

Связь распространенности заболеваний щитовидной железы с дозой облучения у лиц, переселенных с радиоактивно загрязненных территорий Южного Урала

Е.И. Рабинович¹, С.В. Поволоцкая¹, М.О. Дегтева², Е.И. Толстых²

¹ Южно-Уральский институт биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озерск, Челябинская область, Россия

² Уральский научно-практический центр радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России, Челябинск, Россия

Целью работы является выявление связи между распространенностью тиреопатологии и поглощенной дозой в щитовидной железе от ¹³¹I среди лиц, переселенных в г. Озерск с радиоактивно загрязненных территорий Южного Урала. Источниками для статистического анализа явились электронные базы данных «Щитовидная железа» Южно-Уральского института биофизики, содержащая клинико-лабораторные данные, и «Человек и окружающая среда» Уральского научно-практического центра радиационной медицины, содержащая дозиметрические данные. У 195 человек, переселенных в г. Озерск в разные сроки из сел побережья реки Течи и территории Восточно-Уральского радиоактивного следа, были сопоставлены индивидуальные дозы облучения от всех источников ионизирующего излучения и случаи заболеваний щитовидной железы. Статистический анализ данных проводили с использованием пакета прикладных программ (табличный процессор Excel, Statistica 6.1). Выявлена дозовая зависимость распространенности тиреоидной патологии: частота узловых доброкачественных образований, опасных в плане малигнизации, в щитовидной железе женщин-переселенцев была статистически значимо увеличена в 1,7 раза ($p=0,03$) в интервале тиреоидных доз 1000–1499 мГр и в 2 раза ($p=0,003$) в интервале доз 1500–1999 мГр по сравнению с распространенностью тиреопатологии при дозах до 1000 мГр. В диапазоне тиреоидных доз 1500–1999 мГр была также повышена распространенность всех заболеваний щитовидной железы в 1,5 раза ($p=0,007$). Возрастание распространенности заболеваний щитовидной железы в 1,6 раза ($p=0,02$) относительно необлученных лиц отмечено только для женщин-переселенцев, возраст которых на момент обследования был менее 60 лет. Значительное количество факторов риска, оказывавших влияние на формирование дозы облучения щитовидной железы и развитие тиреопатологии, вызывает необходимость использования многофакторного статистического анализа для оценки вклада каждого из них в развитие патологии щитовидной железы у лиц, проживавших на радиоактивно загрязненных территориях.

Ключевые слова: радиоактивно загрязненные территории, река Теча, Восточно-Уральский радиоактивный след, ¹³¹I, переселенцы, заболевания щитовидной железы.

Введение

Интерес к отдаленным неопухолевым последствиям радиационного воздействия на щитовидную железу (ЩЖ) не исчерпан, несмотря на масштабные исследования последних 30 лет. Распространенность патологии ЩЖ исследовали после внешнего γ -облучения в ходе диагностических и лечебных процедур [1]; у лиц, переживших атомную бомбардировку [2]; подвергшихся воздействию β -излучения ¹³¹I в составе штатных газо-аэрозольных выбросов ядерного центра в Хенфорде (США) [3], Производственного объединения (ПО) «Маяк» [4]; в результате аварии на АЭС в Чернобыле [5]. Наиболее сложным и малоизученным является вопрос о распрос-

траненности тиреопатологии (ТП) у лиц, проживавших на территориях Южного Урала, загрязненных радионуклидами вследствие радиационных инцидентов на ПО «Маяк»: сбросов жидких радиоактивных отходов в реку Течу в 1949–1956 гг. и аварии 1957 г. с образованием Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС).

Население радиоактивно загрязненных территорий (РЗТ) вокруг ПО «Маяк» подверглось комплексному внешнему и внутреннему радиационному воздействию. Потребление воды и местных продуктов питания приводило к внутреннему облучению от радионуклидов, инкорпорированных в органы и ткани. Облучение ЩЖ происходило, главным образом, в результате ¹³¹I-содержащих

Рабинович Евгения Израиловна

Южно-Уральский институт биофизики

Адрес для переписки: 456780, Россия, г.Озерск, Челябинская область, Озерское шоссе, 19; E-mail: rei-06@mail.ru

газо-аэрозольных выбросов ПО «Маяк», которые были особенно велики в начальный период работы предприятия. Выбросы ^{131}I в период 1948–1957 г в среднем превышали 10^{15} Бк/год, при этом максимум приходился на 1949–1951 гг. и составлял 10^{16} Бк/год [6]. Загрязнение реки Течи в 1949–1956 гг. привело к дополнительному облучению ЩЖ жителей прибрежных сел за счет поступления ^{137}Cs с водой и молоком [7]. Основным источником внешнего облучения ЩЖ для жителей РЗТ были почвы, загрязненные гамма-излучающими радионуклидами в результате паводков на реке Тече и радиоактивных выпадений на ВУРС. Сведения об отдаленных эффектах со стороны ЩЖ в связи с проживанием на РЗТ немногочисленны. Снижение минеральной плотности костной ткани было обнаружено у жителей, проживающих на РЗТ Уральского региона, что связывают с влиянием облучения ^{131}I на щитовидную и паращитовидную железы, осуществляющие регуляцию кальция в организме [8]. Обнаружено статистически значимое повышение риска развития одноузлового зоба у лиц, переселенных с РЗТ относительно необлученных лиц [9]. В обеих работах не проводилось сопоставления с дозами облучения.

В Уральском научно-практическом центре радиационной медицины (УНПЦ РМ) в сотрудничестве с зарубежными коллегами была проведена реконструкция индивидуальных поглощенных доз облучения ЩЖ в Уральской когорте аварийно-облученного населения (УКАОН), которая объединяет лиц, подвергшихся хроническому облучению на реке Тече и на ВУРС [6]. Дозы на ЩЖ от ^{131}I были оценены на основании данных по газо-аэрозольным выбросам с 1948 по 1972 гг., предоставленных специалистами ПО «Маяк» в рамках Российско-американского проекта 1,4 [10]. Результаты расчетов показали, что 80% суммарной дозы, накопленной в ЩЖ у членов УКАОН, обусловлено поступлением ^{131}I из газо-аэрозольных выбросов [6]. При этом уровни индивидуальных доз существенно снижались с увеличением расстояния места проживания человека от ПО «Маяк». Также было отмечено, что дозы облучения ЩЖ людей, которые были детьми в период наибольших выбросов, в 3–4 раза выше по сравнению с взрослыми людьми [6].

Цель исследования - выявление связи между распространенностью ТП и дозой облучения ЩЖ среди лиц, переселенных в г. Озерск с радиоактивно загрязненных территорий Южного Урала.

