

В.К. Иванов, А.Ф. Цыб

Медицинский радиологический научный центр, Обнинск, Российская Федерация

## Проблема рака щитовидной железы: уроки Чернобыля и прогноз для Фукусимы

Приведены итоги эпидемиологического исследования заболеваемости раком щитовидной железы в России после аварии на Чернобыльской АЭС. Установлено, что к группе радиационного риска следует отнести только детское население загрязненных радионуклидами территорий страны, получившее дозу облучения щитовидной железы более 100–150 мГр за счет инкорпорированного облучения  $^{131}\text{I}$ . С учетом чернобыльских данных и рекомендаций Международной комиссии по радиологической защите даны прогнозные оценки возникновения повышенной заболеваемости раком щитовидной железы японского населения, проживающего вблизи АЭС «Фукусима-1».

**Ключевые слова:** авария на Чернобыльской АЭС, Национальный радиационно-эпидемиологический регистр, радиационный риск рака щитовидной железы, прогноз радиологической индукции рака щитовидной железы после аварии на АЭС «Фукусима-1».

### Введение

38

После аварии на Чернобыльской АЭС прошло более 26 лет, однако результаты постчернобыльских эпидемиологических исследований стали особенно актуальны в последнее время. Это связано с тем, что в короткие сроки необходимо сделать правильный прогноз возможных радиологических последствий аварии на АЭС «Фукусима-1».

Проблема раковых и нераковых заболеваний щитовидной железы после аварии на Чернобыльской АЭС рассматривается в большом числе научных публикаций и отчетов Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) [1–7]. Вместе с тем оценка радиационных рисков раковой и нераковой патологии щитовидной железы в условиях выраженных скрининговых эффектов остается непростой задачей.

По инициативе РАМН, Правительство РФ приняло Постановление от 22 сентября 1993 г. о создании в стране Национального радиационно-эпидемиологического регистра (НРЭР) лиц, подвергшихся радиационному воздействию (рис. 1).

В настоящее время НРЭР наряду с регистром Хиросимы–Нагасаки (который был создан после атомной бомбардировки этих городов в 1945 г.) является основным информационным ресурсом мирового уровня для оценки реальных радиационных рисков при разных дозах

облучения и выработки национальных и международных стандартов радиационной безопасности населения [8–11].

Как известно, в результате аварии на Чернобыльской АЭС наибольшему радиационному загрязнению подверглись территории Украины, Белоруссии и России, расположенные на расстоянии до 200 км от АЭС. В Российской Федерации в наибольшей степени подверглись радиационному загрязнению 4 области: Брянская, Калужская, Орловская и Тульская. Карта загрязнения этих областей радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  имеет принципиальное значение для реконструкции доз облучения щитовидной железы за счет радионуклидов  $^{131}\text{I}$ . Наибольшие дозы облучения щитовидной железы получили дети и подростки, проживавшие в 1986 г. в юго-западных районах Брянской области. В некоторых населенных пунктах этих районов дозы облучения щитовидной железы у детского населения превысили 500 мГр. В Калужской, Орловской и Тульской областях также установлены территории с повышенным уровнем облучения щитовидной железы у детского населения, однако средние дозы радиации в этих районах были существенно ниже.

Регистрация онкологических заболеваний в России осуществляется на уровне каждого района области. Именно поэтому для эпидемиологических исследований Российской научной комиссией по радио-

V.K. Ivanov, A.F. Tsyb

Medical Radiological Research Center, Obninsk, Russian Federation

### Thyroid Cancer: Lessons of Chernobyl and Prognosis for Fukushima

Results of epidemiological studies of thyroid cancer incidence in Russia following the Chernobyl accident are presented in the article. Child population in territories contaminated with radionuclides who got thyroid dose from incorporated  $^{131}\text{I}$  above 100–150 mGy, should be referred to a group at radiation risk. Prognostic estimates of increase in thyroid cancer incidence among the population living in close vicinity of the Fukushima Daiichi NPP were made with account for the Chernobyl data and recommendations of the International Commission on Radiological Protection.

**Key words:** Chernobyl, National Radiation Epidemiological Registry, radiation, thyroid cancer, prognosis of radiological induction of thyroid cancer following the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Plant prognosis.

