

# Эпидемиологические исследования патологии глаз за длительный период наблюдения у населения, подвергшегося хроническому радиационному воздействию на Южном Урале



Л.Д. Микрюкова

ФГБУН «Уральский научно-практический Центр радиационной медицины»  
Федерального медико-биологического агентства  
ул. Воровского, 68а, Челябинск, 454141, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(4):923-930

**Цель исследования** — анализ показателей заболеваемости катарактой с 1955 по 2019 г. в когорте населения, облученного на Южном Урале, а также анализ радиационного риска заболеваемости катарактой. **Материалы и методы.** Впервые заболеваемость катарактой была оценена за длительный период наблюдения с 1955 по 2019 г. у лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию в диапазоне малых и средних доз, на основе созданного в ФГБУН УНПЦ РМ регистра глазных болезней. Анализ показателей заболеваемости проведен с учетом индивидуализированных показателей дозы облучения в отношении хрусталика глаза. Показатели заболеваемости рассчитывали методами медицинской статистики на 1000 человек. Была также выполнена оценка избыточного относительного риска (ОИР) развития катаракты методом «случай-контроль». **Результаты.** Общая изучаемая группа состояла из 14 751 человека (1955–2019 гг.), обследованных в стационаре УНПЦ РМ. По состоянию на декабрь 2020 г. зарегистрировано 4658 пациентов с заболеванием катаракты. По результатам исследования установлено, что заболеваемость катарактой увеличивается с возрастом и, соответственно, старением когорты, улучшением качества диагностики и обследования больных. Число случаев катаракты больше у женщин, чем у мужчин (3169 и 1489 соответственно). Стандартизованный коэффициент заболеваемости катарактой за все годы наблюдения составил 172,94 (95 % ДИ: 168.10–177.78). При исследовании зависимости заболеваемости катарактой от дозы воздействия на хрусталик выявлена тенденция увеличения заболеваемости катарактой с увеличением дозы облучения. Риск развития катаракты (ОИР) в зависимости от дозы облучения на хрусталик в результате исследования с применением метода «случай-контроль» составил 1,10 (95 % ДИ: 1,00–1,21). **Заключение.** По периодам наблюдения заболеваемость катарактой в данной когорте увеличивалась. Число случаев катаракты у женщин было больше, по возрастные характеристики примерно одинаковы у мужчин и женщин. По результатам проведенного анализа установлена тенденция повышенного влияния дозы облучения на увеличение риска появления катаракты.

**Ключевые слова:** хроническое радиационное воздействие, показатели заболеваемости, катаракта, случай-контроль

**Для цитирования:** Микрюкова Л.Д. Эпидемиологические исследования патологии глаз за длительный период наблюдения у населения, подвергшегося хроническому радиационному воздействию на Южном Урале. *Офтальмология*. 2022;19(4):923-930. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-4-923-930>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

**Конфликт интересов отсутствует**



# Epidemiological Studies of the Eye Pathology over a Long-Term Follow-Up Period in the Population Affected by Chronic Radiation Exposure in the Southern Urals

L.D. Mikryukova

Urals Research Center for Radiation Medicine  
Vorovsky str., 68A, Chelyabinsk, 454141, Russian Federation

## ABSTRACT

**Ophthalmology in Russia. 2022;19(4):923-930**

**Objective of the study:** to analyze cataract incidence rates over the period from 1955 through 2019 in the cohort of the population exposed in the Southern Urals and to analyze radiation risk of cataract incidence. **Methods.** For the first time cataract incidence was assessed over a long-term period from 1955 through 2019 in people who were chronically exposed in a low-to-moderate dose range. The registry of eye pathologies created in the URCRM was used as the basis for the study. Analysis of incidence rates was conducted with account of the individualized doses to the lens. The incidence rates were calculated using the methods of medical statistics per 1,000 people. The odds ratio (OR) of cataract development was also evaluated using the case-control study. **Results.** In total the studied group consisted of 14,751 people (1955–2019) who underwent examinations in the outpatient department of the URCRM. As of December 2020 4,658 patients with cataract were registered. According to the findings of the study (1955–2019) it has been stated that cataract incidence increases with age and thus with the aging of the cohort, improvement of the quality of the diagnosing procedures and examination of the patients. The number of cataracts in women significantly exceeds that in men (3,169 and 1,489, respectively). Standardized incidence rate of cataract over all the years of the follow-up is 172.94 [95 % CI: 168.10–177.78]. In the course of the study of the cataract incidence dependence on the dose to the lens, it has been revealed that cataract incidence tends to increase with the increasing dose. Risk value of cataract development (OR) depending on the dose to the lens obtained as a result of the case-control study made up 1.10 [95 % CI: 1.00–1.21]. **Conclusion.** The incidence of cataract in the studied cohort increases with the follow-up periods. The number of cataracts in women is greater than that in men, the age characteristics are approximately the same. A trend of increased effect of the dose on the increase in the risk of cataracts was established based on the results of the performed analysis.

**Keywords:** chronic radiation exposure, incidence rates, cataract, case-control

**For citation:** Mikryukova L.D. Epidemiological Studies of the Eye Pathology over a Long-Term Follow-Up Period in the Population Affected by Chronic Radiation Exposure in the Southern Urals. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(4):923–930. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-4-923-930>

**Financial Disclosure:** The author has no financial or property interest in any material or method mentioned

**There is no conflict of interests**

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Жители населенных пунктов на Южном Урале подверглись хроническому воздействию внешнего и внутреннего облучения в диапазоне «малых» и «средних» доз в результате двух радиационных аварий [1, 2]. В период 1949–1956 гг. в результате деятельности ПО «Маяк» радиоактивные материалы сбрасывались в реку Теча, вследствие этого 30 тыс. жителей прибрежных сел подверглись длительному хроническому комбинированному (внешнему и внутреннему) радиационному воздействию. Лица, родившиеся до 1950 года, которые проживали на реке Тече в период 1950–1960 гг., были включены в когорту реки Течи. В результате взрыва в хранилище жидких радиоактивных отходов ПО «Маяк» на Южном Урале сформировался восточноуральский радиоактивный след (ВУРС) и также произошло облучение населения. В сформированную когорту ВУРС численностью около 22,5 тысячи человек были включены лица, родившиеся до аварии. В Уральском научно-практическом Центре радиационной медицины осуществляется медицинское наблюдение и лечение людей, подвергшихся низкоинтенсивному радиационному воздействию, а также проводятся научные исследования для обеспечения радиационной безопасности

населения. Регистр облученного населения УНПЦ РМ содержит персонифицированную информацию о лицах, облученных на Южном Урале, и их потомках. При изучении глазной патологии у населения, подвергнутого хроническому радиационному воздействию, по данным эпидемиологических исследований, особое внимание уделяется катаракте, т.к. хрусталик глаза является одним из наиболее чувствительных органов человека в отношении воздействия ионизирующей радиации. Учитывая его длительный характер за счет внешнего  $\gamma$ -облучения и внутреннего облучения, а также состав популяции (облучению подвергались как взрослые люди, так и дети в различном возрасте), представлялось важным ретроспективно описать случаи глазных заболеваний.

**Цель исследования:** анализ показателей заболеваемости катарактой с 1955 по 2019 г. в когорте населения, облученного на Южном Урале, а также анализ радиационного риска заболеваемости катарактой.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В течение многолетнего медицинского наблюдения врачами-офтальмологами клинического отделения УНПЦ РМ за населением, пострадавшим в результате двух радиационных аварий на Южном Урале, было

Л.Д. Микрюкова

диагностировано большое количество случаев патологии глаз. Учитывая длительный характер воздействия ионизирующей радиации за счет внешнего  $\gamma$ -облучения и внутреннего облучения, а также состав популяции (облучению подвергались как взрослые люди, так и дети в различном возрасте), представлялось важным ретроспективно описать случаи глазных заболеваний.

### **СТРУКТУРА РЕГИСТРА ГЛАЗНОЙ ПАТОЛОГИИ У ПАЦИЕНТОВ КЛИНИКИ УНПЦ РМ**

В Уральском научно-практическом Центре радиационной медицины на регулярной основе проводится работа по систематизации и пополнению базы данных относительно офтальмопатологии путем поиска информации за предыдущие годы наблюдения за когортами облученных на Южном Урале, а также осуществляется углубленное обследование пациентов и их потомков. Регистр глазных болезней облученного на Южном Урале населения по данным на декабрь 2020 г. содержит информацию о 29 998 случаях заболеваний глаз у 7823 человек, из них 2774 мужчины и 5049 женщин. Содержимое регистра постоянно обновляется путем пополнения данными результатов проводимых в настоящее время углубленных осмотров офтальмолога и изучения доступных архивных материалов.

Учитывая применяемую в общей Базе диагнозов ФГБУН «УНПЦ РМ» ФМБА России кодировку по МКБ-9, связанную прежде всего с длительным периодом наблюдения (с 50-х годов прошлого века), в современный регистр глазных болезней вводятся основные диагнозы заболеваний глаз по результатам осмотра офтальмолога, закодированные также с использованием МКБ-9 и системного номера пациента из общей Базы данных ФГБУН «УНПЦ РМ» ФМБА России. Кодирование диагноза по МКБ-9 включает класс, рубрику и подрубрику заболевания [3].

Структура регистра отражает все основные демографические характеристики пациента: дату рождения, пол, национальность. При кодировании диагноза учтены все источники информации, которые легко можно отнести к какому-либо виду по месту нахождения: стационар, поликлиника, экспедиция. При вводе диагнозов глазных болезней в регистр по возможности были учтены все, даже редко встречающиеся рубрики и подрубрики, относящиеся к глазным заболеваниям, включая непосредственно VI класс — болезни глаза и его придатков, учтены также инфекционные заболевания, новообразования, врожденная патология и другие заболевания, относящиеся к офтальмологии, включая изменения глазного яблока при различных соматических заболеваниях.

Изучение изменений хрусталика при исследовании глазных болезней проводится на протяжении всего периода диспансерного наблюдения облученного населения. Контроль полноты и качества данных по заболеваемости катарактой среди лиц, подвергшихся длительному хроническому облучению в малых дозах, за длительный

период наблюдения (1955–2019 гг.) представлял собой верификацию диагноза катаракты на каждом глазу с экспертной оценкой офтальмолога, с сопоставлением данных по каждому человеку из всех возможных бумажных архивных источников (все доступные медицинские документы), а также сведений из электронной базы данных ФГБУН «УНПЦ РМ» ФМБА России. Подготовка такого регистра была важна для единообразия трактовки изменений хрусталика в наблюдаемый когорте, учитывая длительный период наблюдения (более 60 лет), изменение методов наблюдения и обследования когорты облученных. Впервые была проделана работа по экспертной оценке, анализу и добавлению в базу данных глазных болезней дифференцированных сведений по каждому глазу, в первую очередь по послойным изменениям хрусталика. Таким образом, был создан регистр глазных болезней, содержащий информацию по основным диагнозам и установленным послойным изменениям хрусталика на каждом глазу, если такие когда-либо были зафиксированы.

### **ДОЗЫ НА ХРУСТАЛИК**

Для расчета индивидуальных доз у людей, проживавших на территории, загрязненной радионуклидами в середине прошлого века в результате деятельности ПО «Маяк», применялась дозиметрическая система TRDS [4–7]. В рамках проводимого исследования впервые в когорте облученных на Южном Урале были использованы индивидуальные дозы облучения хрусталика, рассчитанные по усовершенствованной версии дозиметрической системы TRDS-2016.

Облучение населения в Уральском регионе было пролонгированным и зависело от времени и места проживания на загрязненной территории. Для конкретного жителя реки Течи уровни внешнего и внутреннего облучения зависели от множества факторов, таких как расстояние пункта проживания от места сбросов радиоактивных отходов, удаленность дома от береговой полосы, источники питьевой воды (река и/или колодец), потребление продуктов с загрязненной поймы. При расчетах доз учитывалась вся история проживания человека на загрязненной радионуклидами территории, а также его возраст и пол, которые влияли на режимы поведения, уровни потребления воды и пищевых продуктов, распределение радионуклидов по органам и тканям.

Было показано, что радиационное воздействие на большинство мягких тканей для жителей реки Течи главным образом определялось внешним излучением от загрязненных пойменных земель и излучением цезия-137, поступавшего в организм с речной водой и молоком [4]. Повышенным уровням облучения подвергались костный мозг и клетки на костных поверхностях за счет бета-излучения остеотропных изотопов стронция, инкорпорированных в минеральном объеме скелета. Распределение поглощенной дозы по внескелетным тканям было близко к равномерному, поэтому

для расчета доз на хрусталик использовались значения дозовых коэффициентов, принятые для головного мозга.

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

В разделе «Результаты» применен описательный метод анализа материала, являющийся базой для проведения научного исследования. Показатели заболеваемости рассчитывались методами медицинской статистики на 1000 человек [8]. В основе статистических методов исследования использовался метод «случай-контроль», в котором две исследуемые группы, различающиеся по полученному результату, сравниваются на основе предполагаемого влияющего фактора [8].

В качестве «случая» в проводимом исследовании анализировали пациента с диагнозом «катаракта». Диагноз «катаракта» был поставлен офтальмологом при обследовании в 1955–2019 гг., закодирован с использованием МКБ-9.

В качестве «контроля» рассматривался пациент без диагноза «катаракта» из числа пациентов клинического отделения УНПЦ РМ. Группы контроля подбирали

в соответствии с полом, возрастом и этнической принадлежностью. К каждому случаю контроль был выбран случайным образом среди обследованных пациентов клиники УНПЦ РМ.

Отбор проходил по стандартной двухэтапной процедуре: 1) идентификация всех возможных видов контроля для каждого случая; 2) случайный отбор элементов из этого подмножества.

Были применены следующие критерии соответствия:

- соответствие пола для случая и контроля (2 группы: мужчины; женщины);

- соответствие национальности для случая и контроля (2 группы: татары и башкиры; славяне);

- соответствие возраста на дату постановки диагноза (возрастные группы: младше 40, от 40 до 50, от 50 до 60, от 60 до 70, от 70 до 80, старше 80 лет).

В качестве влияющего фактора в данном исследовании мы рассматривали дозу облучения хрусталика.

Показатель *Отношение шансов* (ОШ) [8] вычислялся по формуле:

$$\text{ОШ} = \frac{[A/(A+C)]/C/(A+C)]}{[B/(B+D)]/D(B+D)]} = \frac{D}{C},$$

где А — количество человек в основной группе при воздействии фактора,

В — количество человек в контрольной группе при воздействии фактора,

С — количество человек в основной группе без воздействия фактора,

Д — количество человек в контрольной группе без воздействия фактора.

Доверительный интервал возможного изменения риска развития изменений в хрусталике рассчитывался с 95 % вероятностью [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Общая изучаемая группа состояла из 14 751 человека, когда-либо обследованного в стационаре УНПЦ РМ и, соответственно, осмотренного офтальмологом. Всего за период с 1955 по 2019 г. было выявлено офтальмологами 4658 человек с диагнозом «катаракта» хотя бы на одном глазу из числа облученных из разных когорт, входящих в Базу данных Уральского научно-практического Центра радиационной медицины. В анализ были взяты результаты обследования при первой госпитализации с выявленным диагнозом «катаракта» хотя бы на одном глазу (случаи травматической, вторичной катаракты исключены).

В таблице 1 представлено распределение пациентов по возрасту, полу, этнической принадлежности, дозе облучения на хрусталик и области проживания.

Самую большую по возрасту группу составляют пациенты в возрастной категории от 60 до 69 лет (2253 человека, или 48 % от всех обследованных). Младше 50 лет катаракта установлена у 211 человек (4 % в сумме, две

**Таблица 1.** Характеристики субкогорты лиц с диагнозом «катаракта»

**Table 1.** Characteristics of patients diagnosed with cataract

Параметры / Parameters	Пациенты с диагнозом «катаракта» / Patients diagnosed with cataract	
	n	%
<b>Возраст на момент осмотра / Age at the time of examination</b>		
≤40	51	1
40–49	160	3
50–59	909	20
60–69	2253	48
70–79	1140	24
≥80	145	3
Всего / Total	4658	100
<b>Пол / Sex</b>		
Мужчин / Males	1489	32
Женщин / Females	3169	68
<b>Этническая принадлежность / Ethnicity</b>		
Татары и башкиры / Tatars and Bashkirs	2391	51
Славяне / Slavs	2267	49
<b>Доза облучения на хрусталик (мГр) / Doses to lens (mGy)</b>		
0–5	1448	31
5–20	1096	24
20–50	653	14
50–100	734	16
≥ 100	727	16
<b>Область проживания / Area of residence</b>		
Челябинская / Chelyabinsk	3650	78
Курганская / Kurgan	618	13
Свердловская / Sverdlovsk	247	5
Мигранты вне 3 регионов / Migrants outside 3 regions	143	3

самые младшие возрастные группы), в возрасте от 70 до 79 лет — 1140 человек (24 %). Самая старшая возрастная группа ( $\geq 80$  лет) состояла из 145 человек (3 % от всей выборки).

В составе лиц с диагнозом катаракта за наблюдаемый период преобладают женщины — 3169 (68 %), мужчин 1489 (32 %).

По этнической принадлежности славянское население в исследуемой группе составляет 49 %, татары и башкиры — 51 %.

Максимальная доза на хрусталик глаза у пациентов исследуемой группы составила 831 мГр, минимальная — 0 мГр. Самую большую группу представляют пациенты, имеющие дозу облучения от 0 до 5 мГр, — 31 % от всех обследованных (1448 человек). Группа с дозой свыше 100 мГр состояла из 727 человек (16 %).

Среди лиц с диагнозом катаракта 78 % — жители Челябинской области, 13 % — из Курганской области, 247 — из Свердловской области (5 %). Группа дальних мигрантов состояла из 727 человек (3 % от изучаемой группы).

В таблице 2 показаны повозрастные характеристики пациентов с диагнозом «катаракта» на дату впервые выявленной катаракты хотя бы на одном глазу.

При распределении случаев заболевания катарактой по полу и по этнической принадлежности самое большое количество заболевших установлено в возрастной

категории от 60 до 69 лет как среди мужчин, так и среди женщин (48 и 49 % соответственно). В остальных возрастных категориях распределение по полу отличается незначительно. Но в целом количество женщин среди больных катарактой в каждой возрастной группе, кроме самой первой, значительно превышает количество мужчин. В изучаемой группе больных катарактой в возрастных группах после 40 лет (60–69, 70–79 и 80 лет и старше) число женщин больше чем 2 раза превышает число мужчин, что соответствует показателям у необлученного населения [9].

По этнической принадлежности преобладают пациенты из группы татары/башкиры в возрастной категории от 50 до 59 лет — 529 человек (22 %) против 380 человек (17 %) из группы славян. В возрастной группе от 70 до 79 лет больше было славян — 616 человек (27 % от всей выборки против 22 % в группе тюркитов).

В таблице 3 показана заболеваемость катарактой по периодам времени за все время наблюдения с 1955 по 2019 г.

Из представленной таблицы видно, что по периодам времени заболеваемость катарактой увеличивается с возрастом и, соответственно, старением когорты, улучшением качества диагностики и обследования больных. Коэффициенты заболеваемости в каждом периоде наблюдения выше стандартизованных по возрасту показателей заболеваемости катарактой (табл. 4). По данным

**Таблица 2.** Повозрастные характеристики субкогорты лиц с диагнозом «катаракта» по полу и этнической принадлежности

**Table 2.** Age characteristics of patients diagnosed with cataract by gender and ethnicity

Возраст на дату первого диагноза / Age at the date of the first diagnosis	Мужчины / Males, (n, %)	Женщины / Females, (n, %)	Татары/башкиры / Tatars and Bashkirs, (n, %)	Славяне / Slavs, (n, %)
$\leq 40$	25 (2)	26 (1)	33 (1)	18 (1)
40–49	58 (4)	102 (3)	100 (4)	60 (3)
50–59	297 (20)	612 (19)	529 (22)	380 (17)
60–69	714 (48)	1539 (49)	1144 (48)	1109 (49)
70–79	353 (24)	787 (25)	524 (22)	616 (27)
$\geq 80$	42 (3)	103 (3)	61 (3)	84 (4)
Всего / Total	1489 (100)	3169 (100)	2391 (100)	2267 (100)

**Таблица 3.** Показатели заболеваемости катарактой по периодам времени (1955–2019 гг.)

**Table 3.** Cataract incidence rates by time period (1955–2019)

Годы / Years	С установленным диагнозом «катаракта» / Diagnosed with cataract	Число обследованных в этот период / Number of examined during this period	Коэффициент заболеваемости* / Incidence rate*	Стандартизованный коэффициент заболеваемости* / Standardized incidence rate*
1955–1965	66	2519	26,20 (20.23–33.38)	15,83 (12.22–20.17)
1966–1975	123	1663	73,96 (61.31–88.46)	32,22 (26.71–38.54)
1976–1985	155	2435	63,65 (53.85–74.74)	47,95 (40.57–56.29)
1986–1995	412	2149	191,72 (173.31–211.47)	124,67 (112.70–137.51)
1996–2005	1027	1616	635,52 (596.75–676.19)	279,89 (262.82–297.80)
2006–2019	2875	3920	733,42 (707.02–759.82)	229,13 (220.88–237.38)
1955–2019	4658	14751	325,69 (316.57–334.81)	172,94 (168.10–177.78)

Примечание: \* — 95 %-ный доверительный интервал указан в скобках.  
Note: \* — 95 % confidence interval is given in parentheses.

литературы, с увеличением возраста заболеваемость катарактой прогрессивно возрастает. Многие исследователи полагают, что после 80 лет катарактой болеют практически все [10]. Распространенность катаракты в Российской Федерации по критерию обращаемости составляет 1201,5 на 100 тысяч населения, или в абсолютных цифрах — 1 742 250 человек. В общей структуре глазных болезней на долю катаракты приходится 6,8 % [11].

В таблице 4 показана зависимость заболеваемости катарактой от дозы на хрусталик (TRDS-2016).

Из представленной таблицы можно сделать вывод, что имеется тенденция увеличения заболеваемости катарактой с увеличением дозы облучения, наблюдаемая в первых трех дозовых группах. Более значительный подъем коэффициентов заболеваемости зарегистрирован во второй и третьей дозовых группах. В то же время значение показателя заболеваемости катарактой ниже всех в последней дозовой группе (100 мГр и больше), но значительно выше стандартизованного значения в этой группе (так же, как и в других группах). По данным литературы, среди лиц, подвергшихся радиационному воздействию при испытании первого ядерного устройства на Семипалатинском полигоне 29.08.1949, было установлено повышение распространенности катаракты с увеличением эффективной дозы, причем наиболее высокий уровень в группе с максимальной дозой для мужчин составлял 184,8 на 103 (95 % ДИ: 153,8–221,9), для женщин — 311,2 на 103 (95 % ДИ: 278,5–347,2). Относительный риск по сравнению с группой адекватного контроля равнялся соответственно для мужчин 2,01 (95 % ДИ: 1,67–2,41), для женщин — 2,35 (95 % ДИ: 2,11–2,63). Распространенность катаракты среди пациентов, возраст которых на момент воздействия был более 15 лет, так же как и в нашем исследовании, была

выше у женщин по сравнению с мужчинами: 497,6 (95 % ДИ: 442,7–558,8) и 325,5 (95 % ДИ: 303,7–454,4) [12].

### АНАЛИЗ ДОЗОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ КАТАРАКТОЙ МЕТОДОМ «СЛУЧАЙ-КОНТРОЛЬ»

Общая изучаемая группа состояла из 14 751 человека, когда-либо обследованного в стационаре УНПЦ РМ и соответственно осмотренного офтальмологом. Из них у 4658 человек была обнаружена катаракта. В качестве влияющего фактора в данном исследовании мы рассматривали дозу облучения хрусталика. В качестве «случая» в проводимом исследовании рассматривался пациент с диагнозом «катаракта». В качестве «контроля» служил пациент без диагноза «катаракта» из числа пациентов клинического отделения УНПЦ РМ, обследованных в рамках этой же программы. Группы контроля подбирали в соответствии с полом, возрастом и этнической принадлежностью. К каждому случаю контроль был выбран случайным образом среди обследованных пациентов клиники УНПЦ РМ. Из этой общей группы были выбраны случаи и контроль по приведенным выше правилам в соотношении 1:3. Всего в группу «случай-контроль» из общей выборки были включены 8607 человек.

Для подсчета вероятности риска развития катаракты в зависимости от дозы облучения хрусталика выборка была разбита на 2 подгруппы: 1) с дозой на хрусталик ниже 5 мГр ( $n = 6247$ ); 2) с дозой на хрусталик выше 5 мГр ( $n = 2360$ ). В каждой группе было подсчитано количество человек, имеющих катаракту и без нее (табл. 5).

В результате проведенного исследования установлено, что отношение шансов при развитии катаракты в зависимости от дозы облучения хрусталика составляет 1,10 (95 % ДИ: 1,00–1,21), что свидетельствует о пограничных

**Таблица 4.** Зависимость заболеваемости катарактой от дозы на хрусталик (TRDS-2016)

**Table 4.** Dependence of cataract incidence on lens dose (TRDS-2016)

Доза, мГр / Dose, mg	Средняя доза, мГр / Average dose, mGr	Число случаев катаракты / Number of cataract cases	Число обследованных / Number of examined	Коэффициент заболеваемости* / Incidence rate*	Стандартизованный коэффициент заболеваемости* / Standardized incidence rate*
0–24,99	0,007	2699	8899	303,29 (291,16–315,42)	110,94 (106,50–115,38)
25,00–49,99	0,037	498	1387	359,05 (328,17–391,72)	115,94 (105,97–126,49)
50,00–99,99	0,0761	734	1788	410,51 (380,54–442,12)	112,22 (104,03–120,86)
100 и больше / 100 and more	0,2751	727	2677	271,57 (251,75–292,48)	109,59 (101,59–118,03)
Всего / Total	0,0488	4658	14751	315,77 (306,93–324,61)	111,50 (108,38–114,62)

Примечание: \* — 95 %-ный доверительный интервал указан в скобках.  
Note: \* — 95 % confidence interval is given in parentheses.

**Таблица 5.** Риск развития катаракты в зависимости от дозы облучения (1955–2019 гг.)

**Table 5.** Risk of cataract development depending on the radiation dose (1955–2019)

Параметры / Parameters	Доза ≥5 мГр / Dose ≥5 mg	Доза < 5 мГр / Dose < 5 mg	Всего / Total
Основная группа / Main group	1316	3342	4658
Контрольная группа / Control group	1044	2905	3949
Всего / Total	2360	6247	8607
ОШ (95 % ДИ) / OR (95 % CI)	1,10 (1,00–1,21)		

значениях статистической значимости связи между фактором и исходом ( $P < 0,05$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие катаракты связывают с самыми разными факторами, к числу которых, в частности, относятся расовая принадлежность, характер питания, загрязнение окружающей среды, состав питьевой воды, курение, патологические изменения микроэлементного состава хрусталика, применение лекарственных препаратов и преждевременное старение организма [12–15]. По данным литературы, вопросы изучения механизмов развития радиационной катаракты, особенно в диапазоне малых и средних доз, представляют несомненный интерес в связи с расширением контактов человека с ионизирующим излучением в различных сферах деятельности, включая планирование межпланетных космических полетов [16–20].

Целью проведенного исследования явился анализ показателей заболеваемости катарактой с 1955 по 2019 г. в когорте населения, облученного на Южном Урале, а также анализ радиационного риска заболеваемости катарактой. Общая изучаемая группа состояла из 14 751 человека, обследованного в стационаре УНПЦ РМ. По состоянию на декабрь 2020 г. было зарегистрировано 4658 пациентов с заболеванием катарактой. По итогам проделанной работы случаи катаракты у пациентов УНПЦ РМ были собраны из разных источников, основными из которых были архивные материалы и база диагнозов по заболеваемости. Архивные материалы включали истории болезни, амбулаторные карты, журналы регистрации диагнозов осмотра офтальмолога. Был проведен экспертный анализ записей офтальмолога во всех возможных источниках с 1955 по 2019 г. Благодаря этой работе удалось увеличить количество случаев катаракты для анализа в изучаемой группе населения из районов, подвергшихся хроническому радиационному воздействию.

По результатам проведенного анализа заболеваемости катарактой за 1955–2019 гг. в отдаленном периоде у населения, облученного в результате радиационных аварий на Южном Урале, было установлено, что заболеваемость катарактой увеличивается с возрастом и соответственно старением когорты, улучшением качества диагностики и обследования больных. Стандартизованный коэффициент заболеваемости катарактой за все годы наблюдения составил 172,94 (95 % ДИ: 168,10–177,78).

По публикациям Отдела народонаселения ООН, к 2025 году около 50 миллионов людей в возрасте 60 лет будут иметь помутнения хрусталика различной степени интенсивности [21]. Среди больных катарактой преобладают лица пенсионного возраста (76–80 %), однако отмечается достаточно четкая тенденция увеличения частоты возникновения катаракты среди лиц трудоспособного возраста. В нашем исследовании коэффициенты заболеваемости в каждом периоде наблюдения нарастают

с течением времени и выше стандартизованных по возрасту показателей заболеваемости катарактой. Число случаев катаракты в наблюдаемой когорте у женщин больше, чем у мужчин, что сопоставимо с показателями у необлученного населения. Одним из факторов большей заболеваемости катарактой среди женщин может быть большая обращаемость к специалистам и более длительная продолжительность жизни.

Несмотря на имеющееся подробное описание развития радиационно-индуцированной катаракты, все еще сохраняются значительные неопределенности, связанные с дозовой зависимостью развития радиационной катаракты [12–16]. Концепция пороговой дозы имеет критическое значение не только для оценки риска, но также для теории, рассматривающей патологические механизмы радиационной катаракты. В последние годы более низкие пороговые значения были предложены в ряде новых исследований [1, 3, 12, 13] с учетом выживших после атомных бомбардировок [14, 15], а также рабочих — ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС [19] и в когортном исследовании технологов-радиологов [20]. В публикации ICRP 118 проанализированы эти исследования и сделан вывод, что исследования с длительным периодом наблюдения показали пороговую дозу ~ 0,5 Гр с 90 или 95 % доверительным интервалом.

В результате проведенного исследования в популяции облученных лиц, подвергшихся многолетнему воздействию ионизирующей радиации в малых дозах, была установлена тенденция повышенного влияния дозы облучения на увеличение риска появления катаракты: отношение шансов при развитии катаракты в зависимости от дозы облучения хрусталика составляет 1,10 (95 % ДИ: 1,00–1,21), что свидетельствует о пограничных значениях статистической значимости ( $P < 0,05$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По периодам наблюдения заболеваемость катарактой значительно увеличивается в последние годы по мере старения когорты, а также с улучшением методов наблюдения и лечения. Число случаев катаракты у женщин больше, повозрастное распределение случаев примерно одинаковое у мужчин и женщин. По результатам проведенного анализа установлена тенденция повышенного влияния дозы облучения на увеличение риска появления катаракты.

Теоретическое и практическое значение проведенной работы заключается в том, что полученные результаты позволяют правильно оценить актуальность и практическую значимость изучения факторов риска, влияющих на развитие катаракты у населения, проживающего на радиационно загрязненных территориях, что является важным с позиций изучения возможных последствий облучения, особенно в аварийных ситуациях. Независимо от основных причин, усилия общественного здравоохранения должны быть направлены на эти группы высокого риска.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Экологические и медицинские последствия радиационной аварии 1957 года на ПО «Маяк» / Под ред. А.В. Аклеева, М.Ф. Киселёва. М.: ФУ «Медбиоэкстрем» при Минздраве РФ», 2001. 290 с. [Ecological and health effects of the radiation accident of 1957 at the Mayak PA. Eds.: A.V. Akleyev, M.F. Kiselev. Moscow: "Medbioextrem" Rus. Min. of Health, 2001. 290 p. (In Russ.).]
2. Akleyev A.V. Chronic radiation syndrome. Berlin Heidelberg: Springer, 2014. 410 p.
3. Руководство по международной статистической классификации болезней, травм и причин смерти. Девятый пересмотр (МКБ-IX). Т. 1. М.: «Медицина», 1980. 755 с. [International Classification of Diseases, Ninth Revision, Clinical Modification (ICD-9-CM). V.1. Moscow: "Medicina", 1980. 755 p. (In Russ.).]
4. Degteva M.O., Vorobiova M.I., Tolstykh E.I. et al. Development of an improved dose reconstruction system for the Techa River population affected by the operation of the Mayak Production Association. *Radiat. Res.* 2006;166:255–270.
5. Degteva M.O. Calculations of individual dose from environmental exposures on the Techa River and EURT using TRDS-2016 for members of the TRC. Urals Research Center for Radiation Medicine and Pacific Northwest National Laboratory. Final Report for Milestone 13, Part 1. 2017.
6. Напье Б.А., Дегтева М.О., Шагина Н.Б. Анализ неопределенностей в дозиметрической системе реки Теча. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2013;58(1):5–28. [Napier B.A., Degteva M.O., Shagina N.B. Uncertainty analysis for the Techa river dosimetry system. *Medical Radiology and Radiation Safety = Medicinskaja radiologija i radiacionnaja bezopasnost*. 2013;58(1):5–28 (In Russ.).]
7. Дегтева М.О., Шишкина Е.А., Толстых Е.И., Возилова А.В., Шагина Н.Б., Волчкова А.Ю., Иванов Д.В., Залыпин В.И., Аклеев А.В. Использование методов ЭПР и FISH для реконструкции доз у людей, облучившихся на реке Теча. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2017;57(1):30–41. [Degteva M.O., Shishkina E.A., Tolstykh E.I., Vozilova A.V., Shagina N.B., Volchkova A.Y., Ivanov D.V., Zalyapin V.I., Akleyev A.V. Application of the EPR and FISH Methods to Dose Reconstruction for People Exposed in the Techa River Area. *Radiats Biol Radioecology = Radiacionnaja biologija. Radiojokologija*. 2017;57(1):30–41 (In Russ.).]
8. *Clinical Epidemiology: The Essentials* by Fletcher S.W., Fletcher R.H., Fletcher G.S. 2012, Trade Paperback, Revised edition.
9. Москалев Ю.И. Отдаленные последствия ионизирующих излучений. М.: Медицина, 1991. 464 с. [Moskalev Yu.I. Long-term effects of ionizing radiation. Moscow: Medicina, 1991. 464 p. (In Russ.).]
10. Южаков А.М. Основные направления в ликвидации устранимой слепоты в Российской Федерации. Ликвидация устранимой слепоты: Всемирная инициатива ВОЗ. Материалы Российского межрегионального симпозиума. М., 2003. С. 27–31. [Yuzhakov A.M. The main directions in the elimination of avoidable blindness in the Russian Federation. Elimination of avoidable blindness: WHO World Initiative. Moscow, 2003. P. 27–31 (In Russ.).]
11. Venkataswamy G., Lepkowski J.M., Ravilla T., Brilliant G.E., Shanmugham C.A., Vaidyanathan K., Tilden R.L. Rapid epidemiologic assessment of cataract blindness. The Aravind Rapid Epidemiologic Assessment Staff. *Int J Epidemiol.* 1989;18(4 Suppl 2):60–67. DOI: 10.1093/ije/18.supplement\_2.s60
12. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 118. Oxford: Pergamon Press, 2012. 322 p.
13. Ainsbury E.A., Dalke C., Hamada N., Benadjaoud M.A., Chumak V., Ginjaume M., Kok J.L., Mancuso M., Sabatier L., Struelens L., Thariat J., Jourdain J.R. Radiation-induced lens opacities: Epidemiological, clinical and experimental evidence, methodological issues, research gaps and strategy. *Environ Int.* 2021;146:106213. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106213
14. Микрюкова Л.Д., Шалагинов С.А. Исследование офтальмопатологии у лиц, пострадавших в результате радиационных инцидентов на Южном Урале. *Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра)*. 2020;29(4):84–96. [Mikryukova L.D., Shalaginov S.A. Study of ophthalmopathology in persons affected by radiation incidents in the Southern Urals. *Radiation and Risk (Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Register) = Radiazija i risk (Byulleten' Nacional'nogo radiacionno-epidemiologicheskogo registra)*. 2020;29(4):84–96 (In Russ.). DOI: 10.21870/0131-3878-2020-29-4-84-96
15. 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):1193–1204. DOI: 10.1007/s10654-018-0450-4
16. Mikryukova L.D., Akleyev A.V. Cataract in the chronically exposed residents of the Techa riverside villages. *Radiat Environ Biophys.* 2017;56(4):329–335. DOI: 10.1007/s00411-017-0702-9
17. 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. DOI: 10.1097/01.hp.0000175442.03596.63
18. Minamoto A., Taniguchi H., Yoshitani N., Mukai S., Yokoyama T., Kumagami T., Tsuda Y., Mishima H.K., Amemiya T., Nakashima E., Neriishi K., Hida A., Fujiwara S., Suzuki G., Akahoshi M. Cataract in atomic bomb survivors. *Int J Radiat Biol.* 2004;80(5):339–345. DOI: 10.1080/09553000410001680332
19. Worgul B.V., Kundiyev Y.I., Sergiyenko N.M., Chumak V.V., Vitte P.M., Medvedovsky C., Bakhanova E.V., Junk A.K., Kyrychenko O.Y., Musijachenko N.V., Shylo S.A., Vitte O.P., Xu S., Xue X., Shore R.E. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res.* 2007;167(2):233–243. DOI: 10.1667/rr0298.1
20. Little M.P., Cahoon E.K., Kitahara C.M., Simon S.L., Hamada N., Linet M.S. Occupational radiation exposure and excess additive risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists. *Occup Environ Med.* 2020;77(1):1–8. DOI: 10.1136/oemed-2019-105902
21. Report of the sixth meeting of the WHO programmer advisory group on the prevention of blindness. PBL 85.10.WHO, 1985.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ФГБУН «Уральский научно-практический Центр радиационной медицины» Федерального медико-биологического агентства  
Микрюкова Людмила Дмитриевна  
кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник  
ул. Воровского, 68А, Челябинск, 454141, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0000-0002-6269-5114>

## ABOUT THE AUTHOR

Urals Research Center for Radiation Medicine  
Mikryukova Ludmila D.  
PhD, senior research officer  
Vorovskogo str., 68A, Chelyabinsk, 454141, Russian Federation  
<https://orcid.org/0000-0002-6269-5114>