Материалы и методы

Источниками для анализа клиничко-лабораторных и дозиметрических данных явились зарегистрированные в Роспатенте Базы данных (БД) «Щитовидная железа» ЮУриБФ и «Человек и окружающая среда» УНПЦ РМ. Из БД «Щитовидная железа» было отобрано 265 человек, переселенных в разные сроки с РЗТ Южного Урала в г. Озерск (далее – переселенцы). Переселение жителей с побережья реки Течи и территории ВУРС происходило, начиная с 1956 г. и 1957 г. соответственно. Персональные данные

переселенцев были сопоставлены с УКАОН, в результате чего было идентифицировано 195 человек, для которых в БД УНПЦ РМ имеется детальная информация по истории проживания на РЗТ и индивидуальных дозах облучения. Система расчета доз основывалась на разработанных коллегами из США моделях переноса йода в окружающей среде и его перехода по пищевым цепочкам [11, 12]. Расчет доз облучения ЩЖ от поступивших в организм радионуклидов проводился с использованием зависящих от возраста человека дозовых коэффициентов из Публикации 67 МКРЗ [13]. Также учитывали дозу облучения ЩЖ, полученную в период внутриутробного развития, для этой цели использовались коэффициенты из Публикации 88 МКРЗ [14]. Индивидуальные дозы, полученные за счет проживания на реке Тече и территории ВУРС, рассчитывались по дозиметрической системе TRDS-2016, разработанной в УНПЦ РМ [15]. Для статистического анализа были использованы результаты тиреоидного обследования идентифицированных лиц, содержащиеся в БД «Щитовидная железа» ЮУриБФ. Скрининг ТП проводился в 2013–2014 гг. согласно Методическим рекомендациям¹, формализованный протокол которых включал физикальные, лабораторные и инструментальные исследования с последующей постановкой клинического диагноза. Идентификацию нозологических форм тиреоидной патологии проводили согласно МКБ-9. Для выявления зависимости распространенности ТП от возраста были привлечены имеющиеся в БД результаты обследования группы необлученных лиц, состоящей из 55 индивидуумов, приехавших в г. Озерск в возрасте старше 15 лет из местностей, не загрязненных радионуклидами. Статистический анализ данных проводили с использованием пакета прикладных программ (табличный процессор Excel, Statistica 6.1). Описательная статистика включала среднее арифметическое значение (M), ошибку средней величины (m). Для сравнения количественных показателей использовали t -критерий Стьюдента. Дисперсионный анализ проводили с использованием t -критерия Стьюдента и теста Альтхам [16] при уровне значимости $p < 0,05$. Анализ статистической значимости факторов риска выполняли при помощи вычисления отношения шансов (ОШ) и доверительного интервала (ДИ) [17]. Различия считали достоверными при уровне значимости соответствующего статистического критерия $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

В состав анализируемой группы переселенцев (195 человек) входили 43 человека, облученных в прибрежных селах реки Течи (22%), 108 человек с территории ВУРС (55,4%) и 44 человека (22,6%), облученных и на Тече, и на ВУРС. Для анализа последние из перечисленных были присоединены к подгруппам в зависимости от населенного пункта первоначальной радиационной воздействия. Таким образом, численность группы, проживавшей на побережье реки Течи составила 84 (43%), на территории ВУРС – 111 (57%) человек (табл. 1). Более 70% переселенных лиц проживали на расстоянии от 7 до 20 км от ПО «Маяк». Все переселенцы к моменту начала газо-аэрозольных ^{131}I -содержащих выбро-

¹ МР 12.06-04. Организация целевого обследования щитовидной железы после техногенного облучения в детском возрасте. – М.: ФМБА России. 2004. 31 с [MU 12.06-04. Organization of targeted examination of the thyroid gland after technogenic exposure in childhood. Moscow: FMBA of Russia; 2004. 31 p. (In Russ.)]

сов были в возрасте, не превышающем 10 лет. Соотношение женщины/мужчины в группе составило 2,8:1 (144 женщины и 51 мужчина). Этнический состав представлен славянами (русские и украинцы – 59,5%) и тюрками (башкиры и татары – 40,5%). На момент обследования средний возраст составлял 62±0,4 лет, при этом 35% составляли лица в возрасте от 50 до 60 лет, 65% – в возрасте старше 60 лет. В процессе клинико-лабораторного скрининга было выявлено 115 индивидуумов с ТП (59%), из них 99 женщин и 16 мужчин. Всего было диагностировано 122 заболевания, среди них диффузные (неузловые) формы (диффузный зоб, аутоиммунный тиреоидит) и узловые формы (узловой/многоузловой зоб, рак щитовидной железы). Почти в 69% случаев заболевания были обнаружены впервые. В структуре ТП доминирующее место занимали узловые зобы. Оба случая рака ЩЖ (2,4%), выявленные до скрининга, были диагностированы в подгруппе женщин, переселенных с побережья реки Течи. Найденные половые различия в распространенности заболеваний ЩЖ в группе (66,7%

среди женщин и 31,4% среди мужчин) являются известным фактом [9]. Ввиду малой численности группы мужчин и низкой частоты в ней заболеваний ЩЖ анализ связи между дозой облучения ЩЖ и развитием ТП проводили только среди женщин.

Средняя накопленная доза облучения ЩЖ по группе составила 1140 мГр. Различия между мужчинами и женщинами по уровню дозовой нагрузки на ЩЖ были незначительными (табл. 1). Дозы у переселенцев, чей возраст на момент скрининга не превышал 60 лет, были наименьшими (290 мГр). У переселенцев, достигших 60 лет и более, дозы были в 4–6 раз выше. При проживании на побережье реки Течи сформировалась в 2 раза большая доза облучения по сравнению с проживанием на территории ВУРС.

У большей части переселенцев (61%) дозы облучения ЩЖ относились к области «малых» (10–99 мГр) и «средних» (100–1000 мГр) доз (табл. 2) [18]. Высокие дозы (от 1000 мГр и выше) получили около 39% переселенцев.

Таблица 1
Накопленные дозы облучения ЩЖ переселенцев (мГр) в зависимости от некоторых факторов риска развития ТП
[Table 1]

Thyroid doses (mGy) accumulated by relocated individuals in relation to some risk factors of thyroid pathology				
Параметры [Parameters]	Группы [Groups]	n	%	Накопленная доза на ЩЖ [Thyroid accumulated dose] M ± m
Пол [Sex]				
Мужчины [Male]		51	26,2	1070±240
Женщины [Female]		144	73,8	1180±110
Возраст на дату обследования, лет [Age of examination, years]				
70–77,0	1	24	12,3	1180±200*
60–69,9	2	103	58,2	1700±170 ^x
50–59,9	3	68	34,9	290±40
Место проживания до переселения в г. Озерск [Place of residence prior to relocation into Ozyorsk]				
Побережье реки Течи [Techa riverside]		84	43,0	1620±200 [▼]
Территория ВУРС [EURT territory]		111	57,0	790±80

Статистически значимые различия между группами: * – 1 и 3, ^x – 2 и 3, [■] – 1 и 2, [▼] – между местами проживания (p<0,05).
[The statistically significant differences between the groups: * – 1 vs 3, ^x – 2 vs 3, [■] – 1 vs 2, [▼] – Techa riverside vs EURT territory (p<0.05)]

Таблица 2
Распределение переселенцев по интервалам доз радиационного воздействия (мГр) на ЩЖ
[Table 2]

Distribution of relocated individuals by the intervals of thyroid doses (mGy)			
Интервалы тиреоидных доз [The intervals of thyroid doses]	Средняя доза [Average dose] (M±m)	Общее число человек [Total number of persons]	Доля [Proportion] %
10–99	50±3	39	20,0
100–499	240±20	42	21,5
500–999	730±20	38	19,5
1000–1999	1390± 40	45	23,1
2000–3999	2920±110	21	10,8
4000–7070	5420±580	10	5,1
10–7070	1140±100	195	100

Как видно из таблицы 3, средние дозы в группах лиц, родившихся до начала больших выбросов ¹³¹I или в самом их начале (1940–1951 гг.), составляли от 710 до 3030 мГр, при этом максимальные дозы наблюдались для лиц 1947–1948 гг. рождения, что согласуется с динамикой атмосферных выбросов ¹³¹I ПО «Маяк» [6,19]. В группе людей 1952–1960 гг. рождения дозы облучения ЩЖ варьировали от 30 до 590 мГр, это определялось более низкими уровнями поступления ¹³¹I.

Следует отметить, что вариабельность средне-групповых значений доз объясняется различиями в расстоянии мест проживания конкретных людей от источника выбросов и в длительности проживания на РЗТ. Для формирования дозы в ЩЖ существенное значение имеет возраст на момент облучения, причем накопление радиоактивного йода имеет обратную связь с возрастом ребенка [20, 21]. Объем ЩЖ у новорожденных чрезвычайно мал, по разным данным от 0,4 см³ до 1,3 см³, после рождения постепенно увеличивается, составляя к 15 годам 9–11 см³ [22,23]. Повышенная радиочувствительность ЩЖ в детстве обусловлена интенсивной функциональной активностью железы и высокой потребностью в йоде для синтеза тиреоидных гормонов. Онтогенетическими периодами наиболее интенсивной концентрации ¹³¹I в ЩЖ являются внутриутробный, «молочный» (от рождения до 3 лет) и пубертатные периоды, в которых поглощенная доза в ЩЖ ребенка может во много раз превосходить значения, наблюдаемые у взрослого человека [20]. Соответственно этому, для детского возраста дозовые коэффициенты на единицу поступления ¹³¹I имеют максимальные значения [13].

Нам представляется, что на кривой зависимости дозы от года рождения женщин, представленной на рисунке 1, можно выделить 3 кластера, отличающихся по ряду характеристик. Так, первый кластер объединяет женщин (n=31), рожденных в 1940–1945 гг. еще до выбросов ¹³¹I, к началу облучения их возраст составил от 3 до 9 лет; объем ЩЖ – примерно 1/6 от объема ЩЖ взрослого человека (табл. 4). Второй кластер включает 59 женщин 1946–1951 гг. рождения, формирование дозы у которых начиналось в «молочном» периоде детства (до 3 лет);

объем ЩЖ у детей этого возраста был критически мал, а накопленные дозы облучения – максимально высокими, 35,6% женщин имели дозы свыше 2000 мГр, в то время как среди женщин первого временного кластера такими дозами характеризовалось только 16% индивидуумов.

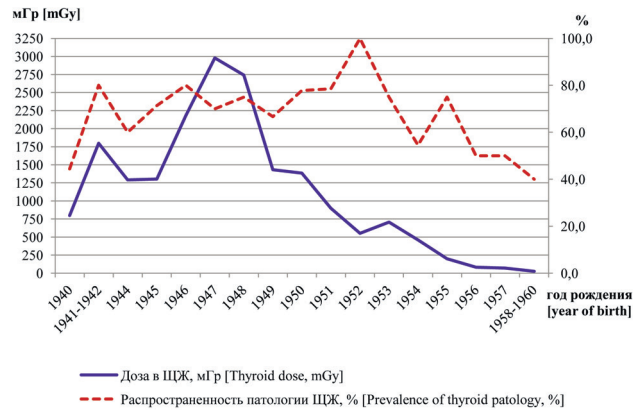


Рис. 1. Зависимость накопленных средних доз в ЩЖ (мГр) и распространенности тиреопатологии (%) от года рождения у переселенных женщин

[Fig. 1. The dependence of average thyroid doses and the prevalence of thyroid pathology on the year of birth in relocated females]

Третий кластер представлен 54 женщинами 1952–1960 гг. рождения (см. табл. 4, рис. 1). Несмотря на то, что облучение на начальном этапе у этих женщин приходилось также на период новорожденности и младенчества, ни у одной из них ЩЖ не была облучена в дозе выше 1500 мГр, средняя тиреоидная доза была почти в 3 раза ниже 1000 мГр. Это отражает падение радиационной нагрузки, обусловленное улучшением радиационной обстановки в зоне влияния ПО «Маяк»: к 1958 г. выбросы снизились в 1000 раз [6], существенно уменьшились дозы облучения от радионуклидов в населенных пунктах по реке Тече, увеличились темпы переселения жителей на незагрязненные

Таблица 3

Накопленные средние дозы радиационного воздействия на ЩЖ обследованных переселенцев (195 чел.) в зависимости от года рождения

[Table 3

Accumulated average thyroid doses (mGy) in examined relocated individuals (n=195) by the year of birth]

Год рождения [Year of birth]	Число лиц [Number of persons]	Доза в ЩЖ [Thyroid dose] M ± m	Год рождения [Year of birth]	Число лиц [Number of persons]	Доза в ЩЖ [Thyroid dose] M ± m
1940	10	730 ± 180	1950	11	1330 ± 350
1941	9	2000 ± 340	1951	18	860 ± 150
1942	5	830 ± 360	1952	16	420 ± 150
1943	2	710 ± 310	1953	9	590 ± 55
1944	5	1290 ± 350	1954	17	490 ± 80
1945	10	1750 ± 510	1955	15	180 ± 40
1946	5	2180 ± 900	1956	9	80 ± 20
1947	13	2930 ± 620	1957	5	65 ± 20
1948	16	3030 ± 550	1958–60	7	30 ± 5
1949	13	1310 ± 240	1940–1960	195	1140 ± 100

Некоторые характеристики группы женщин-переселенцев (n=144)

[Table 4

Some characteristics of relocated females (n=144)]

Год рождения [Year of birth]	Число женщин-переселенцев [Number of relocated females]	К началу воздействия ¹³¹ I [By the beginning of ¹³¹ I exposure]		Возраст на дату обследования, лет [Age of examination, year], M±m	Средняя доза в ЩЖ, мГр [Average thyroid dose, mGy], M±m
		Возраст *, лет [Age*, year], M±m	Объем ЩЖ*, см ³ [Thyroid volume*, cm ³]		
1940	9	9±0,1	3,70	72±0,1	800±180
1941	7	8±0,1	3,70	71±0,1	2090±400
1942	3	7±0,2	3,34	71±0,6	1120±530
1944	5	5±0,1	2,20	68±0,2	1290±350
1945	7	4±0,1	1,56	67±0,1	1300±320
1940–1945	31	7±0,4	1,56–3,70	70±0,4	1320±160
1946	5	3±0,1	1,47	66±0,2	2180±900
1947	10	2±0,1	1,13	65±0,2	2980±630
1948	12	1±0,1		64±0,2	2740±475
1949	9	0		63±0,1	1430±330
1950	9	0		62±0,2	1390±430
1951	14	0		61±0,1	900±180
1946–1951	59	1±0,1		63±0,2	1890±210
1952	10	0		60±0,2	550±230
1953	4	0		59±0,3	710±250
1954	11	0		58±0,2	460±110
1955	12	0	1,0 и менее	57±0,2	200±50
1956	8	0		57±0,3	80±20
1957	4	0		56±0,3	70±20
1958–1960	5	0		54±0,4	30±6
1952–1960	54	0		58±0,2	310±60

*лицам, родившимся в 1949 г. или позже, присваивали «нулевой» возраст [*persons born in 1949 or later were assigned a «zero» age]

▼ – предполагаемый объем ЩЖ в соответствии с возрастом, согласно [23] [▼ – the assumed thyroid volume according to age, by [23]

территории. Авария 1957 г. на ПО «Маяк» не привнесла существенного вклада в кумулятивную дозу облучения ЩЖ (см. табл. 4).

Распространенность ТП среди женщин 1-го и 2-го кластеров (1940–1945 гг. и 1946–1951 гг. рождения, рис. 1) составляла от 64,5% до 72,9% и была близка к значениям ТП для одновозрастного контроля (табл. 5). Следует отметить, что средний возраст на момент обследования женщин данных временных отрезков составил от 63 до 70 лет. Как известно, с увеличением возраста изменяется тиреоидный гормональный баланс, увеличивается распространенность «нетиреоидных» заболеваний, в связи с чем частота и выраженность патологии ЩЖ повышается [24]. В 3-м кластере (женщины 1952–1960 гг. рождения, возраст обследования менее 60 лет) распространенность ТП была на уровне 67% (см. табл. 5). Однако, в отличие от первых 2 кластеров, для женщин 3 кластера этот уровень в 1,6 раза статистически значимо превышал возрастные значения частоты заболеваний ЩЖ у необлученных лиц (p=0,02), ОШ – 2,65 при 95% ДИ 1,04–6,9 (см. табл. 5), при этом средняя доза облучения ЩЖ была существенно

ниже (310мГр). В литературе, касающейся изучения последствий аварии на Чернобыльской АЭС, обсуждаются вопросы относительно пороговой дозы радиационно-индуцированных эффектов в ЩЖ [25]. Отмечают, что к особенностям микрораспределения ¹³¹I относится концентрирование радиоизотопа лишь в функционирующих фолликулах ЩЖ [26]. Доля йодаккумулирующих фолликулов, согласно имеющимся сведениям, «составляет порядка 5% от их общего числа» [цит. по: 25, С.437]. По мнению авторов, это обстоятельство может приводить к неравномерности интратиреоидного распределения поглощенной дозы и служить до некоторой степени объяснением отсутствия корреляции между дозами облучения и развитием некоторых неканцерогенных заболеваний ЩЖ [25, 26].

Результаты, полученные при объединении переселенцев по годам рождения, отчетливо свидетельствуют о неоднородности групп по дозе облучения. Так, в 14 из 18 групп, сформированных по годам рождения, доля лиц с дозами выше 1000 мГр варьировала от 9 до 100%, а в остальных группах составила 0%. Это было обусловлено разли-

Распространенность ТП в зависимости от возраста переселенных женщин при обследовании

Таблица 5

Prevalence of thyroid pathology in relocated females on the examination age]

[Table 5

Группы [Groups]	Возраст при обследовании, лет [The examination age, years]	Общее число женщин [Total number of persons]	Все случаи ТП [All thyroid pathology cases]			
			n	%	P*	ОШ (95% ДИ) [OR (95% CI)]
Необлученные лица [unexposed persons]		29	19	65,5		
Переселенцы [relocated persons] 1940–1945 г.р. [b.y.]	≥ 60	31	20	64,5	0,46	0,96 (0,34–2,7)
Переселенцы [relocated per- sons] 1946–1951 г.р. [b.y.]		59	43	72,9	0,23	1,42 (0,55–3,2)
Необлученные лица [unexposed persons]		26	11	42,3		
Переселенцы [relocated persons] 1952–1960 г.р. [b.y.]	< 60	54	36	66,7	0,02	2,65 (1,04–6,9)

*Оценка различий проведена между переселенцами и необлученными лицами соответствующего возраста [The differences assessment was carried out between relocated persons and unexposed persons of appropriate age].

чиями в мощности облучения, маршруте передвижения, длительности проживания, в характере жизнедеятельности переселенцев. В связи с этим была предпринята группировка по величине тиреоидной дозы (табл. 6). Обращает на себя внимание, что в дозовой группе 1000–1499 мГр по сравнению с группой до 1000 мГр статистически значимо увеличена частота узловых форм ТП, наиболее опасных в плане малигнизации (в 1,7 раз, $p=0,03$). При еще большем увеличении дозы облучения (1500–1999 мГр) показатель распространенности узловых форм повышался с большей степенью статистической значимости (в 2 раза, $p=0,003$), при этом наблюдалось также учащение ТП в целом (в 1,5 раза, $p=0,007$). Дальнейшее возрастание дозы облучения до 2000 мГр и выше не сопровождалось повышением распространенности заболеваний ЩЖ (см. табл. 6).

Еще до проведения скрининга у 57 женщин (39%), переселенных с загрязненных территорий, ТП была диагностирована при обращении в медицинское учреждение. Среди них в подгруппе с тиреоидной дозой

1000 мГр и более доля женщин с ТП в анамнезе была в 1,7 раза выше (31 из 61 женщины), чем таковая в подгруппе с дозой 1000 мГр (26 из 83 женщин), различия статистически значимы, $p=0,006$. В отличие от скрининга (активного выявления патологии среди популяции), в клинической практике диагностика заболеваний происходит после обращения пациента за медицинской помощью. Среди жалоб, которые приводят пациента к специалисту, могут быть симптомы гипо- или гипертиреоза, диффузное увеличение ЩЖ, сдавление узлом окружающих тканей, сердечно-сосудистые и неврологические заболевания, а также многие другие состояния. Можно думать, что высокие дозы облучения ЩЖ вызвали не только учащение, но и более раннюю манифестацию тиреопатологии. Этот вопрос требует дальнейшего углубленного изучения.

Стратификация по дозовому уровню не исключила неоднородность по некоторым другим параметрам. Практически во всех дозовых интервалах наблюдалась вариабельность по возрасту, достигнутому на момент об-

Распределение случаев ТП среди женщин-переселенцев по интервалам тиреоидных доз

Таблица 6

Distribution of thyroid pathology cases among relocated female by intervals of thyroid doses]

[Table 6

Интервалы тиреоидных доз, мГр [Interval of thyroid doses, mGy]	Число лиц [Number of persons]	Случаи с заболеваниями ЩЖ [Thyroid pathology cases]								
		Все случаи [All cases]			Узловые формы [Thyroid nodular diseases]			Неузловые формы [Nonnodular thyroid diseases]		
		n	%	P*	n	%	P*	n	%	P*
10–999	83	51	61,4		27	32,5		24	28,9	
1000–1499	20	15	75,0	0,14	11	55,0	0,03	4	20,0	0,24
1500–1999	15	14	93,3	0,007	10	66,7	0,003	4	26,7	0,47
≥2000	26	19	73,1	0,15	13	50,0	0,06	6	23,1	0,18

*Различия оценены по сравнению с дозовой группой 10-999 мГр

*[Differences are estimated by comparison with the dose group “10–999” mGy]

следования. Чтобы при статистической обработке нивелировать влияние возраста на реализацию ТП, женщины по возрасту на момент обследования были разделены на две группы: «до 60 лет» (49 человек) и «60 лет и старше» (95 чел). При такой группировке зависимость распространенности тиреоидных отклонений от дозы облучения четко выявилась в старшей возрастной группе (табл. 7). В подгруппе со средней дозой 1450 мГр риск развития ТП был статистически значимо выше, чем среди женщин, облученных в средней дозе 500 мГр: ОШ для всех тиреоидных отклонений составило 3,1 (95% ДИ 1,1–10,1), для узловых форм – 2,9 (95% ДИ 1,1–7,8). Возрастание средне-групповой дозы облучения ЩЖ еще в 2,5 раза (до 3530 мГр) не приводило к увеличению распространенности всех тиреоидных отклонений, однако частота узловых форм оставалась повышенной по сравнению с лицами, облученными в дозах ниже 1000 мГр ($p=0,04$). В младшей возрастной группе («до 60 лет») прослеживалась подобная тенденция: в дозовой подгруппе 1000 мГр и более частота узловых форм была в 2,2 раза выше, однако различия были статистически незначимы ($p=0,057$), скорее всего, из-за малочисленности подгруппы.

Полученные нами данные согласуются с имеющимися в литературе сведениями о росте частоты радиационно-индуцированной доброкачественной тиреоидной патологии в широком диапазоне доз при различных видах и сценариях облучения [1, 2, 4, 5]. Ранее было показано, что распространенность одноузловой зоба у женщин г. Озерска после облучения в раннем детстве от высоких ^{131}I -содержащих выбросов ПО «Маяк» статистически значимо превышала таковую у необлученных лиц (ОШ=1,5, 95% ДИ 1,1;2,04), в то время как у лиц, родившихся в период существенного снижения выбросов ^{131}I , частота узлового солитарного зоба уменьшилась до контрольных значений [27]. Обращает на себя внимание, что возрастание уровня радиационного воздействия более 2000 мГр не сопровождалось увеличением распространенности неканцерогенной ТП (см. табл. 7). Аналогичные ситуации наблюдаются при анализе зависимости некоторых

других радиобиологических эффектов от радиационной дозы. Так, например, связь частоты доброкачественных новообразований в ЩЖ с дозой облучения прослеживается в диапазоне малых и средних доз и теряется после облучения в дозе 5 Гр [28] Подобный феномен при нарастании дозы облучения отмечен для частоты некоторых видов злокачественных новообразований других органов, в частности, легких [29].

Заключение

В работе приведены результаты анализа связи распространенности отдаленной тиреоидной патологии с индивидуальными дозами на ЩЖ у лиц, переселенных в г. Озерск с прибрежных сел реки Течи и территории ВУРС и подвергшихся в детстве преимущественному воздействию ^{131}I от выбросов ПО «Маяк». Выявлена дозовая зависимость распространенности тиреоидной патологии. Так, частота узловых доброкачественных образований, опасных в плане малигнизации, в ЩЖ женщин-переселенцев была статистически значимо увеличена в 1,7 раза ($p=0,03$) в интервале тиреоидных доз 1000–1499 мГр и в 2 раза ($p=0,003$) в интервале доз 1500–1999 мГр по сравнению с распространенностью ТП при дозах до 1000 мГр. В диапазоне тиреоидных доз 1500–1999 мГр была повышена также распространенность всех заболеваний ЩЖ (в 1,5 раза, $p=0,007$). Дальнейшее увеличение дозы облучения ЩЖ не приводило к возрастанию частоты тиреопатологии. Относительно необлученных лиц более высокая распространенность заболеваний ЩЖ (в 1,6 раза, $p=0,02$) отмечена только для женщин-переселенцев, возраст которых на момент скрининга был менее 60 лет.

Полученные данные носят предварительный характер; для установления четкой зависимости доза – эффект необходимо расширение выборки для исследования. Значительное количество факторов риска, оказывавших влияние на формирование дозы облучения ЩЖ и развитие тиреопатологии, вызывает необходимость использования многофакторного статистического анализа для оценки вклада каждого из них в развитие заболеваний

Таблица 7
Распространенность ТП у женщин-переселенцев (возраст на момент обследования 60 лет и более) при различных дозах облучения

[Table 7]

Thyroid pathology cases prevalence in relocated female (examination age 60 years and more) at different exposure doses]

Параметры [Parameters]	Дозовые подгруппы [Dose subgroups]		
Тиреоидные дозы, мГр, М±m (min-max) [Thyroid dose, mGy]	500±50 (10-999)	1450±40 (1000-1999)	3530±240 (≥2000)
Возрастной диапазон, лет [Age range, years]	60,0-72,2	60,3-71,9	60,5-71,6
Общее число человек [Total number of persons]	38	31	26
Число случаев с ТП, (%) [Thyroid pathology cases]	23 (60,5)	26* (83,9)	19 (73,1)
Число случаев с узловыми формами ТП, (%) [Cases of thyroid nodular pathology]	12 (31,6)	18* (58,1)	14* (53,8)

* – статистически значимые различия с дозовой подгруппой 10–999 мГр ($p<0.05$)

[* – statistically significant differences with dose subgroup 10–999 mGy]

ЩЖ у лиц, проживавших в детстве на радиоактивно загрязненных территориях.

Литература

- Ron E., Brenner A. Non-malignant Thyroid diseases after a wide range of radiation exposures // *Radiation Research*. 2010. Vol. 174. P. 877–888. DOI: 10.1667/RR1953.1.
- Imaizumi M., Ohishi W., Nakashima E., et al. Association of Radiation Dose with Prevalence of Thyroid Nodules among Atomic Bomb Survivors Exposed in Childhood (2007–2011) // *JAMA Internal Medicine*. 2015. Vol. 175, No. 2. P. 228–236.
- Davis S., Kopecky K., Hamilton T., Onstad L. Thyroid neoplasia, autoimmune thyroiditis and hypothyroidism in person exposed to iodine 131 from the Hanford Nuclear Site // *JAMA*. 2004. Vol. 292, No. 21. P. 2600–2613.
- Mushkacheva G., Rabinovich E., Privalov V., et al. Thyroid abnormalities associated with protracted childhood exposure to 131I from atmospheric emissions from the Mayak weapons facility in Russia // *Radiation Research*. 2006. Vol. 166. P. 715–722.
- Рожко А.В. Зависимость роста тиреоидной патологии от полученной дозы облучения детей и подростков, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2010. № 1. С. 49–53.
- Eslinger P.W., Degteva M.O., Napier B.A., et al. Individual doses for super cohort members exposed to atmospheric radioiodine from the Mayak releases with an emphasis on prenatal doses // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020. Vol. 217. P. 106219. DOI:10.1016/j.jenvrad.2020.106219.
- Tolstykh E.I., Degteva M.O., Peremyslova L.M., et al. Reconstruction of long-lived radionuclide intakes for Techa riverside residents: 137Cs // *Health Physics*. 2013. Vol. 104, No. 5. P. 481–498.
- Толстых Е.И., Шагина Н.Б., Перемыслова Л.М., Дегтева М.О. Минеральная плотность костной ткани у жителей радиоактивно загрязненных территорий Челябинской области // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2010. Т. 50, № 4. С. 481–491.
- Рабинович Е.И., Поволоцкая С.В., Обеснюк В.Ф., и др. Тиреоидная патология в отдаленные сроки после аварийного радиационного воздействия // *Анализ риска здоровью*. 2018. № 2. С. 52–59. DOI:10.21668/health.risk/2018.2.06.
- Mokrov Y.G., Lyzhkov A.V., Muzrukov V.A., et al. Milestone 7: Reconstruction of Atmospheric Releases of I-131 from Mayak Radiochemical Plant Stacks for the Period from 1948 to 1970, Part 2: Results of the Reconstruction of 131I Releases from the Stacks of the Reactors and Radiochemical Plants. US-Russian Joint Coordinating Committee on Radiation Effects Research Project 1.4. 2008. Ozersk, Russia.
- Miley T.B., Eslinger P.W., Nichols W.E., et al. User Instructions for the DESCARTES Environmental Accumulation Code. Battelle, Pacific Northwest Laboratories: Richland, Washington; 1994. DOI:10.2172/10154088.
- Snyder S.F., Farris W.T., Napier B.A., et al. Parameters Used in the Environmental Pathway and Radiological Dose Modules (DESCARTES, CIDER and CRD Codes) of the Hanford Environmental Dose Reconstruction Integrated Codes (HEDRIC). Battelle, Pacific Northwest Laboratories: Richland, Washington; 1994. DOI:10.2172/10158073.
- Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67 // *Ann. ICRP*. 1993. 23 (3–4)
- Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother, ICRP Publication 88. 2002. Corrected Version, May 2002.
- Degteva M.O., Napier B.A., Tolstykh E.I., et al. Enhancements in the Techa River Dosimetry System: TRDS-2016D code for reconstruction of deterministic estimates of dose from environmental exposures // *Health Physics*. 2019. Vol. 117, No. 4. P. 378–387.
- Altham P. Exact Bayesian analysis of 2x2 contingency table and Fisher's exact significance test. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. 1969. Vol. 31, No. 2. P. 261–269. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1969.tb00786.
- Альбом А., Норелл С. Введение в эпидемиологию. Пер. с англ. И. Боня. Таллинн: АО РНЕ, 1996. 122 с.
- 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. №2. С. 5–21.
- Хохряков В.В., Дрожко Е.Г. Дозы облучения населения г. Озерска, сложившиеся в результате выбросов в атмосферу йода-131. Опыт ретроспективного восстановления // *Вопросы радиационной безопасности*. 2001. № 1. С. 57–66.
- Касаткина Э.П., Шилин Д.Е. Радиационная патология щитовидной железы у детей и подростков. Лекция 1. Эффект малых доз облучения и концепция риска отдаленных последствий Чернобыльской катастрофы // *Проблемы эндокринологии*. 1977. Т. 43, № 4. С. 24–29. DOI:10.14341/probl1977434324-29.
- Звонова И.А., Балонов М.И., Братилова А.А., и др. Дозы облучения щитовидной железы у населения России вследствие выпадений радиоактивного йода после аварии на Чернобыльской АЭС // *Атомная энергия*. 2004. Т. 96, вып. 4. С. 310–316
- Бережанская С.Б., Малиненко З.И. Зависимость объема щитовидной железы от антропометрических данных у детей раннего возраста // *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2013. № 5. С. 87–91.
- Aydiner O., Aydiner E.K., Akpinar I., et al. Normative data of thyroid volume-ultrasonographic evaluation of 422 subjects aged 0-55 years // *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology*. 2015. Vol. 7, No. 2. P. 98–101. DOI:10.4274/jcrpe.1818.
- Петунина Н.А. Особенности диагностики и лечения заболеваний щитовидной железы у пожилых пациентов // *Проблемы эндокринологии*. 2008, Т. 54, № 3, С. 36–42. DOI: 10.14341/probl200854336-42.
- Маленченко А.Ф., Василенко И.Я., Василенко О.И. Обмен йода и течение патологических процессов в щитовидной железе у людей в регионах зобной эндемии при поражении радиойодом // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2007. Т. 47, № 4. С. 435–443.
- Кеирим-Маркус И.Б., Пантелькин В.П. Радиойод; воздействие на здоровье населения в чрезвычайных ситуациях // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2003. Т. 48, № 5. С. 12–14.
- Рабинович Е.И. Неканцерогенная патология щитовидной железы у жителей г. Озерска, проживавших в раннем детстве в зоне влияния ионизирующей радиации // *Источники и эффекты облучения работников ПО «Маяк» и населения, проживающего в зоне влияния предприятия. Челябинск: Челябинский Дом печати, 2010. Т. 2. С. 101–124.*
- Shore R.E., Hildreth N., Dvoretzky P., et al. Benign thyroid adenomas among persons X-irradiated in infancy for enlarged thymus glands // *Radiation Research*. 1993. Vol. 134. P. 217–223.
- Булдаков Л.А., Калистратова В.С. Радиационное воздействие на организм – положительные эффекты. М.: Информ. Атом, 2005. С. 246.

Поступила: 16.11.2021 г.

Рабинович Евгения Израиловна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией радиационной биохимии Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России. **Адрес для переписки:** 456780, Россия, г. Озерск, Челябинская область, Озерское шоссе, 19; E-mail: rei-06@mail.ru

Поволоцкая Светлана Викторовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории радиационной биохимии Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озерск, Россия

Дегтева Марина Олеговна – кандидат технических наук, заведующая биофизической лабораторией Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России, Челябинск, Россия

Толстых Евгения Игоревна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник биофизической лаборатории Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России, Челябинск, Россия

Для цитирования: Рабинович Е.И., Поволоцкая С.В., Дегтева М.О., Толстых Е.И. Связь распространенности заболеваний щитовидной железы с дозой облучения у лиц, переселенных с радиоактивно загрязненных территорий Южного Урала // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 1. С. 36-46. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-36-46

Relation between the thyroid diseases prevalence and doses of radiation exposure in the individuals relocated from radioactively contaminated areas in South Urals

Evgeniya I. Rabinovich¹, Svetlana V. Povolotskaya¹, Marina O. Degteva², Evgenia I. Tolstykh²

¹ Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Chelyabinsk region, Russia

² Urals Scientific and Practical Center of Radiation Medicine of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

The objective of this work was to reveal the relations between thyroid pathology prevalence and absorbed thyroid radiation dose from ¹³¹I in the individuals relocated into Ozyorsk from the radioactively contaminated areas of South Urals. The sources of data for statistical analysis were the electronic database “Thyroid” containing clinical and laboratory data, and electronic database “The man and the environment” containing dosimetry information on irradiated individuals. Thyroid diseases and individual thyroid doses from all sources of ionizing radiation were collate for 195 persons relocated into Ozyorsk from the villages of the Techa riverside and of the territory of the East Ural Radioactive Trace. Statistical analysis of the data was performed using a software package (Excel, Statistica 6.1). The prevalence of thyroid nodules increased in relocated female statistically significantly 1.7 times ($p=0.03$) in the range of thyroid doses of 1000–1499 mGy and 2 times ($p=0.003$) in the range of doses of 1500–1999 mGy compared to this parameter at the doses below 1000 mGy. The prevalence of all thyroid abnormalities has been increased 1.5 times ($p=0.007$) in the range of thyroid doses of 1500–1999 mGy. An increased prevalence of thyroid diseases by 1.6 times ($p=0.02$) relative to non-irradiated persons was noted for relocated female whose age at the time of the medical examination was less than 60 years only. A significant number of risk factors requires the use the multivariate statistical analysis to assess their contribution for the development of thyroid pathology in the individuals residing in childhood in radioactively contaminated areas.

Key words: radioactively contaminated areas, Techa river, East Urals Radioactive Trace, ¹³¹I, relocated persons, thyroid diseases.

Evgeniya I. Rabinovich

Southern Urals Biophysics Institute

Address for correspondence: 456780, Russia, Ozyorsk, Chelyabinskaja oblast, Ozyorskoe shosse, 19; E-mail: rei-06@mail.ru

References

- Ron E, Brenner A. Non-malignant thyroid diseases after a wide range of radiation exposures. *Radiation Research*. 2010;174: 877–888. DOI: 10.1667/RR1953.1.
- Imaizumi M, Ohishi W, Nakashima E, Sera N, Neriishi K, Yamada M, et al. Association of radiation dose with prevalence of thyroid nodules among atomic bomb survivors exposed in childhood (2007–2011). *JAMA Internal Medicine*. 2015;175(2): 228–236.
- Davis S, Kopecky K, Hamilton T, Onstad L. Thyroid neoplasia, autoimmune thyroiditis and hypothyroidism in person exposed to iodine 131 from the Hanford Nuclear Site. *JAMA*. 2004;292(21): 2600–2613.
- Mushkacheva G, Rabinovich E, Privalov V, Povolotskaya S, Shorokhova V, Sokolova S, et al. Thyroid abnormalities associated with protracted childhood exposure to 131I from atmospheric emissions from the Mayak weapons facility in Russia. *Radiation Research*. 2006;166: 715–722.
- Rozhko A. Relation of thyroid pathology increase to received exposure dose among children and adolescents affected as a result of the Chernobyl Accident. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh = Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2010;1: 49–53. (In Russian).
- Eslinger PW, Degteva MO, Napier BA, Tolstykh EI, Tokareva EE. Individual doses for super cohort members exposed to atmospheric radioiodine from the Mayak releases with an emphasis on prenatal doses. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020;217: 106219. DOI:10.1016/j.jenvrad.2020.106219.
- Tolstykh EI, Degteva MO, Peremyslova LM, Shagina NB, Vorobiova MI, Anspaugh LR, et al. Reconstruction of long-lived radionuclide intakes for Techa riverside residents: ¹³⁷Cs. *Health Physics*. 2013;104(5): 481–498.
- Tolstykh EI, Shagina NB, Peremyslova LM, Degteva MO. Bone mineral density in residents lived on radioactive territories Chelyabinsk Region. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 2010;50(4): 481–491. (In Russian).
- Rabinovich EI, Povolotskaya SV, Obesnyuk VF, Privalov VA, Ryzhova EF, Vasina MA. Thyroid pathology as late radiation effect caused by exposure to radiation during emergencies. *Analiz riska zdorov'yu = Health risk analysis*. 2018;2.P: 52–59. DOI:10.21668/health.risk/2018.2.06. (In Russian).
- Mokrov YG, Lyzhkov AV, Muzrukov VA, Pyatin NP, Rovny SI, Anspaugh LR, et al. Milestone 7: Reconstruction of Atmospheric Releases of I-131 from Mayak Radiochemical Plant Stacks for the Period from 1948 to 1970, Part 2: Results of the Reconstruction of 131I Releases from the Stacks of the Reactors and Radiochemical Plants. US-Russian Joint Coordinating Committee on Radiation Effects Research Project 1.4. 2008. Ozersk, Russia.
- Miley TB, Eslinger PW, Nichols WE, Lessor KS, Ouder Kirk SJ. User Instructions for the DESCARTES Environmental Accumulation Code. Battelle, Pacific Northwest Laboratories: Richland, Washington; 1994. DOI:10.2172/10154088.
- Snyder SF, Farris WT, Napier BA, Ikenberry TA, Gilbert RO. Parameters Used in the Environmental Pathway and Radiological Dose Modules (DESCARTES, CIDER and CRD Codes) of the Hanford Environmental Dose Reconstruction Integrated Codes (HEDRIC). Battelle, Pacific Northwest Laboratories: Richland, Washington; 1994. DOI:10.2172/10158073.
- Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67. *Ann. ICRP*. 1993; 23(3-4).
- Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother. ICRP Publication 88. 2002. Corrected Version, May 2002.
- Degteva MO, Napier BA, Tolstykh EI, Shishkina EA, Shagina NB, Volchkova AYU, et al. Enhancements in the Techa River Dosimetry System: TRDS-2016D code for reconstruction of deterministic estimates of dose from environmental exposures. *Health Physics*. 2019;117(4): 378–387.
- Altham P. Exact Bayesian analysis of 2x2 contingency table and Fisher's exact significance test. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*. 1969;31(2): 261–269. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1969.tb00786.
- Ahlbom A, Norell S. Introduction to modern epidemiology. Tallinn: AO RHE; 1996. 122 p. (In Russian).
- Koterov AN. From very low to very large doses of radiation: new data on ranges definitions and its experimental and epidemiological basing. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2013;2: 5–21. (In Russian).
- Khokhryakov VV, Drozhko EG. Ozyorsk population exposure doses in the result of iodine-131 releases into atmosphere. Retrospective reconstruction. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Journal of Radiation Safety issues*. 2001;1: 57–66. (In Russian).
- Kasatkina EP, Shilin DE. Thyroid radiation pathology in children and adolescents. Lecture 1. The effect of small doses and the concept of the risk of the long-term consequences of the Chernobyl disaster. *Problemy endokrinologii = Problems of Endocrinology*. 1997;43(4): 24–29. DOI:10.14341/probl199743424-29. (In Russian).
- Zvonova IA, Balonov MI, Bratilova AA, Danilova IO, Vlasov OK, Shchukina NV. Radiation doses of the thyroid gland in the population of Russia due to the fallout of radioactive iodine after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*. 2004;96(4): 310–316. (In Russian).
- Berezhanskaya SB, Malinenko ZI. Relationship between thyroid volume and anthropometric measurements in infants. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2013;5: 87–91. (In Russian).
- Aydiner O., Aydiner E.K., Akpınar İ., Turan S, Bereket A. Normative data of thyroid volume-ultrasonographic evaluation of 422 subjects aged 0–55 years. *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology*. 2015;7(2): 98–101. DOI:10.4274/jcrpe.1818.
- Petunina NA. The diagnosis and treatment of thyroid diseases in the elderly. *Problemy endokrinologii = Problems of Endocrinology*. 2008;54(3): 36–42. DOI:10.14341/probl200854336-42. (In Russian).
- Malenchenko AF, Vasilenko YA, Vasilenko OI. Iodine metabolism and pathologic processes in the thyroid gland under radioiodine lesions in the regions of goitrous endemia. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 2007;47(4): 435–443. (In Russian).
- Keirim-Markus IB, Pantelkin VP. Why radioiodine plays significant role when it influences population health in radiological emergency situations. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2003;48(5): 12–14. (In Russian).
- Rabinovich EI. Non-cancer thyroid pathology in Ozyorsk residents lived as children in Mayak PA affected area. Radioactive sources and radiation exposure effects on the Mayak PA workers and population living in the area of nuclear facility influence. Chelyabinsk: Chelyabinsk Publishing House; 2010. Vol. 2. P.101–124. (In Russian).
- Shore RE, Hildreth N, Dvoretzky P, Pasternack B, Andersen E. Benign thyroid adenomas among persons X-irradiated in infancy for enlarged thymus glands. *Radiation Research*. 1993;134: 217–223.
- Buldakov LA, Kalistratova VS. Radiation exposure to the body - positive effects. Moscow: Inform. Atom; 2005. P. 246. (In Russian).

Received: November 16, 2021

For correspondence: Evgeniya I. Rabinovich – Cand. Sci. (Medicin), Senior Researcher, Head of the Laboratory of Radiation Biochemistry, Southern Urals Biophysics Institute of Federal Medical-Biological Agency of Russia, (Ozyorskoe shosse, 19, Ozyorsk, Chelyabinskaja oblast, 456780, Russia; E-mail: rei-06@mail.ru)

Svetlana V. Povolotskaya – Cand.Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Radiation Biochemistry, Southern Urals Biophysics Institute of Federal Medical-Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Russia

Marina O. Degteva – Cand. Sci. (Technical), Head of biophysical laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine of Federal Medical-Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

Evgenia I. Tolstykh – Doctor Sci. (Biology), Leading Researcher of biophysical laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine of Federal Medical-Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

For citation: Rabinovich E.I., Povolotskaya S.V., Degteva M.O., Tolstykh E.I. Relation between the thyroid diseases prevalence and doses of radiation exposure in the individuals relocated from radioactively contaminated areas in South Urals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 1, P. 36-46. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-36-46