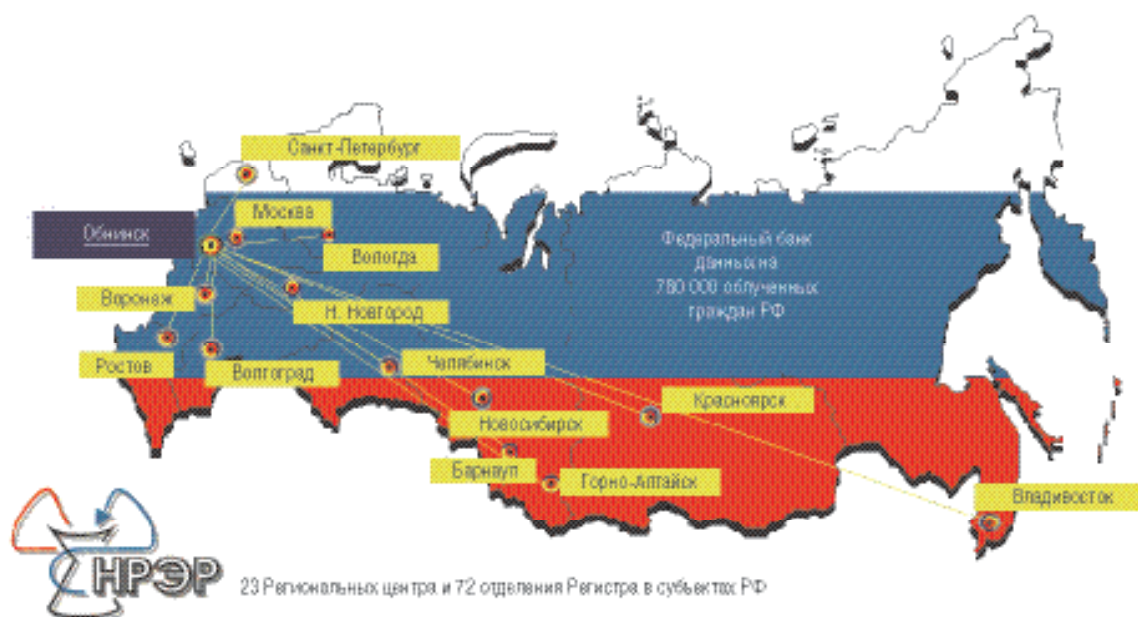


Рис. 1. Национальный радиационно-эпидемиологический регистр.

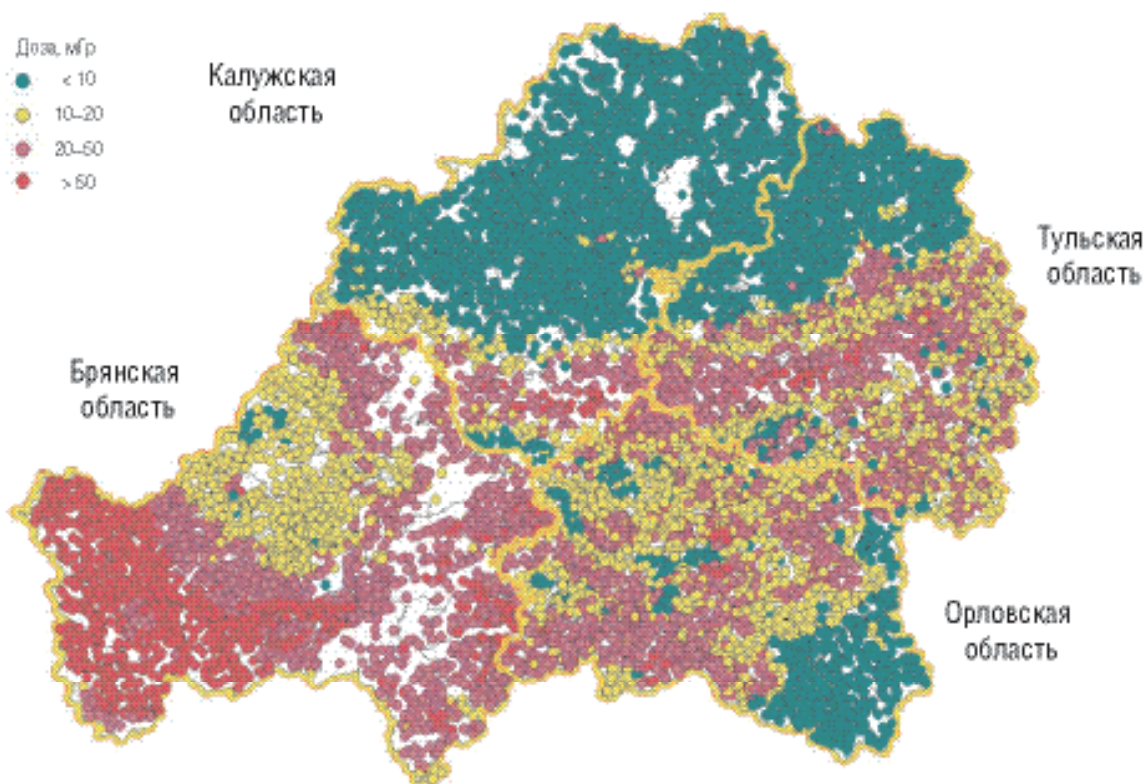


Рис. 2. Средние дозы облучения щитовидной железы у жителей Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей.

логической защите при РАМН была построена карта средних доз облучения щитовидной железы для каждого района Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей. Так, у детей в юго-западных районах Брянской области средние дозы облучения радионуклидами  $^{131}\text{I}$  превысили 200 мГр (рис. 2).

Хотелось бы подчеркнуть, что проведенная реконструкция доз облучения щитовидной железы имела первостепенное значение для последующих эпидемиологических исследований. Это очень сложная работа, которую необходимо выполнить в полном объеме после аварии на АЭС «Фукусима-1».

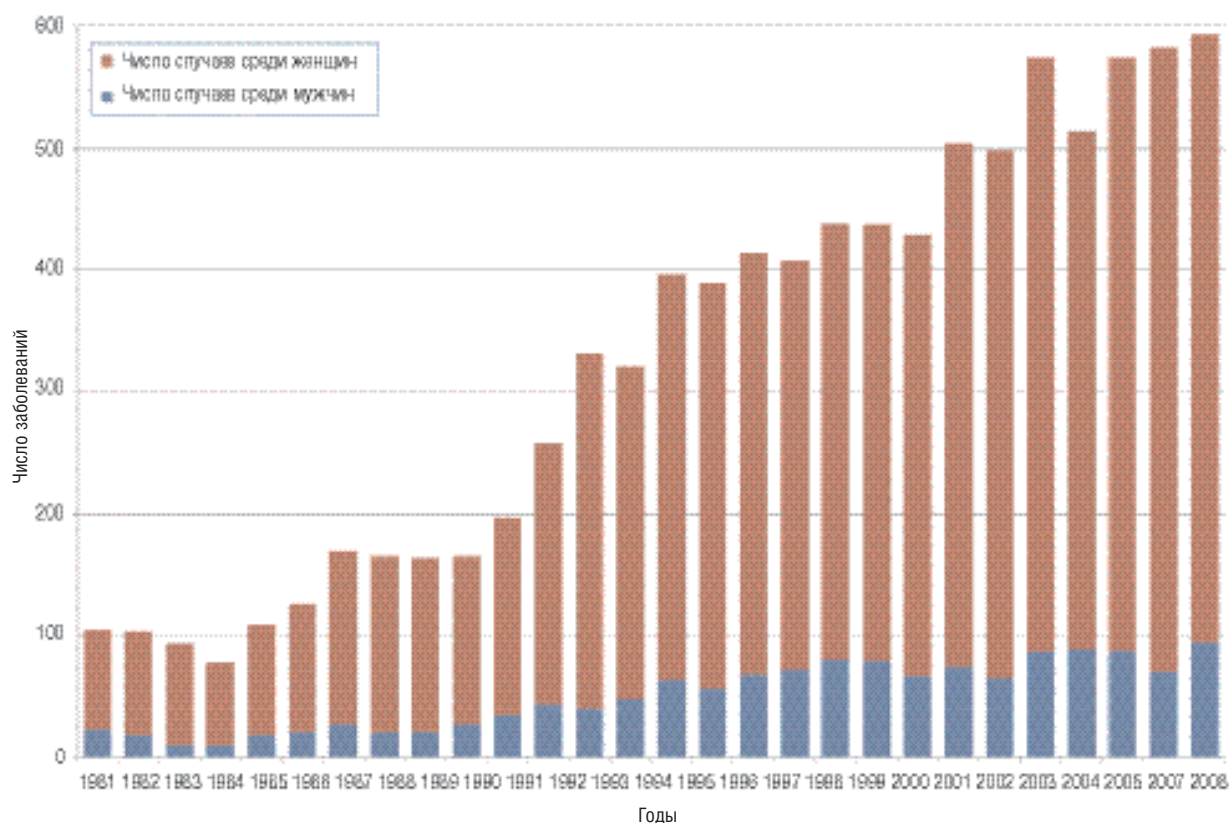


Рис. 3. Распределение числа случаев рака щитовидной железы среди населения Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей по годам.

Анализ частоты заболеваемости раком щитовидной железы (РЩЖ) населения указанных выше областей (5,5 млн человек) показал, что в течение 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС показатель вырос почти в 6 раз. До Чернобыля на этих территориях регистрировали около 100 случаев РЩЖ в год, а в 2005–2007 гг. — уже около 600 случаев (рис. 3). Необходимо подчеркнуть, что частота данной патологии у женского населения была примерно в 6 раз выше, чем у мужского (рис. 4).

Основной задачей радиационно-эпидемиологических исследований является объективное выявление роли радиационного фактора в повышении частоты заболеваемости РЩЖ.

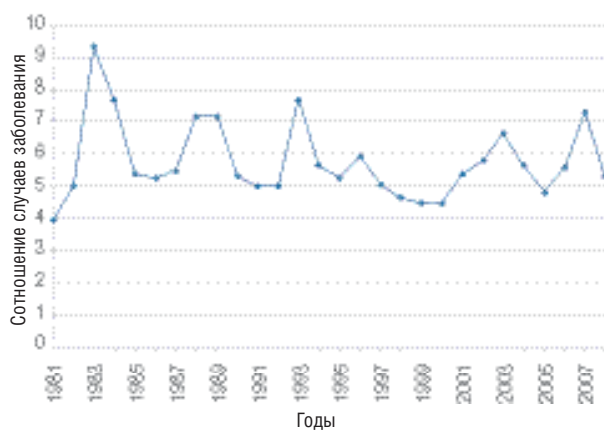


Рис. 4. Распределение отношения числа случаев рака щитовидной железы среди женщин и мужчин для населения Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей по годам.

### Уроки Чернобыля

Оценка радиационных рисков индукции РЩЖ проведена с использованием индивидуальных данных НРЭР за период наблюдения с 01.01.1991 по 31.12.2008 гг. База данных НРЭР содержит информацию о 309 130 индивидуумах, являющихся жителями Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. Поскольку для этой когорты в Регистре имеется индивидуальная информация о месте их жительства в 1986 г. и возрасте, были получены индивидуальные оценки доз облучения щитовидной железы от инкорпорированных радионуклидов <sup>131</sup>I.

За период наблюдения с 1991 по 2008 г. в рассматриваемой когорте было выявлено 993 случая РЩЖ (из них 247 случаев среди детей и подростков в возрасте 0–17 лет на момент аварии и 746 случаев среди взрослых, которым было 18 лет и более на момент аварии). Гистологическое подтверждение получили 98,5% всех диагнозов.

Оценка зависимости заболеваемости РЩЖ от дозы инкорпорированного облучения щитовидной железы радионуклидами <sup>131</sup>I проводилась с использованием пуассоновской регрессии. Применяли модель избыточного относительного риска (Excess Relative Risk, ERR) следующего вида:

$$d = \lambda_{sp} \cdot [1 + \rho(d)],$$

где  $\lambda_{sp}$  — фоновая заболеваемость РЩЖ в когорте, не зависящая от облучения;  $\rho(d)$  — функция, характеризующая зависимость заболеваемости от дозы инкорпорированного облучения щитовидной железы.

**Таблица 1.** Значения ERR и SIR для заболеваний раком щитовидной железы в когорте лиц из Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, зарегистрированных в НРЭР, за период с 1991 по 2008 г.

Возраст	0–17 лет	18 лет и старше
Всего человек	97 191	211 939
Число случаев	247	746
Средняя доза для когорты, мГр	188	37
Средняя доза среди случаев, мГр	225	32
SIR (95% ДИ)	8,13 (6,31; 10,23)	3,71 (3,43; 4,01)
ERR/Гр (95% ДИ)	3,22 (1,56; 5,81)	-1,47 (-1,64; 0,10)

*Примечание.* SIR — стандартизованное отношение заболеваемости; ERR — избыточный относительный риск (Excess Relative Risk); НРЭР — Национальный радиационно-эпидемиологический регистр; ДИ — доверительный интервал.

Фоновую заболеваемость определяли с использованием внешней контрольной группы:

$$\lambda_{\text{гр}} = \text{SIR} \cdot \lambda_{\text{рус}}(s, a, t),$$

где  $\lambda_{\text{рус}}(s, a, t)$  — годовые половозрастные показатели заболеваемости РЩЖ среди населения России;  $\text{SIR} = \exp(\beta_0)$  — стандартизованное отношение заболеваемости (коэффициент, учитывающий различие спонтанных заболеваемости в изучаемой и российской популяциях в рассматриваемый период времени),  $\beta_0$  — неизвестная константа.

Рассматривали линейную модель зависимости заболеваемости РЩЖ от дозы инкорпорированного облучения щитовидной железы:

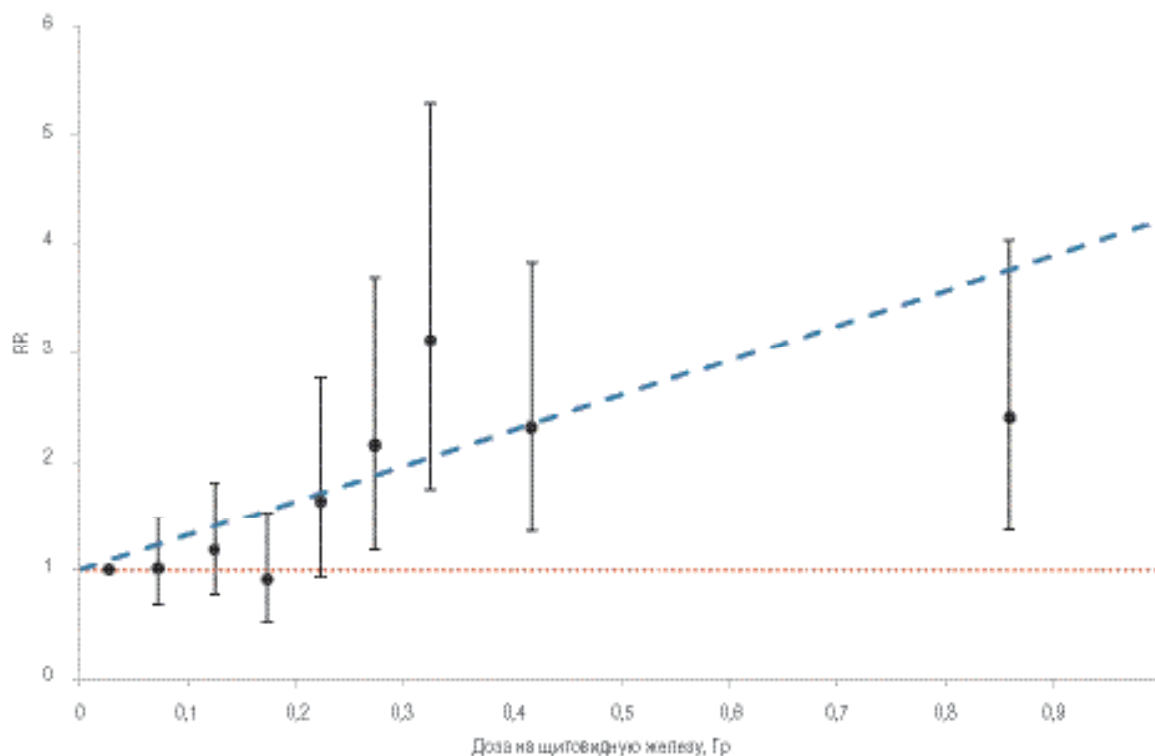
$$\rho(d) = \text{ERR}_{1/p} \cdot d,$$

где  $\text{ERR}_{1/p}$  — избыточный относительный риск на единицу дозы 1 Гр;  $d$  — индивидуализированная доза инкорпо-

рированного облучения щитовидной железы радионуклидами  $^{131}\text{I}$  (Гр).

Результаты оценки радиационных рисков представлены в табл. 1 и на рис. 5. Как видно из таблицы, значимый радиационный риск индукции РЩЖ установлен только для детей и подростков (0–17 лет) на момент аварии. Высокое значение величины SIR (8,13 для группы 0–17 лет, 3,7 для группы 18 лет и старше) подтверждает выраженный скрининговый эффект в процессе регистрации заболеваний РЩЖ.

Таким образом, по данным НРЭР, после аварии на Чернобыльской АЭС получен статистически значимый радиационный риск индукции РЩЖ только по детскому населению, причем в диапазоне доз до 100–150 мГр не выявлено превышения частоты заболеваемости РЩЖ над контрольным уровнем. Следовательно, к группе риска следует отнести детское население, получившее дозы облучения щитовидной железы от инкорпорированного  $^{131}\text{I}$ , превышающие указанный выше порог. Обнаружен



**Рис. 5.** Относительный риск заболеваемости (RR) раком щитовидной железы детей и подростков в возрасте 0–17 лет в различных дозовых группах.



выраженный скрининговый эффект регистрации РЩЖ на территориях Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей России.

### Прогноз радиологических последствий аварии на АЭС «Фукусима-1»

11 марта 2011 г. произошла крупная авария на АЭС «Фукусима-1» (рис. 6). Проблема оценки возможных радиологических последствий для японского населения этой префектуры островного государства остается крайне актуальной. Особое значение для получения объективного прогноза имеют данные Национального радиационно-эпидемиологического регистра, созданного в России после аварии на Чернобыльской АЭС.

В 2007 г. Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) выпустила основополагающий документ, определяющий международные стандарты при прогнозе медицинских последствий радиационного воздействия. Основная задача прогноза — оценка возможного повышения частоты онкологической заболеваемо-

сти населения, обусловленной радиационным фактором воздействия.

В рамках рекомендаций МКРЗ, для объективного прогноза необходимы национальные данные медицинской статистики Японии и полученные дозы, в данном случае — за счет инкорпорированного облучения щитовидной железы радионуклидами  $^{131}\text{I}$ . На рис. 7, 8 представлены характерные для Японии данные о продолжительности жизни и частоте онкологической заболеваемости, использованные нами для определения прогноза.

Прогноз выполнен в терминах двух основных стандартных эпидемиологических показателей: числа дополнительных заболеваний РЩЖ на 10 000 человек в зависимости от возраста при облучении полученной дозы (LAR) и величины пожизненной этиологической доли, которая определяет в процентном отношении долю радиационно-обусловленных РЩЖ (табл. 2–5).

Как видно из таблиц, наибольший риск прогнозируется для детского населения Японии. Так, из табл. 2 (женщины) понятно, что при дозе 50 мГр для возрастной группы 0–9 лет за всю жизнь можно ожидать 6 радиа-

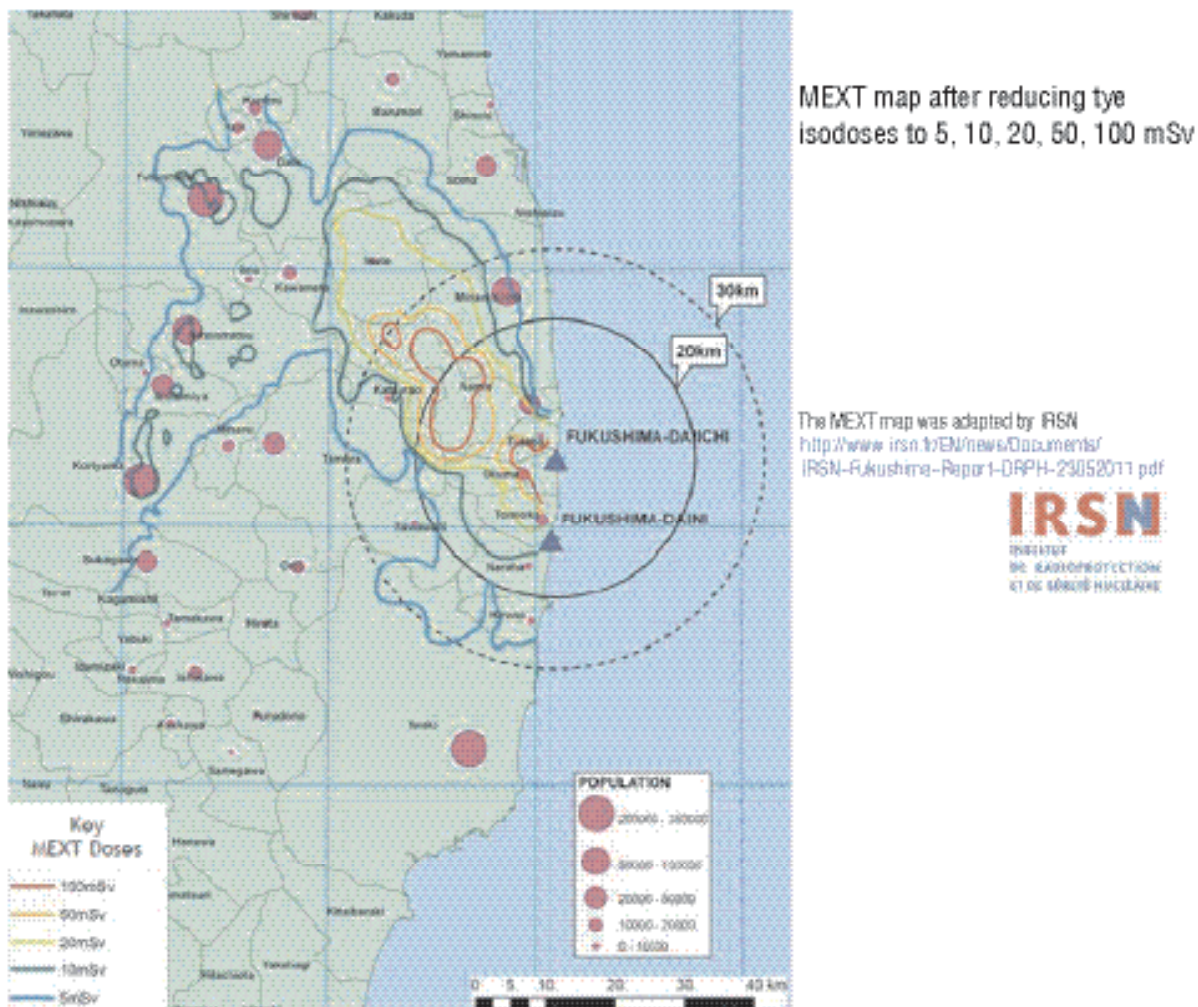


Рис. 6. Оценка годовых доз внешнего облучения, по данным MEXT.

Примечание. MEXT – Министерство образования, культуры, спорта, науки и технологий, Япония; IRSN – Институт радиационной защиты и ядерной безопасности, Франция.

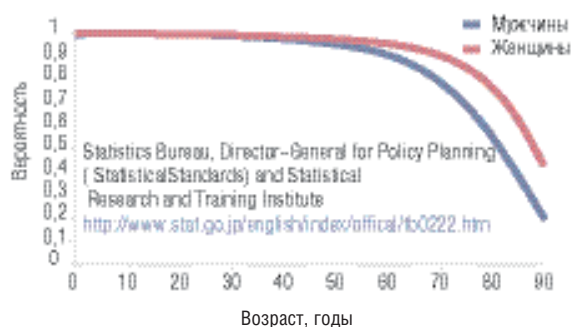


Рис. 7. Функция дожития для японской популяции (данные за 2004 г.).

Таблица 2. Пожизненный атрибутивный риск (LAR) заболеваемости раком щитовидной железы у мужчин японской популяции, приведенный на 10 000 человек в зависимости от возраста на момент облучения и дозы облучения

Возраст на момент облучения, лет	Доза, мГр				
	10	20	50	100	200
0–9	0,36	0,71	1,79	3,57	7,14
10–19	0,30	0,61	1,52	3,04	6,08
20–29	0,26	0,52	1,29	2,58	5,15
30–39	0,22	0,44	1,10	2,20	4,39
40–49	0,18	0,37	0,91	1,83	3,66
50–59	0,15	0,29	0,74	1,47	2,94
60–69	0,11	0,21	0,54	1,07	2,15
70–79	0,06	0,12	0,30	0,61	1,22
80+	0,02	0,03	0,09	0,17	0,34

Таблица 4. Пожизненный коэффициент этиологической доли (LARF) для заболеваемости раком щитовидной железы у мужчин японской популяции (в %) в зависимости от возраста на момент облучения и дозы облучения

Возраст на момент облучения, лет	Доза, мГр				
	10	20	50	100	200
0–9	1,41	2,77	6,65	12,48	22,18
10–19	1,20	2,38	5,73	10,85	19,57
20–29	1,03	2,05	4,96	9,45	17,28
30–39	0,92	1,82	4,43	8,49	15,65
40–49	0,83	1,64	4,00	7,69	14,28
50–59	0,76	1,52	3,71	7,15	13,34
60–69	0,68	1,35	3,31	6,40	12,04
70–79	0,57	1,13	2,77	5,40	10,24
80+	0,35	0,70	1,72	3,38	6,54

ционно-обусловленных РЩЖ в когорте 10 000 человек, а в возрастной группе 50–59 лет — только 2 случая. При одинаковых условиях (возраст и доза облучения) риск развития РЩЖ у женщин в 3–4 раза выше, чем у мужчин.

Из табл. 4, 5, в частности, видно, что для возрастной группы 0–9 лет при дозе 50 мГр доля радиационно-обусловленных РЩЖ составит 6,5%, в то время как в возрастной группе 50–59 лет при той же дозе доля радиационно-обусловленных РЩЖ будет равна 3%.

Приведенные в табл. 2–5 прогнозные оценки возможной индукции радиационно-обусловленного РЩЖ имеют принципиальное значение при формировании групп повышенного риска и оказании органами практического здравоохранения адресной медицинской помощи.

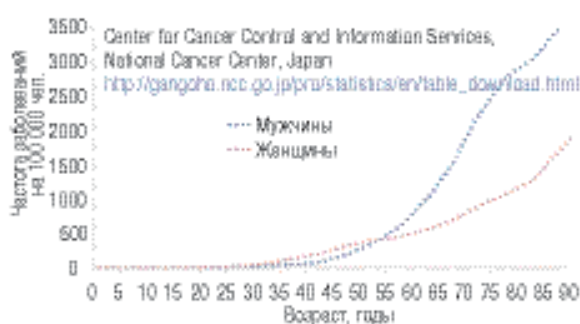


Рис. 8. Заболеваемость солидными раками в Японии (данные за 2004 г.).

Таблица 3. Пожизненный атрибутивный риск (LAR) заболеваемости раком щитовидной железы у женщин японской популяции, приведенный на 10 000 человек в зависимости от возраста на момент облучения и дозы облучения

Возраст на момент облучения, лет	Доза, мГр				
	10	20	50	100	200
0–9	1,21	2,42	6,04	12,08	24,16
10–19	0,97	1,95	4,86	9,73	19,46
20–29	0,77	1,54	3,85	7,69	15,38
30–39	0,61	1,22	3,05	6,11	12,22
40–49	0,47	0,94	2,34	4,69	9,37
50–59	0,35	0,70	1,76	3,52	7,03
60–69	0,25	0,51	1,27	2,54	5,08
70–79	0,15	0,30	0,75	1,50	3,01
80+	0,04	0,08	0,20	0,40	0,80

Таблица 5. Пожизненный коэффициент этиологической доли (LARF) для заболеваемости раком щитовидной железы у женщин японской популяции (в %) в зависимости от возраста на момент облучения и дозы облучения

Возраст на момент облучения, лет	Доза, мГр				
	10	20	50	100	200
0–9	1,36	2,69	6,46	12,13	21,63
10–19	1,10	2,18	5,27	10,02	18,21
20–29	0,89	1,77	4,32	8,27	15,28
30–39	0,75	1,50	3,66	7,06	13,18
40–49	0,65	1,29	3,16	6,13	11,55
50–59	0,61	1,21	2,97	5,78	10,92
60–69	0,64	1,27	3,12	6,05	11,41
70–79	0,64	1,28	3,14	6,08	11,46
80+	0,37	0,75	1,84	3,62	6,99

### Заключение

В результате 25-летних крупномасштабных исследований Национальным радиационно-эпидемиологическим регистром установлено, что к группе повышенного радиационного риска дополнительной индукции заболеваний РЩЖ следует отнести только детское население, получившее дозы облучения более 100–150 мГр за счет инкорпорированного облучения щитовидной железы радионуклидами <sup>131</sup>I.

С учетом постчернобыльских эпидемиологических данных и принятых международных стандартов выполнен прогноз возможной дополнительной заболеваемости РЩЖ среди населения Японии, проживающего вблизи АЭС «Фукусима-1», в зависимости от полученных доз облучения.

## REFERENCES

1. Ilyin L.A., Balonov M.I., Buldakov L.A., Bur'yak V.N., Gordeev K.I., Dement'ev S.I., Zhakov I.G., Zubovsky G.A., Kondrusev A.I., Konstantinov Y.O., Linge I.I., Likhtarev I.A., Lyaginskaya A.M., Matyuhin V.A., Pavlovsky O.A., Potapov A.I., Prysyzhnyuk A.E., Ramsaev P.V., Romanenko A.E., Savkin M.N., Starkova N.T., Tron'ko N.D., Tsyb A.F. Radiocontamination patterns and possible health consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power station. *J. Radiol. Prot.* 1990; 10 (1): 3–29.
2. Kazakov V.S., Demidchik E.P., Astakhova L.N. Thyroid cancer after Chernobyl. *Nature.* 1992; 359: 21.
3. Tronko M.D., Howe G.R., Bogdanova T.I., Bouville A.C., Epstein O.V., Brill A.B., Likhtarev I.A., Fink D.J., Markov V.V., Greenebaum E., Olijnyk V.A., Masnyk I.J., Shpak V.M., McConnell R.J., Tereshchenko V.P., Robbins J., Zvinchuk O.V., Zablotska L.B., Hatch M., Luckyanov N.K., Ron E., Thomas T.L., Voilleque P.G., Beebe G.W. A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chernobyl accident: thyroid cancer in Ukraine detected during first screening. *J. Natl. Cancer Inst.* 2006; 98 (13): 897–903.
4. Average doses of exposure of a thyroid gland of inhabitants of the different age living in 1986 in settlements of Bryansk, Tula, Oryol and Kaluga areas contaminated by radionuclides after the Chernobyl accident: Directory, the Edition Official. M.I. Balonov, I.A. Zvonova (eds.). Moscow: Ministry of Health of Russia. 2002.
5. Likhtarov I., Kovgan L., Vavilov S., Chepurny M., Ron E., Lubin J., Bouville A., