выявлены
Гуськова А.К., 2004; Россия [53]. Оригинал	Реакторные работники	92	γ -нейтронное облучение. Острый лучевой синдром и местные лучевые поражения	Три случая лучевых катаракт (3 %)
Jacobson B.S., 2005; США [54]. Оригинал	Когорта 'The U.S. Transuranium and Uranium Registries' (USTUR). Пенсионеры; во время работы — воздействие актинидов	97	0–50, 50–150, 150–250, 250–350, 350–450, 450–550 и 550–650 мЗв	PSCs: <200 мЗв – 15 %; 200–600 мЗв – 38 % [54]. Медианная доза: с катарактой – 168 мЗв; без катаракты – 89 мЗв. Линейная регрессия для отношения наблюдаемых/ожидаемых случаев (в [54] представлены в % к соответствующим группам) в зависимости от средних дозовых диапазонов: $r = -0,284$; $p = 0,538$. Наш расчет по уравнению регрессии: ERR на 1 Зв: $-0,268$ (95 % CI: $-1,25; 0,625$)*
Mukhinova K. et al, 2006 [55]. Оригинал	Репозиторий тканей работников ПО «Маяк» (700 образцов)	11	γ -излучение: >1,0 Гр для 71 % репозитория. Воздействие плутония. У 11 работников – острый и хронический лучевой синдром	Шесть катаракт
Окладникова Н.Д. и др., 2007; Россия [57]. Резюме и цитировано по ICRP-118 [3] и EPRI-2014 [7]	Работники ядерного производства (обзор)	Нет данных (обзор)	Острый лучевой синдром	Порог лучевых катаракт ≥ 4 Гр
Azizova T.V. et al, 2016; Россия [58]. Оригинал	Когорта ПО «Маяк» (1948–2008); реакторное, радиохимическое и плутониевое производства	22377	Размерности доз как в оригинале [58]: γ -излучение: 0–0,25 Зв (референс для относительного риска – RR), 0,25–0,5, 0,5–0,75, 0,75–1,0, 1–1,25, 1,25–1,5, 1,5–2 и ≥ 2 Зв. Нейтроны: <1 и 1–5 мГр	Все катаракты. Системы классификации: 'Russian Federation Health Care System and World Health Organization criteria' [58]. γ -Излучение. Строгая дозовая зависимость для RR по указанной в [58] средней дозе для диапазонов (Fig. 1 из [58] и наш расчет: $r = 0,881$; $p = 0,004$). 0-year lag: ERR на 1 Гр: $0,28$ (95 % CI: $0,20, 0,37$)
Брагин Е.В. и др., 2016; Россия [59]. Оригинал	Когорта ПО «Маяк» (1948–2008); реакторное, радиохимическое и плутониевое производства	12210	Средняя доза (γ -излучение): $0,91 \pm 0,01$ Гр (мужчины); $0,65 \pm 0,01$ Гр** (женщины)	Все катаракты. Средняя доза (γ -излучение)**: катаракта: $1,05 \pm 0,02$ Гр; без катаракты: $0,72 \pm 0,01$ Гр ($p < 0,05$). >0,5 Гр: катаракта – 65 %, без катаракты – 45 % ($p < 0,05$); >1,5 Гр: катаракта – 27 %, без катаракты – 16 % ($p < 0,05$). Нейтроны: катаракта: $3 \pm 0,2$ мГр; без катаракты: $2 \pm 0,1$ мГр ($p < 0,05$)
Туков А.Р. и др., 2016; Россия [60, 61]. Оригинал	Когорта работников АЭС (Госкорпорация «Росатом») – ликвидаторов аварий на ЧАЭС	12659	Суммарная доза (авария на ЧАЭС + профессиональная): 0,1–5,9, 6,0–16,7, 17,0–48,8, 49,0–120,5 и 121,0–1985,6 мЗв	Суммарные дозы (авария на ЧАЭС + профессиональная). Дозовая зависимость для RR по средним диапазонам доз отсутствует (наш расчет). ERR на 1 Зв: $0,2$ (95 % CI: $-0,8; 1,22$)

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Брагин Е.В. и др., 2017; Россия [62]. Оригинал	Которта ПО «Маяк» (1948–2008); реакторное, радиохимическое и плутониевое производство	22377	Размерности доз как в оригинале [221]. γ -Излучение. Средняя доза: мужчины – 0,54 Зв, женщины – 0,44 Зв. 0–0,25 Зв (референс для RR), 0,25–0,5, 0,5–0,75, 0,75–1,0, 1–1,25, 1,25–1,5, 1,5–2 и ≥ 2 Зв	Все катаракты [62]. γ -Излучение. Строгая дозовая зависимость для RR по указанной в [62] средней дозе для диапазонов. Наш расчет: $r = 0,881$; $p = 0,004$, расчет по уравнению линейной регрессии: ERR на 1 Зв: 0,344 (95 % CI: 0,245; 0,46)*
Азизова Т.В. и др., 2018; Россия [63]. Оригинал	Которта ПО «Маяк» (1948–2008); реакторное, радиохимическое и плутониевое производство	22377	Размерности доз как в оригинале [63]. γ -Излучение. Средняя доза: мужчины – 0,54 Гр, женщины – 0,44 Гр. 0–0,25 Гр (референс для RR), 0,25–0,5, 0,5–0,75, 0,75–1,0, 1–1,25, 1,25–1,5, 1,5–2 и ≥ 2 Гр. Нейтроны: <1 , 1–5 и >5 мГр	Все старческие катаракты [63]. γ -Излучение. Строгая дозовая зависимость для RR по указанной в [63] средней дозе для диапазонов (наш расчет: $r = 0,881$; $p = 0,004$). 0 лет лаг-период: ERR на 1 Гр: 0,28 (95 % CI: 0,20, 0,37) . С поправками: на курение и алкоголь: 0,29 (95 % CI: 0,20, 0,38); на нейтронное облучение: 0,31; 95 % CI: 0,22; 0,40). А также: от гипертонии, массы тела, глаукомы, пола, возраста и др. [63]**
Azizova T.V. et al., 2018; Россия [64]; Азизова Т.В. и др., 2020; Россия [65]. Оригинал	Которта ПО «Маяк» (1948–2008); реакторное, радиохимическое и плутониевое производство	22377	Размерности доз как в оригинале [64]. γ -излучение: 0–0,25 Зв (референс для RR), 0,25–0,5, 0,5–0,75, 0,75–1,0, 1–1,25, 1,25–1,5, 1,5–2 и ≥ 2 Зв. Нейтроны: <1 , 1–5 и >5 мГр	Три типа катаракты: posterior subcapsular, cortical, nuclear. Строгие дозовые зависимости для RR по указанной в [64] средней дозе для диапазонов (Fig. 1 из [64]). Для γ -излучения ERR на 1 Зв: 0,91 (95 % CI: 0,67; 1,20), 0,63 (95 % CI: 0,49; 0,76) и 0,47 (95 % CI: 0,35; 0,60) для трех типов катаракт соответственно.
Azizova T.V. et al., 2019; Россия [66]. Оригинал	Которта ПО «Маяк» (1948–2008); реакторное, радиохимическое и плутониевое производство	22377	Размерности доз как в оригинале [66]. γ -Излучение. Средняя доза: мужчины – 0,54 Гр, женщины – 0,44 Гр. γ -излучение: 0–0,25 Зв (референс для RR), 0,25–0,5, 0,5–0,75, 0,75–1,0, 1–1,25, 1,25–1,5, 1,5–2 и ≥ 2 Зв. Нейтроны: <1 , 1–2,5, 2,5–5, 5–10 и >10 мГр	Хирургически удаленная катаракта. 5 year lag. Отсутствие дозовой зависимости для γ -излучения. ERR на 1 Зв без поправки: 0,09 (95 % CI: 0,02; 0,22); с поправкой на нейтронное облучение: 0,09 (95 % CI: 0,01; 0,22)
Казымбет П.К. и др., 2019; Казахстан [67]. Оригинал	Персонал группы «А» Степногорского горно-химического комбината	356 (опыт); 507 (контроль)	81,4 $\pm$ 76,1 мЗв** (min – max: 2,61–519,6 мЗв). 0–100 мЗв – 68%, ≥ 100 мЗв – 32%	Заболевания глаз и придаточного аппарата ('Diseases of the eye and adnexa' [67]). RR = 1,8 (CI**; 1,4; 2,2); $p < 0,001$; этиологический фактор для профессионального воздействия – 44 %.
Park S. et al., 2021; Ю. Корея [68]. Оригинал	Радиационные работники различных направлений, АЭС – 31 %	20608	0, 0,10–0,99, 1,00–4,99, 5,00–19,99, 20,00–49,99 и $\geq 50,0$ мЗв	Катаракты. Standardized prevalence ratios (SPR): 0,44 (95 % CI: 0,38; 0,52). Prevalence odds ratios на 10 мЗв: 1,04 (95 % CI: 1,00; 1,07)

Примечание:

* Построение уравнения регрессии и расчет ERR на 1 Зв выполнены нами (Statistica, ver. 10). 95 % CI оценены путем оцифровки графика, построенного указанной программой.

** В оригинале тип интервалов или индекс CI не указан.

*** В последующей работе Azizova T.V. et al., 2018 [64], со ссылкой на [63], указано: '...after having adjusted for neutron dose and non-radiation risk factors; ERR/Sv = 0,28 (95 % CIs 0,20, 0,37)'.

* The construction of the regression equation and the calculation of ERR per 1 Sv were performed by us (Statistica, ver. 10). 95 % CIs are estimated by digitizing a graph built by the indicated program.

** In the original, the type of intervals or the CI index is not specified.

*** In the subsequent work Azizova T.V. et al., 2018 [64], with reference to [63], states: '...after having adjusted for neutron dose and non-radiation risk factors; ERR/Sv = 0,28 (95 % CIs 0,20, 0,37)'.

дировки в Японии (когорта LSS), уникальна среди всех групп, обследуемых в области радиационной эпидемиологии, поскольку для нее характерна наиболее полная информация, в том числе о нерадиационных факторах (здесь и далее перевод наш. – *Авт.*): «Для рассматриваемых исследований [по эффектам] малых доз только для выживших после атомной бомбардировки... и работников ПО «Маяк»... имела информация о факторах образа жизни, в частности о курении сигарет, употреблении алкоголя, ожирении и (для LSS) о нескольких других переменных, связанных с сердечно-сосудистыми заболеваниями». («Of the lower dose studies considered only those of the Japanese atomic bomb survivors... and Mayak workers... had information on lifestyle factors, in particular cigarette smoking, alcohol consumption, obesity and (in the LSS) a few other variables associated with circulatory disease») [81].

«Немногие исследования (только выживших после атомной бомбардировки и работников ПО «Маяк») адекватно контролируют основные факторы образа жизни и здоровья; например курение сигарет и употребление алкоголя («Few studies (only those of the Japanese atomic bomb survivors and the Mayak nuclear workers) adequately control for major lifestyle and health factors; eg cigarette smoking and alcohol consumption») [82].

Для когорты работников РОСАТОМа, являющихся ликвидаторами аварии на ЧАЭС, авторами работ [60, 61] также проводился учет некоторых конфаундеров – возраста и доз от различных источников.

Относительно субъективных уклонов в названных работах сведений нет, но в целом можно сделать вывод о достаточном качестве включенных в наш мета-анализ исследований. Важной является и значительная величина выборки (sample size; см. в таблице и на рис. 1), за исключением американской публикации [54] с малой группой, которая, как сказано, вряд ли внесла существенный вклад в мета-анализ.

Еще один момент, затронутый выше, это возможность неопределенностей при классификации нарушений хрусталика и катаракт пятью различными тест-системами [11, 17, 35–39]. Но для выборки работников ПО «Маяк», вследствие исследования одними и теми же авторами, явно предусматривалась единая система классификации, указанная, в частности, в [58]: ‘Russian Federation Health Care System and World Health Organization criteria’. Для других когорт подобных сведений не обнаружено.

Эпидемиологическая и общественно-социальная значимость результатов мета-анализа по рискам формирования катаракт для работников ядерной индустрии

Встает вопрос о значимости величины ERR на 1 Гр/Зв, равной 0,3, для катарактогенных последствий профессионального воздействия. Ранее нами было проведено синтетическое исследование по оценке средней накопленной за весь период занятости дозы внешнего облучения для работников ядерной индустрии как мировой профессиональной категории (1946–2010). Для выборки из 63 вариантов (18 стран; когорты различных ядерных предприятий, включая интернациональные группы) средняя и медианная дозы составили 31,1 мЗв и 24,0 мЗв соответственно [83]. Взяв за основу первое значение, можно видеть, что при $ERR = 0,3$ на 1 Гр/Зв избыточный преваленс катаракт для группы из «средних» работников превращается в 0,0093.

Согласно проведенному Hashemi H. et al, 2020 [84] мета-анализу преваленса катаракт по странам мира и глобально, объединенные значения фоновых уровней для этих нарушений составили для всех изменений:

17,2 %; для кортикальных катаракт: 8,1 %; для ядерных катаракт: 8,2 % и для PSCs: 2,2 %. Как радиогенные можно рассматривать, о чем указывалось выше, только кортикальные катаракты и PSCs [11], поэтому интересующий преваленс составит 10,3 %. Таким образом, для среднего работника ядерной индустрии прирост преваленса будет составлять 0,096 % сверх фонового уровня в 10,3 %, оценки и комментарии к чему, понятно, излишни.

Интерес представляет также аналогичный расчет ERR не на 1 Гр/Зв, а для малых доз – на 0,1 Гр/Зв. Условно приняв за корректную линейную беспороговую концепцию радиации для эпидемиологии, получим величину ERR для верхней границы малых доз в 0,03. Или – прибавку в 0,0096 % к фоновому уровню в 10,3%. Вряд ли такой прирост имеет практическую значимость и вообще может быть доказан, как и продемонстрированный нами ранее прирост смертности от всех раков для «среднего» работника ядерной индустрии (0,032 % от 100 тыс. работников за 10 лет занятости) [85]. Хотя для части некоторых когорт (Sellafield, Великобритания; ПО «Маяк») могут иметься группы со значительными кумулятивными дозами [83] и, следовательно, с повышенным уровнем рисков.

Исходя из сказанного, столь большой интерес к риску нарушений в хрусталике после лучевых воздействий в малых дозах не слишком понятен, равно как и «третье место» катаракт при профессиональном облучении, после злокачественных новообразований и болезней системы кровообращения [3, 4] (и др.). Массовость соответствующих мировых обзоров демонстрирует, тем не менее, актуальность проблемы облучения хрусталика, которая с 2007 г. только нарастает (рис. 2).

Но невозможно сравнивать риски смертности от злокачественных новообразований и болезней системы кровообращения с нарушениями в хрусталике и с катарактами, достаточно легко поддающимися хирургической коррекции. Как сказано в документе [7]: «Почему фатальные и не смертельные последствия рассматриваются равным образом?» («Why fatal and non-fatal effects are being considered in similar fashion?»).

Тем не менее, основную роль в подобных рисках играет, по всей видимости, снижение профессиональной пригодности, поскольку искусственный хрусталик, все же, не натуральный, и он, как правило, слабо способен к аккомодации [86].

Заключение

В настоящем разделе ссылки, которые можно найти выше, за некоторыми исключениями, не приводятся.

Клетки хрусталика являются одними из наиболее радиочувствительных клеток организма, превышая по ключевым параметрам (например, по индукции двойных разрывов ДНК) даже лимфоциты. Лучевые нарушения в хрусталике могут наблюдаться при относительно небольших дозах радиации, в связи с чем в настоящее время ряд авторов приписывают данным эффектам не детерминированную, а стохастическую природу.

Несмотря на то, что нарушения в хрусталике не всегда отражаются на остроте зрения, а катаракты подвергаются успешной хирургической коррекции, при облучении различных профессиональных групп (медицинские рентгенологи и радиологи, стоматологи, промышленные радиографисты, работники ядерной индустрии, пилоты и космонавты) катарактогенные последствия расцениваются по важности сразу вслед за злокачественными новообразованиями и болезнями системы кровообращения, риски для которых могут носить фатальный характер. Насколько это оправданно, вопрос иной, и он дис-

Review number per year

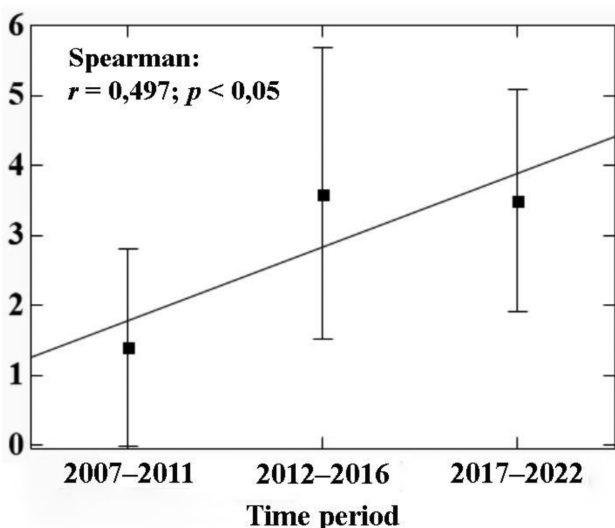


Рис. 2. Хронодинамика увеличения числа обзоров на тему радиационных нарушений в хрусталике по временным периодам порядка 4–5 лет. Представлены Mean $\pm$ 95 % CI для числа обзоров за год в течение соответствующего периода. Коэффициент корреляции Спирмена рассчитан с помощью программы Statistica, ver. 10.

Fig. 2. Chronodynamics of the increase in the review number on the theme of radiation damage in the lens over time periods of the order of 4–5 years. Presented are Mean $\pm$ 95 % CI for the review number per year during the respective period. The Spearman correlation coefficient was calculated using the program Statistica, ver. 10.

кутируется в ряде документов, но ситуация в области радиационной безопасности именно такова.

Не являются в данном плане исключением и работники ядерной индустрии; однако, как показало настоящее обзорное исследование, соответствующих работ на тему нарушений в хрусталике у названного контингента очень мало – углубленный поиск источников разными путями выявил всего 20 публикаций (1967–2021), причем некоторые дублируются, а часть – материал в монографиях. Анализ этих работ не выявил данных об эффектах малых доз (0,1 Гр для радиации с низкой ЛПЭ), что находится в рамках предыдущих заключений о расчетном пороге указанных эффектов при порядка 0,1 Гр [41] до 0,14 Гр [42] и 0,34–0,5 Гр [43] (несмотря на предположения о стохастичности, то есть беспороговости таких повреждений).

При проведении мета-анализа для ERR на 1 Гр/Зв применительно к лучевым нарушениям в хрусталике у работников ядерной индустрии значимыми по наличию необходимых данных оказались только три когорты: очень малая группа в американском исследовании работ-

ников процессинга трансураниевых элементов [54], персонал ПО «Маяк» [58, 62, 63] и работники РОСАТОМа, ликвидаторы аварии на ЧАЭС [60, 61]. Выборка оказалась гомогенной, публикационное смещение было маловероятно, и, по результатам мета-анализа (Fixed effect model) ERR на 1 Гр/Зв составил 0,30 (95 % CI: 0,25; 0,35).

Ограничением данного мета-анализа является бедность выборки (всего три группы), хотя сформированная в настоящем исследовании база данных является, судя по всему, наиболее полной среди всех источников (обзоров и эпидемиологических публикаций). Сила представленного мета-анализа – в высоком качестве основных охваченных исследований, особенно для когорты ПО «Маяк», которая, вместе с когортой пострадавших от атомных бомбардировок (LSS), рассматривается как наиболее полно учитывающая радиационные и нерадиационные факторы, и потому как максимально пригодная для оценки эффектов конфаундеров и смещений (bias).

Наиболее важным вопросом является практическая значимость полученного ERR на 1 Гр/Зв. Ранее нами была проведена оценка средней накопленной за весь период занятости дозы внешнего облучения для работников ядерной индустрии как мировой профессиональной категории (1946–2010 гг.; 63 вариант из 18 стран); средняя и медианная дозы составили 31,1 мЗв и 24,0 мЗв соответственно [83]. Исходя из первого значения, расчет показал, что при ERR = 0,3 на 1 Гр/Зв избыточный преваленс катаракт для группы из «средних» работников превращается в 0,0093. Согласно проведенному Hashemi H. et al, 2020 [84] мета-анализу преваленса катаракт по странам мира и глобально, для потенциально радиогенных катаракт (кортикальных и PSCs) преваленс составляет 10,3 %. Таким образом, для группы из средних работников ядерной индустрии прирост преваленса равен 0,096 % сверх фонового уровня в 10,3 %. Подобный прирост вряд ли имеет практическую значимость и вряд ли может быть доказан, как это было показано нами ранее и для прироста смертности от всех раков для «средних» работников ядерной индустрии (0,032 % от 100 тыс. работников за 10 лет занятости) [85], хотя для некоторых когорт ('Sellafield', Великобритания, ПО «Маяк») могут иметься группы со значительными кумулятивными дозами [83] и, следовательно, с повышенным уровнем рисков.

Представляющаяся, на первый взгляд, малооправданной важность рисков катарактогенных нарушений в хрусталике у различных категорий радиационных работников может быть обусловлена тем, что основную роль здесь играет, по всей видимости, снижение профессиональной пригодности. Поскольку искусственный хрусталик, все же, не натуральный, и он, как правило, слабо способен к аккомодации [86].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Ashmore J.P., Krewski D., Zielinski J.M., Jiang H., Semenciw R., Band P.R. First Analysis of Mortality and Occupational Radiation Exposure Based on the National Dose Registry of Canada // Am. J. Epidemiol. 1998. V.148, No. 6. P. 564–574. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009682>.
2. UNSCEAR 1972. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Vol. I. 'Level'. Annex C. Doses from Occupational Exposure. United Nations. New York, 1972. P. 173–186.
3. ICRP Publication 118. ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. Annals of the ICRP. Ed. Clement C.H. Amsterdam – New York: Elsevier, 2012. 325 p.
4. Little M.P., Azizova T.V., Hamada N. Low- and Moderate-Dose Non-Cancer Effects of Ionizing Radiation in Directly Exposed Individuals, Especially Circulatory and Ocular Diseases: A Review of the Epidemiology // Int. J. Radiat. Biol. 2021. V.97, No. 6. P. 782–803. <https://doi.org/10.1080/09553002.2021.1876955>.
5. Della Vecchia E., Modenese A., Loney T., Muscatello M., Paulo M.S., Rossi G., Gobba F. Risk of Cataract in Health Care Workers Exposed to Ionizing Radiation: a Systematic Review // Med. Lav. 2020. V.111, No. 4. P. 269–284. <https://doi.org/10.23749/mdl.v111i4.9045>.
6. Elmarazy A., Morra M.E., Mohammed A.T., Al-Habab A., Elgebaly A., Ghazy A.A., et al. Risk of Cataract among Interventional Cardiologists and Catheterization Lab Staff: A Systematic Review and Meta-Analysis // Catheter Cardiovasc Interv. Actions. 2017. V.90, No. 1. P. 1–9. doi: 10.1002/ccd.27114.
7. Dauer L., Blakely E., Brooks A., Hoel D. Epidemiology and Mechanistic Effects of Radiation on the Lens of The Eye: Review and Scientific Appraisal of the Literature. Technical Report. Electric Power Research Institute (EPRI). Newburgh: NY, 2014. 142 p.

8. Ainsbury E.A., Bouffler S.D., Dorr W., Graw J., Muirhead C.R., Edwards A.A., Cooper J. Radiation Cataractogenesis: a Review of Recent Studies // *Radiat. Res.* 2009. V.172, No. 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1667/RR1688.1>.
9. Borenstein M., Hedges L.V., Higgins J.P.T., Rothstein H.R. Introduction to Meta-Analysis. John Wiley & Sons Ltd, 2009. 421 p.
10. Hamada N. Ionizing Radiation Sensitivity of the Ocular Lens and Its Dose Rate Dependence // *Int. J. Radiat. Biol.* 2017. V.93, No. 10. P. 1024–1034. <https://doi.org/10.1080/09553002.2016.1266407>.
11. Hammer G.P., Scheidemann-Wesp U., Samkange-Zeeb F., Wicke H., Neriishi K., Blettner M. Occupational Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation and Cataract Development: a Systematic Literature Review and Perspectives on Future Studies // *Radiat. Environ. Biophys.* 2013. V.52, No. 3. P. 303–319. <https://doi.org/10.1007/s00411-013-0477-6>.
12. Thome C., Chambers D.B., Hooker A.M., Thompson J.W., Boreham D.R. Deterministic Effects to the Lens of the Eye Following Ionizing Radiation Exposure: Is there Evidence to Support a Reduction in Threshold Dose? // *Health Phys.* 2018. V.114, No. 3. P. 328–343. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000810>.
13. Ainsbury E.A., Dalke C., Hamada N., Benadjaoud M.A., Chumak V., Ginjaume M., et al. Radiation-Induced Lens Opacities: Epidemiological, Clinical and Experimental Evidence, Methodological Issues, Research Gaps and Strategy // *Environ. Int.* 2021. No. 146. P. 106213. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106213>.
14. Ainsbury E.A., Barnard S., Bright S., Dalke C., Jarrin M., Kunze S et al. Ionizing Radiation Induced Cataracts: Recent Biological and Mechanistic Developments and Perspectives for Future Research // *Mutat. Res. Rev. Mutat. Res.* 2016. V.770, No. Pt. B. P. 238–261. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2016.07.010>.
15. Hamada N., Azizova T.V., Little M.P. An Update on Effects of Ionizing Radiation Exposure on the Eye // *Br. J. Radiol.* 2020. V.93, No. 1115. P. 20190829. <https://doi.org/10.1259/bjr.20190829>.
16. Averbeck D., Salomaa S., Bouffler S., Ottolenghi A., Smyth V., Sabatier L. Progress in Low Dose Health Risk Research: Novel Effects and New Concepts in Low Dose Radiobiology // *Mutat. Res.* 2018. No. 776. P. 46–69. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2018.04.001>.
17. Hamada N., Fujimichi Y., Iwasaki T., Fujii N., Furuhashi M., Kubo E., et al. Emerging Issues in Radiogenic Cataracts and Cardiovascular Disease // *J. Radiat. Res.* 2014. V.55, No. 5. P. 831–846. <https://doi.org/10.1093/jrr/rru036>.
18. Shore R.E., Neriishi K., Nakashima E. Epidemiological Studies of Cataract Risk at Low to Moderate Radiation Doses: (Not) Seeing Is Believing // *Radiat. Res.* 2010. V.174, No. 6. P. 889–894. <https://doi.org/10.1667/RR1884.1>.
19. Rehani M.M., Vano E., Ciraj-Bjelac O., Kleiman N.J. Radiation and Cataract // *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2011. V.147, No. 1–2. P. 300–304. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncr299>.
20. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP. Ed. Valentin J. Amsterdam – New York: Elsevier, 2007. 329 p.
21. Bannik K., Rossler U., Faus-Kessler T., Gomolka M., Hornhardt S., Dalke C. et al. Are Mouse Lens Epithelial Cells More Sensitive to γ -Irradiation than Lymphocytes? // *Radiat. Environ. Biophys.* 2013. V.52, No. 2. P. 279–286. <https://doi.org/10.1007/s00411-012-0451-8>.
22. Markiewicz E., Barnard S., Haines J., Coster M., van Geel O., Wu W. et al. Nonlinear Ionizing Radiationinduced Changes in Eye Lens Cell Proliferation, Cyclin D1 Expression and Lens Shape // *Open Biol.* 2015. V.5, No. 4. P. 150011. <https://doi.org/10.1098/rsob.150011>.
23. McCarron R.A., Barnard S.G.R., Babini G., Dalke C., Graw J., Leonard S., et al. Radiation-Induced Lens Opacity and Cataractogenesis: a Lifetime Study Using Mice of Varying Genetic Backgrounds // *Radiat. Res.* 2022. V.197, No. 1. P. 57–66. <https://doi.org/10.1667/RADE-20-00266.1>.
24. Barnard S.G.R., Hamada N. Individual Response of the Ocular Lens to Ionizing Radiation // *Int. J. Radiat. Biol.* 2023. V.99, No. 2. P. 138–154. [doi: 10.1080/09553002.2022.2074166](https://doi.org/10.1080/09553002.2022.2074166).
25. Nakashima E., Neriishi K., Minamoto A. A Reanalysis of Atomic-Bomb Cataract Data, 2000–2002: a Threshold Analysis // *Health Phys.* 2006. No. 902. P. 154–160. <https://doi.org/10.1097/01.hp.0000175442.03596.63>.
26. Laskowski L., Williams D., Seymour C., Mothersill C. Environmental and Industrial Developments in Radiation Cataractogenesis // *Int. J. Radiat. Biol.* 2020. No. 26. P. 1–9. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1767820>.
27. Cucinotta F.A., Manuel F.K., Jones J., Iszard G., Murrey J., Djogonegro B., Wear M. Space Radiation and Cataracts in Astronauts // *Radiat. Res.* 2001. V.156, No. 5. P. 460–466. [https://doi.org/10.1667/0033-7587\(2001\)156\[0460:sracia\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1667/0033-7587(2001)156[0460:sracia]2.0.co;2).
28. Rafnsson V., Olafsdottir E., Hrafnkelsson J., Sasaki H., Arnarsson A., Johansson F. Cosmic Radiation Increases the Risk of Nuclear Cataract in Airline Pilots // *Arch. Ophthalmol.* 2005. V.123, No. 8. P. 1102–1105. <https://doi.org/10.1001/archophth.123.8.1102>.
29. Klein B.E., Klein R., Linton K.L., Franke T. Diagnostic X-Ray Exposure and Lens Opacities: the Beaver Dam Eye Study // *Am. J. Public Health.* 1993. V.83, No. 4. P. 588–590. <https://doi.org/10.2105/ajph.83.4.588>.
30. Klein B.E., Klein R.E., Moss S.E. Exposure to Diagnostic X-Rays and Incident Age-Related Eye Disease // *Ophthalmic. Epidemiol.* 2000. V.7, No. 1. P. 61–65. [https://doi.org/10.1076/0928-6586\(200003\)711-2FT061](https://doi.org/10.1076/0928-6586(200003)711-2FT061).
31. Poon R., Badawy M.K. Radiation Dose and Risk to the Lens of the Eye During CT Examinations of the Brain // *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2019. V.63, No. 6. P. 786–794. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12950>.
32. Picano E., Vano E., Domenici L., Bottai M., Thierry-Chef I. Cancer and Non-Cancer Brain and Eye Effects of Chronic Low-Dose Ionizing Radiation Exposure // *BMC Cancer.* 2012. No. 12. P. 157. <https://doi.org/10.1186/1471-2407-12-157>.
33. Shore R.E. Radiation Impacts on Human Health: Certain, Fuzzy, and Unknown // *Health Physics.* 2014. V.106, No. 2. P. 196–205. <https://doi.org/10.1097/hp.0000000000000021>.
34. Shore R.E. Radiation and Cataract Risk: Impact of Recent Epidemiologic Studies on ICRP Judgments // *Mutat. Res. Rev. Mutat. Res.* 2016. V.770, Pt. B. P. 231–237. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2016.06.006>.
35. Chylack L.T. Jr., Wolfe J.K., Singer D.M., Leske M.C., Bullimore M.A., Bailey I.L., et al. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group // *Arch. Ophthalmol.* 1993. V.111, No. 6. P. 831–836. <https://doi.org/10.1001/archophth.1993.01090060119035>.
36. Merriam G.R.Jr., Focht E.F. A Clinical Study of Radiation Cataracts and the Relationship to Dose // *Am. J. Roentgenol. Radium. Ther. Nucl. Med.* 1957. V.77, No. 5. P. 759–785.
37. Merriam G.R.Jr., Focht E.F. A Clinical and Experimental Study of the Effect of Single and Divided Doses of Radiation on Cataract Production // *Trans. Am. Ophthalmol. Soc.* 1962. No. 60. P. 35–52.
38. Sparrow J.M., Bron A.J., Brown N.A., Ayliffe W., Hill A.R. The Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System // *Int. Ophthalmol.* 1986. V.9, No. 4. P. 207–225. <https://doi.org/10.1007/BF00137534>.
39. Klein B.E., Klein R., Linton K.L., Magli Y.L., Neider M.W. Assessment of Cataracts from Photographs in the Beaver Dam Eye Study // *Ophthalmology.* 1990. V.97, No. 11. P. 1428–1433. [https://doi.org/10.1016/s0161-6420\(90\)32391-6](https://doi.org/10.1016/s0161-6420(90)32391-6).
40. Thylefors B., Chylack L.T. Jr., Konyama K., Sasaki K., Sperduto R., Taylor H.R., West S. A Simplified Cataract Grading System // *Ophthalmic Epidemiol.* 2002. V.9, No. 2. P. 83–95. <https://doi.org/10.1076/0969-9283.1523>.
41. Neriishi K., Nakashima E., Minamoto A., Fujiwara S., Akahoshi M., Mishima H.K., et al. Postoperative Cataract Cases among Atomic Bomb Survivors: Radiation Dose Response and Threshold // *Radiat. Res.* 2007. V.168, No. 4. P. 404–408. <https://doi.org/10.1667/RR0928.1>.
42. Su Y., Wang Y., Yoshinaga S., Zhu W., Tokonami S., Zou J., et al. Lens Opacity Prevalence among the Residents in High Natural Background Radiation Area in Yangjiang, China // *J. Radiat. Res.* 2021. V.62, No. 1. P. 67–72. <https://doi.org/10.1093/jrr/rraa073>.
43. Worgul B.V., Kundiye Y.I., Sergiyenko N.M., Chumak V.V., Vitte P.M., Medvedovsky C., et al. Cataracts among Chernobyl Clean-up Workers: Implications Regarding Permissible Eye Exposure // *Radiat. Res.* 2007. V.167, No. 2. P. 233–243. <https://doi.org/10.1667/rr0298.1>.
44. Бекман И.Н. Ядерная индустрия: Курс лекций. М.: Изд-во МГУ, 2005. 867 с.
45. Berrington de Gonzalez A., Bouville A., Rajaraman P., Schubauer-Berigan M. Ionizing Radiation. Schottenfeld and Fraumeni Cancer Epidemiology and Prevention. Ed. Thun M.J., Linet M.S., Cerhan J.R., Haiman C., Schottenfeld D. New York: Oxford University Press, 2018. P. 227–248.
46. Breuer F., Strambi E. Evaluation and Rational Recording of Irradiation Doses of Nuclear Workers // *Minerva Fisiconucl.* 1966. V.10, No. 2. P. 165–170 (In Italian.).
47. IARC 1994. IARC Study Group on Cancer Risks among Nuclear Industry Workers. Direct Estimates of Cancer Mortality Due to Low Doses of Ionising Radiation: an International Study. IARC Study Group on Cancer Risk among Nuclear Industry Workers // *Lancet.* 1994. V.344, No. 8929. P. 1039–1043. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(94\)91706-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(94)91706-X).
48. Voelz G.L. Eye-Survey Study of Nuclear-Reactor Workers // *J. Occup. Med.* 1967. V.9, No. 6. P. 286–292.
49. Griffith T.P., Pirie A., Vaughan J. Possible Cataractogenic Effect of Radionuclides Deposited Within the Eye from the Blood Stream // *Br. J. Ophthalmol.* 1985. V.69, No. 3. P. 219–227. <https://doi.org/10.1136/bjo.69.3.219>.
50. Михайлина Т.Н., Виноградова М.В. О формировании лучевой и инволюционной катаракт у человека при радиационном воздействии // *Вестник офтальмологии.* 1992. T.108, № 1. С. 40–48.

51. Okladnikova N.D., Pesternikova V.S., Sumina M.V., Doshchenko V.N. Occupational Diseases from Radiation Exposure at the First Nuclear Plant in the USSR // *Sci. Total Environ.* 1994. V.142, No. 1–2. P. 9–17. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90067-1).
52. Гуськова А.К. 50 лет атомной промышленности России – глазами врача // *Атомная энергия.* 1999. Т.87, № 6. С. 479–485.
53. Гуськова А.К. Атомная отрасль страны глазами врача. М.: Реальное Время, 2004. 240 с.
54. Jacobson B.S. Cataracts in Retired Actinide-Exposed Radiation Workers // *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2005. V.113, No. 1. P. 123–125. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch427>.
55. Muksinova K., Kirillova E.N., Zakharova M.L., et al. A Repository of Bio-Specimens from Mayak Workers Exposed to Protracted Radiation // *Health Phys.* 2006. V.90, No. 3. P. 263–265. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000175441.68227.f>.
56. Окладникова Н.Д., Сумина М.В., Пестерникова В.С., Азизова Т.В., Кабашева Н.Я. Отдаленные последствия внешнего γ -облучения по результатам наблюдения за персоналом первого в стране предприятия атомной промышленности // *Клин. медицина.* 2007. Т.85, № 10. С. 21–26.
57. Okladnikova N.D., Sumina M.V., Pesternikova V.S. Long-Term Effects of External γ -Irradiation Based on the Results of Monitoring the Personnel of the Country's First Nuclear Industry Enterprise // *Wedge. the Medicine.* 2007. No. 10. P. 21–26.
58. Azizova T.V., Bragin E.V., Hamada N., Bannikova M.V. Risk of Cataract Incidence in a Cohort of Mayak PA Workers Following Chronic Occupational Radiation Exposure // *PLoS One.* 2016. V.11, No. 10. P. e0164357. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164357>.
59. Брагин Е.В., Азизова Т.В., Банникова М.В. Заболеваемость катарактой в когорте работников, подвергшихся профессиональному облучению // *Офтальмология.* 2016. Т.13, № 2. С. 115–121. <https://doi.org/10.17116/ofthalma2017133257-63>.
60. Туков А.Р., Шафранский И.Л., Капитонова Н.В. и др. Риск развития катаракты в условиях острого и хронического облучения // *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2016. Т.12, № 4. С. 678–684.
61. Туков А.Р., Шафранский И.Л., Прохорова О.Н., Зиятдинов М.Н. Риск развития радиационной катаракты у работников атомной промышленности – участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС // *Радиация и риск.* 2019. Т.28, № 1. С. 37–46. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2019-28-1-37-46>.
62. Брагин Е.В., Азизова Т.В., Банникова М.В. Риск заболеваемости старческой катарактой у работников предприятия атомной промышленности // *Вестник офтальмологии.* 2017. Т.133, № 2. С. 57–63. <https://doi.org/10.17116/ofthalma2017133257-63>.
63. Азизова Т.В., Брагин Е.В., Хамада Н., Банникова М.В. Оценка риска заболеваемости старческой катарактой в когорте работников предприятия атомной промышленности ПО «Маяк» // *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2018. Т.63, № 4. С. 15–21. <https://doi.org/10.12737/article-5b83b0430902e8.35861647>.
64. Azizova T.V., Hamada N., Grigoryeva E.S., Bragin E.V. Risk of Various Types of Cataracts in a Cohort of Mayak Workers Following Chronic Occupational Exposure to Ionizing Radiation // *Eur. J. Epidemiol.* 2018. V.33, No. 12. P. 1193–204. <https://doi.org/10.1007/s10654-018-0450-4>.
65. Азизова Т.В., Хамада Н., Григорьева Е.С., Брагин Е.В. Риск катаракты различных типов в когорте работников, подвергшихся профессиональному хроническому облучению // *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2020. Т.65, № 4. С. 48–57. <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-4-48-57>.
66. Azizova T.V., Hamada N., Bragin E.V., et al. Risk of Cataract Removal Surgery in Mayak PA Workers Occupationally Exposed to Ionizing Radiation Over Prolonged Periods // *Radiat. Environ. Biophys.* 2019. V.58, No. 2. P. 139–149. <https://doi.org/10.1007/s00411-019-00787-0>.
67. Казымбет П.К., Джанабаев Д.Д., Сайфулина Е.А., Кашкинбаев Е.Т., Ибраева Д.С., Хусаин Ш.К. Оценка риска соматических заболеваний в когорте работников урановой промышленности, подвергающихся радиационному воздействию в малых дозах. Сообщение II // *Наука и Здравоохранение.* 2019. Т.21, № 5. С. 81–87.
68. Park S., Lee D.N., Jin Y.W., et al. Non-Cancer Disease Prevalence and Association with Occupational Radiation Exposure among Korean Radiation Workers // *Sci. Rep.* 2021. V.11, No. 1. P. 22415. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01875-2>.
69. Котеров А.Н. От очень малых до очень больших доз радиации: новые данные по установлению диапазонов и их экспериментально-эпидемиологические обоснования // *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2013. Т.58, № 2. С. 5–21.
70. Котеров А.Н., Вайнсон А.А. Конъюнктурный подход к понятию о диапазоне малых доз радиации с низкой ЛПЭ в зарубежных обзорных источниках: нет изменений за 18 лет // *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2022. Т.67, № 5. С. 33–40. <https://doi.org/10.33266/1024-6177-2022-67-5-33-40>.
71. Seals K.F., Lee E.W., Cagnon C.H., Al-Hakim R.A., Kee S.T. Radiation-Induced Cataractogenesis: a Critical Literature Review for the Interventional Radiologist // *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2016. V.39, No. 2. P. 151–160. <https://doi.org/10.1007/s00270-015-1207-z>.
72. Chodick G., Bekiroglu N., Hauptmann M., Alexander B.H., Freedman D.M., Doody M.M., et al. Risk of Cataract after Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation: a 20-Year Prospective Cohort Study among US Radiologic Technologists // *Am. J. Epidemiol.* 2008. V.168, No. 6. P. 620–631. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn171>.
73. Milacic S. Risk of Occupational Radiation-Induced Cataract in Medical Workers // *Med. Lav.* 2009. V.100, No. 3. P. 178–186.
74. Rajabi A.B., Noohi F., Hashemi H., et al. Ionizing Radiation-Induced Cataract in Interventional Cardiology Staff // *Res. Cardiovasc. Med.* 2015. V.4, No. 1. P. e25148. <https://doi.org/10.5812/cardiovasc-med.25148>.
75. Andreassi M.G., Piccaluga E., Guagliumi G., Del Greco M., Gaita F., Picano E. Occupational Health Risks in Cardiac Catheterization Laboratory Workers // *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2016. V.9, No. 4. P. e003273. <https://doi.org/10.1161/circinterventions.115.003273>.
76. Lian Y., Xiao J., Ji X., Guan S., Ge H., Li F., Ning Li., Liu J. Protracted Low-Dose Radiation Exposure and Cataract in a Cohort of Chinese Industry Radiographers // *Occup. Environ. Med.* 2015. V.72, No. 9. P. 640–647. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102772>.
77. Ozasa K., Shimizu Y., Suyama A., Kasagi F., Soda M., Grant E.J., et al. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: an Overview of Cancer and Noncancer Diseases // *Radiat. Res.* 2012. V.177, No. 3. P. 229–243. <https://doi.org/10.1667/RR2629.1>.
78. Anderson J.L., Bertke S.J., Yiin J., Kelly-Reif K., Daniels R.D. Ischemic Heart and Cerebrovascular Disease Mortality in Uranium Enrichment Workers // *Occup. Environ. Med.* 2020. V.78, No. 2. P. 105–111. <https://doi.org/10.1136/oemed-2020-106423>.
79. Moher D., Liberati A., Tetzlaff J., Altman D.G., The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: the PRISMA Statement // *PLoS Med.* 2009. V.6, No. 7. P. e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.
80. Омельяновский В.В., Авксентьева М.В., Сура М.В., Хачатрян Г.Р., Федяева В.К. Методические рекомендации по проведению мета-анализа. М.: ФГБУ «ЦЭКМП» Минздрава России, 2017. 28 с.
81. Little M.P. Radiation and Circulatory Disease // *Mutat Res.* 2016. V.770, No. Pt B. P. 299–318. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2016.07.008>.
82. Bernstein J., Dauer L., Dauer Z., Hoel D., Woloschak G. Cardiovascular Risk from Low Dose Radiation Exposure: Review and Scientific Appraisal of the Literature. Technical Report // EPRI. 2020. 144 p. <https://www.epri.com/research/products/000000003002018408>.
83. Котеров А.Н., Туков А.Р., Ушенкова Л.Н., Калинина М.В., Бирюков А.П. Средняя накопленная доза облучения для работников мировой ядерной индустрии: малые дозы, малые эффекты. Сравнение с дозами для медицинских радиологов // *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2022. Т.62, № 3. С. 227–239. <https://doi.org/10.31857/S0869803122030043>.
84. Hashemi H., Pakzad R., Yekta A., et al. Global and Regional Prevalence of Age-Related Cataract: a Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis // *Eye.* 2020. V.34, No. 8. P. 1357–1370. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-0806-3>.
85. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Калинина М.В., Бирюков А.П. Сравнение риска смертности от солидных раков после радиационных инцидентов и профессионального облучения // *Медицина катастроф.* 2021. № 3. С. 34–41. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-3-34-41>.
86. Ong H.S., Evans J.R., Allan B.D.S. Accommodative Intraocular Lens Versus Standard Monofocal Intraocular Lens Implantation in Cataract Surgery // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2014. No 5. P. CD009667. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009667.pub2>.

REFERENCES

1. Ashmore J.P., Krewski D., Zielinski J.M., Jiang H., Semenciw R., Band P.R. First Analysis of Mortality and Occupational Radiation Exposure Based on the National Dose Registry of Canada. *Am. J. Epidemiol.* 1998;148:6:564–574. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009682>.
2. UNSCEAR 1972. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Vol. I. 'Level'. Annex C. Doses from Occupational Exposure. United Nations. New York, 1972. P. 173–186.
3. ICRP Publication 118. ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. *Annals of the ICRP.* Ed. Clement C.H. Amsterdam – New York, Elsevier, 2012. 325 p.
4. Little M.P., Azizova T.V., Hamada N. Low- and Moderate-Dose Non-Cancer Effects of Ionizing Radiation in Directly Exposed Individuals, Especially Circulatory and Ocular Diseases: A Review of the Epidemi-

- ology. *Int. J. Radiat. Biol.* 2021;97;6:782–803. <https://doi.org/10.1080/09553002.2021.1876955>.
5. Della Vecchia E., Modenese A., Loney T., Muscatello M., Paulo M.S., Rossi G., Gobba F. Risk of Cataract in Health Care Workers Exposed to Ionizing Radiation: a Systematic Review. *Med. Lav.* 2020;111;4:269–284. <https://doi.org/10.23749/mdl.v111i4.9045>.
 6. Elmarazy A., Morra M.E., Mohammed A.T., Al-Habaa A., Elgebaly A., Ghazy A.A., et al. Risk of Cataract among Interventional Cardiologists and Catheterization Lab Staff: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Catheter Cardiovasc. Interv. Actions.* 2017;90;1:1–9. doi: 10.1002/ccd.27114.
 7. Dauer L., Blakely E., Brooks A., Hoel D. Epidemiology and Mechanistic Effects of Radiation on the Lens of The Eye: Review and Scientific Appraisal of the Literature. Technical Report. Electric Power Research Institute (EPRI). Newburgh, NY, 2014. 142 p.
 8. Ainsbury E.A., Bouffler S.D., Dorr W., Graw J., Muirhead C.R., Edwards A.A., Cooper J. Radiation Cataractogenesis: a Review of Recent Studies. *Radiat. Res.* 2009;172;1:1–9. <https://doi.org/10.1667/RR1688.1>.
 9. Borenstein M., Hedges L.V., Higgins J.P.T., Rothstein H.R. Introduction to Meta-Analysis. John Wiley & Sons Ltd, 2009. 421 p.
 10. Hamada N. Ionizing Radiation Sensitivity of the Ocular Lens and Its Dose Rate Dependence. *Int. J. Radiat. Biol.* 2017;93;10:1024–1034. <https://doi.org/10.1080/09553002.2016.1266407>.
 11. Hammer G.P., Scheidemann-Wesp U., Samkange-Zeeb F., Wicke H., Neriishi K., Blettner M. Occupational Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation and Cataract Development: a Systematic Literature Review and Perspectives on Future Studies. *Radiat. Environ. Biophys.* 2013;52;3:303–319. <https://doi.org/10.1007/s00411-013-0477-6>.
 12. Thome C., Chambers D.B., Hooker A.M., Thompson J.W., Boreham D.R. Deterministic Effects to the Lens of the Eye Following Ionizing Radiation Exposure: Is there Evidence to Support a Reduction in Threshold Dose? *Health Phys.* 2018;114;3:328–343. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000810>.
 13. Ainsbury E.A., Dalke C., Hamada N., Benadjaoud M.A., Chumak V., Ginjaume M., et al. Radiation-Induced Lens Opacities: Epidemiological, Clinical and Experimental Evidence, Methodological Issues, Research Gaps and Strategy. *Environ. Int.* 2021;146:106213. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106213>.
 14. Ainsbury E.A., Barnard S., Bright S., Dalke C., Jarrin M., Kunze S et al. Ionizing Radiation Induced Cataracts: Recent Biological and Mechanistic Developments and Perspectives for Future Research. *Mutat. Res. Rev. Mutat. Res.* 2016;770;Pt. B:238–261. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2016.07.010>.
 15. Hamada N., Azizova T.V., Little M.P. An Update on Effects of Ionizing Radiation Exposure on the Eye. *Br. J. Radiol.* 2020;93;1115:20190829. <https://doi.org/10.1259/bjr.20190829>.
 16. Auerbeck D., Salomaa S., Bouffler S., Ottolenghi A., Smyth V., Sabatier L. Progress in Low Dose Health Risk Research: Novel Effects and New Concepts in Low Dose Radiobiology. *Mutat. Res.* 2018;776:46–69. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2018.04.001>.
 17. Hamada N., Fujimichi Y., Iwasaki T., Fujii N., Furuhashi M., Kubo E., et al. Emerging Issues in Radiogenic Cataracts and Cardiovascular Disease. *J. Radiat. Res.* 2014;55;5:831–846. <https://doi.org/10.1093/jrr/rru036>.
 18. Shore R.E., Neriishi K., Nakashima E. Epidemiological Studies of Cataract Risk at Low to Moderate Radiation Doses: (Not) Seeing Is Believing. *Radiat. Res.* 2010;174;6:889–894. <https://doi.org/10.1667/RR1884.1>.
 19. Rehani M.M., Vano E., Ciraj-Bjelac O., Kleiman N.J. Radiation and Cataract. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2011;147;1–2:300–304. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncr299>.
 20. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*. Ed. Valentin J. Amsterdam – New York, Elsevier, 2007. 329 p.
 21. Bannik K., Rossler U., Faus-Kessler T., Gomolka M., Hornhardt S., Dalke C. et al. Are Mouse Lens Epithelial Cells More Sensitive to γ -Irradiation than Lymphocytes? *Radiat. Environ. Biophys.* 2013;52;2:279–286. <https://doi.org/10.1007/s00411-012-0451-8>.
 22. Markiewicz E., Barnard S., Haines J., Coster M., van Geel O., Wu W. et al. Nonlinear Ionizing Radiation-induced Changes in Eye Lens Cell Proliferation, Cyclin D1 Expression and Lens Shape. *Open Biol.* 2015;5;4:150011. <https://doi.org/10.1098/rsob.150011>.
 23. McCarron R.A., Barnard S.G.R., Babini G., Dalke C., Graw J., Leonardi S., et al. Radiation-Induced Lens Opacity and Cataractogenesis: a Lifetime Study Using Mice of Varying Genetic Backgrounds. *Radiat. Res.* 2022;197;1:57–66. <https://doi.org/10.1667/RADE-20-00266.1>.
 24. Barnard S.G.R., Hamada N. Individual Response of the Ocular Lens to Ionizing Radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 2023;99;2:138–154. doi: 10.1080/09553002.2022.2074166.
 25. Nakashima E., Neriishi K., Minamoto A. A Reanalysis of Atomic-Bomb Cataract Data, 2000–2002: a Threshold Analysis. *Health Phys.* 2006;90;2:154–160. <https://doi.org/10.1097/01.hp.0000175442.03596.63>.
 26. Laskowski L., Williams D., Seymour C., Mothersill C. Environmental and Industrial Developments in Radiation Cataractogenesis. *Int. J. Radiat. Biol.* 2020;26;1–9. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1767820>.
 27. Cucinotta F.A., Manuel F.K., Jones J., Iszard G., Murrey J., Djongre B., Wear M. Space Radiation and Cataracts in Astronauts. *Radiat. Res.* 2001;156;5:460–466. [https://doi.org/10.1667/0033-7587\(2001\)156\[0460:rsracc\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1667/0033-7587(2001)156[0460:rsracc]2.0.co;2).
 28. Rafnsson V., Olafsdottir E., Hrafnkelsson J., Sasaki H., Arnarsson A., Johansson F. Cosmic Radiation Increases the Risk of Nuclear Cataract in Airline Pilots. *Arch. Ophthalmol.* 2005;123;8:1102–1105. <https://doi.org/10.1001/archophth.123.8.1102>.
 29. Klein B.E., Klein R., Linton K.L., Franke T. Diagnostic X-Ray Exposure and Lens Opacities: the Beaver Dam Eye Study. *Am. J. Public Health.* 1993;83;4:588–590. <https://doi.org/10.2105/ajph.83.4.588>.
 30. Klein B.E., Klein R.E., Moss S.E. Exposure to Diagnostic X-Rays and Incident Age-Related Eye Disease. *Ophthalmic Epidemiol.* 2000;7;1:61–65. [https://doi.org/10.1076/0928-6586\(200003\)711-2FT061](https://doi.org/10.1076/0928-6586(200003)711-2FT061).
 31. Poon R., Badawy M.K. Radiation Dose and Risk to the Lens of the Eye During CT Examinations of the Brain. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2019;63;6:786–794. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12950>.
 32. Picano E., Vano E., Domenici L., Bottai M., Thierry-Chef I. Cancer and Non-Cancer Brain and Eye Effects of Chronic Low-Dose Ionizing Radiation Exposure. *BMC Cancer.* 2012;12:157. <https://doi.org/10.1186/1471-2407-12-157>.
 33. Shore R.E. Radiation Impacts on Human Health: Certain, Fuzzy, and Unknown. *Health Physics.* 2014;106;2:196–205. <https://doi.org/10.1097/hp.0000000000000021>.
 34. Shore R.E. Radiation and Cataract Risk: Impact of Recent Epidemiologic Studies on ICRP Judgments. *Mutat. Res. Rev. Mutat. Res.* 2016;770;Pt. B:231–237. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2016.06.006>.
 35. Chylack L.T. Jr., Wolfe J.K., Singer D.M., Leske M.C., Bullimore M.A., Bailey I.L., et al. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch. Ophthalmol.* 1993;111;6:831–836. <https://doi.org/10.1001/archophth.1993.01090060119035>.
 36. Merriam G.R.Jr., Focht E.F. A Clinical Study of Radiation Cataracts and the Relationship to Dose. *Am. J. Roentgenol. Radium. Ther. Nucl. Med.* 1957;77;5:759–785.
 37. Merriam G.R.Jr., Focht E.F. A Clinical and Experimental Study of the Effect of Single and Divided Doses of Radiation on Cataract Production. *Trans. Am. Ophthalmol. Soc.* 1962;60:35–52.
 38. Sparrow O.J.M., Bron A.J., Brown N.A., Ayliffe W., Hill A.R. The Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System. *Int. Ophthalmol.* 1986;9;4:207–225. <https://doi.org/10.1007/BF00137534>.
 39. Klein B.E., Klein R., Linton K.L., Magli Y.L., Neider M.W. Assessment of Cataracts from Photographs in the Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology.* 1990;97;11:1428–1433. [https://doi.org/10.1016/s0161-6420\(90\)32391-6](https://doi.org/10.1016/s0161-6420(90)32391-6).
 40. Thylefors B., Chylack L.T. Jr., Konyama K., Sasaki K., Sperduto R., Taylor H.R., West S. A Simplified Cataract Grading System. *Ophthalmic Epidemiol.* 2002;9;2:83–95. <https://doi.org/10.1076/110.1076/oep.9.2.83.1523>.
 41. Neriishi K., Nakashima E., Minamoto A., Fujiwara S., Akahoshi M., Mishima H.K., et al. Postoperative Cataract Cases among Atomic Bomb Survivors: Radiation Dose Response and Threshold. *Radiat. Res.* 2007;168;4:404–408. <https://doi.org/10.1667/RR0928.1>.
 42. Su Y., Wang Y., Yoshinaga S., Zhu W., Tokonami S., Zou J., et al. Lens Opacity Prevalence among the Residents in High Natural Background Radiation Area in Yangjiang, China. *J. Radiat. Res.* 2021;62;1:67–72. <https://doi.org/10.1093/jrr/rraa073>.
 43. Worgul B.V., Kundiye Y.I., Sergiyenko N.M., Chumak V.V., Vitte P.M., Medvedovsky C., et al. Cataracts among Chernobyl Clean-up Workers: Implications Regarding Permissible Eye Exposure. *Radiat. Res.* 2007;167;2:233–243. <https://doi.org/10.1667/rr0298.1>.
 44. Bekman I.N. *Yadernaya Industriya = Nuclear industry*. Lecture Course. Moscow Publ., 2005. 867 p. (In Russ.).
 45. Berrington de Gonzalez A., Bouville A., Rajaraman P., Schubauer-Berigan M. Ionizing Radiation. Schottenfeld and Fraumeni Cancer Epidemiology and Prevention. Ed. Thun M.J., Linet M.S., Cerhan J.R., Haiman C., Schottenfeld D. New York, Oxford University Press, 2018. P. 227–248.
 46. Breuer F., Strambi E. Evaluation and Rational Recording of Irradiation Doses of Nuclear Workers. *Minerva Fisiconucl.* 1966;10;2:165–170 (In Italian.).
 47. IARC 1994. IARC Study Group on Cancer Risks among Nuclear Industry Workers. Direct Estimates of Cancer Mortality Due to Low Doses of Ionising Radiation: an International Study. IARC Study Group on Cancer Risk among Nuclear Industry Workers. *Lancet.* 1994;344;8929:1039–1043. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(94\)91706-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(94)91706-X).
 48. Voelz G.L. Eye-Survey Study of Nuclear-Reactor Workers. *J. Occup. Med.* 1967;9;6:286–292.

49. Griffith T.P., Pirie A., Vaughan J. Possible Cataractogenic Effect of Radionuclides Deposited Within the Eye from the Blood Stream. *Br. J. Ophthalmol.* 1985;69;3:219–227. <https://doi.org/10.1136/bjo.69.3.219>.
50. Mikhaylina T.N., Vinogradova M.V. Formation of Radiation and Involution Cataracts in Man Exposed to Radiation. *Vestnik Oftalmologii = The Russian Annals of Ophthalmology.* 1992;108;1:40–44 (In Russ.).
51. Okladnikova N.D., Pesternikova V.S., Sumina M.V., Doshchenko V.N. Occupational Diseases from Radiation Exposure at the First Nuclear Plant in the USSR. *Sci. Total Environ.* 1994;142;1–2:9–17. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90067-1).
52. Guskova A.K. 50 Years of the Nuclear Industry in Russia – Through the Eyes of a Doctor. *Atomnaya Energiya = Atomic Energy.* 1999;87;6:479–485 (In Russ.).
53. Guskova A. *Atomnaya Otrastl Strany Glazami Vrachy = Atomic Industry: Medical View.* Moscow Publ., 2003. 240 p. (In Russ.).
54. Jacobson B.S. Cataracts in Retired Actinide-Exposed Radiation Workers. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2005;113;1:123–125. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch427>.
55. Muksinova K., Kirillova E.N., Zakharova M.L., et al. A Repository of Bio-Specimens from Mayak Workers Exposed to Protracted Radiation. *Health Phys.* 2006;90;3:263–265. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000175441.68227.ff>.
56. Okladnikova N.D., Sumina M.V., Pesternikova V.S., Azizova T.V., Kabasheva N.Ya. Long-Term Consequences of External γ -Radiation According to the Results of the Observation of the Personnel of the First Atomic Industry in the Country. *Klinicheskaya Meditsina = Clinical Medicine.* 2007;85;10:21–26 (In Russ.).
57. Okladnikova N.D., Sumina M.V., Pesternikova V.S. Long-Term Effects of External γ -Irradiation Based on the Results of Monitoring the Personnel of the Country's First Nuclear Industry Enterprise. *Wedge. the Medicine.* 2007;10:21–26.
58. Azizova T.V., Bragin E.V., Hamada N., Bannikova M.V. Risk of Cataract Incidence in a Cohort of Mayak PA Workers Following Chronic Occupational Radiation Exposure. *PLoS One.* 2016;11;10:e0164357. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164357>.
59. Bragin Ye.V., Azizova T.V., Bannikova M.V. Cataract Incidence in the Cohort of Occupationally Exposed Workers. *Oftalmologiya = Ophthalmology in Russia.* 2016;13;2:115–121. <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133257-63> (In Russ.).
60. Tukov A.R., Shafranskiy I.L., Kapitonova N.V., et al. Risk of Cataract in the Context of Acute and Chronic Exposure. *Saratovskiy Nauchno-Meditsinskiy Zhurnal = Saratov Journal of Medical Scientific Research.* 2016;12;4:678–684. (In Russ.).
61. Tukov A.R., Shafranskiy I.L., Prohorova O.N., Ziyatdinov M.N. The Incidence of Cataracts and the Radiation Risk of their Occurrence in Liquidators of the Chernobyl Accident, Workers in the Nuclear Industry. *Radiatsiya i Risk = Radiation and Risk.* 2019;28;1:37–46. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2019-28-1-37-46>. (In Russ.).
62. Bragin Ye.V., Azizova T.V., Bannikova M.V. Risk of Senile Cataract among Nuclear Industry Workers. *Vestnik oftalmologii = The Russian Annals of Ophthalmology.* 2017;133;2:57–63. <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133257-63> (In Russ.).
63. Azizova T.V., Bragin Ye.V., Hamada N., Bannikova M.V. Risk Assessment of Senile Cataract Incidence in a Cohort of Nuclear Workers of Mayak Production Association. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety.* 2018;63;4:15–21. <https://doi.org/10.12737/article-5b83b0430902e8.35861647> (In Russ.).
64. Azizova T.V., Hamada N., Grigoryeva E.S., Bragin E.V. Risk of Various Types of Cataracts in a Cohort of Mayak Workers Following Chronic Occupational Exposure to Ionizing Radiation. *Eur. J. Epidemiol.* 2018;33;12:1193–204. <https://doi.org/10.1007/s10654-018-0450-4>.
65. Azizova T.V., Hamada N., Grigoryeva Ye.S., Bragin Ye.V. Risk of Various Types of Cataracts in a Cohort of Mayak Workers Following Chronic Occupational Exposure to Ionizing Radiation. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety.* 2020;65;4:48–57. <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-4-48-57> (In Russ.).
66. Azizova T.V., Hamada N., Bragin E.V., et al. Risk of Cataract Removal Surgery in Mayak PA Workers Occupationally Exposed to Ionizing Radiation Over Prolonged Periods. *Radiat. Environ. Biophys.* 2019;58;2:139–49. <https://doi.org/10.1007/s00411-019-00787-0>.
67. Kazymbet P.K., Dzhanaabayev D.D., Sayfulina Ye.A., Kashkinbayev Ye.T., Ibrayeva D.S., Khusain Sh.K. Risk Assessment of Somatic Diseases in the Cohort of Uranium Industry Workers Exposed to Radiation in Small Doses. *Message II. Nauka i Zdravookhraneniye = Science & Healthcare.* 2019;21;5:81–87 (In Russ.).
68. Park S., Lee D.N., Jin Y.W., et al. Non-Cancer Disease Prevalence and Association with Occupational Radiation Exposure among Korean Radiation Workers. *Sci. Rep.* 2021;11;1:22415. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01875-2>.
69. Koterov A.N. From Very Low to Very Large Doses of Radiation: New Data on Ranges Definitions and Its Experimental and Epidemiological Basing. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety.* 2013;58;2:5–21 (In Russ.).
70. Koterov A.N., Vaynsen A.A. Conjunctural Approach to the Concept of Low Dose Radiation Range with Low LET in Foreign Review Sources: no Changes for 18 Years. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety.* 2022;67;5:33–40. <https://doi.org/10.33266/1024-6177-2022-67-5-33-40> (In Russ.).
71. Seals K.F., Lee E.W., Cagnon C.H., Al-Hakim R.A., Kee S.T. Radiation-Induced Cataractogenesis: a Critical Literature Review for the Interventional Radiologist. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2016;39;2:151–160. <https://doi.org/10.1007/s00270-015-1207-z>.
72. Chodick G., Bekiroglu N., Hauptmann M., Alexander B.H., Freedman D.M., Doody M.M., et al. Risk of Cataract after Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation: a 20-Year Prospective Cohort Study among US Radiologic Technologists. *Am. J. Epidemiol.* 2008;168;6:620–631. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn171>.
73. Milacic S. Risk of Occupational Radiation-Induced Cataract in Medical Workers. *Med. Lav.* 2009;100;3:178–86.
74. Rajabi A.B., Noohi F., Hashemi H., et al. Ionizing Radiation-Induced Cataract in Interventional Cardiology Staff. *Res. Cardiovasc. Med.* 2015;4;1:e25148. <https://doi.org/10.5812/cardiovascmed.25148>.
75. Andreassi M.G., Piccaluga E., Guagliumi G., Del Greco M., Gaita F., Picano E. Occupational Health Risks in Cardiac Catheterization Laboratory Workers. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2016;9;4:e003273. <https://doi.org/10.1161/circinterventions.115.003273>.
76. Lian Y., Xiao J., Ji X., Guan S., Ge H., Li F., Ning Li., Liu J. Protracted Low-Dose Radiation Exposure and Cataract in a Cohort of Chinese Industry Radiographers. *Occup. Environ. Med.* 2015;72;9:640–647. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102772>.
77. Ozasa K., Shimizu Y., Suyama A., Kasagi F., Soda M., Grant E.J., et al. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: an Overview of Cancer and Noncancer Diseases. *Radiat. Res.* 2012;177;3:229–243. <https://doi.org/10.1667/RR2629.1>.
78. Anderson J.L., Bertke S.J., Yiin J., Kelly-Reif K., Daniels R.D. Ischaemic Heart and Cerebrovascular Disease Mortality in Uranium Enrichment Workers. *Occup. Environ. Med.* 2020;78;2:105–111. <https://doi.org/10.1136/oemed-2020-106423>.
79. Moher D., Liberati A., Tetzlaff J., Altman D.G., The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: the PRISMA Statement. *PLoS Med.* 2009;6;7:e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.
80. Omelyanovskiy V.V., Avksentyeva M.V., Sura M.V., Khachatryan G.R., Fedayeva V.K. *Metodicheskiye Rekomendatsii po Provedeniyu Meta-Analiza = Guidelines for Conducting a Meta-Analysis.* Moscow Publ., 2017. 28 p. (In Russ.).
81. Little M.P. Radiation and Circulatory Disease. *Mutat Res.* 2016;770;Pt B:299–318. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2016.07.008>.
82. Bernstein J., Dauer L., Dauer L., Hoel D., Woloschak G. Cardiovascular Risk from Low Dose Radiation Exposure: Review and Scientific Appraisal of the Literature. *Technical Report. EPRI.* 2020:144. <https://www.epri.com/research/products/000000003002018408>.
83. Koterov A.N., Tukov A.R., Ushenkova L.N., Kalinina M.V., Biryukov A.P. Average Accumulated Radiation Doses for World Nuclear Workers: Low Doses, Low Effects. Comparison with Doses for Medical Radiologists. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya = Radiation Biology. Radioecology.* 2022;62;3:227–239. <https://doi.org/10.31857/S0869803122030043> (In Russ.).
84. Hashemi H., Pakzad R., Yekta A., et al. Global and Regional Prevalence of Age-Related Cataract: a Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis. *Eye.* 2020;34;8:1357–1370. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-0806-3>.
85. Koterov A.N., Ushenkova L.N., Kalinina M.V., Biryukov A.P. Comparison of the Risk of Mortality from Solid Cancers after Radiation Incidents and Occupational Exposures. *Meditsina katastrof = Disaster Medicine.* 2021;3:34–41. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-3-34-41> (In Russ.).
86. Ong H.S., Evans J.R., Allan B.D.S. Accommodative Intraocular Lens Versus Standard Monofocal Intraocular Lens Implantation in Cataract Surgery. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2014;5:CD009667. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009667.pub2>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Работа выполнена по бюджетной теме НИР ФМБА России и не поддерживалась никакими иными источниками финансирования.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 20.01.2022. **Принята к публикации:** 25.02.2023.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The work was carried out on the budget topic of the research of the FMBA of Russia and was not supported by any other sources of funding.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 20.01.2022. **Accepted for publication:** 25.02.2023.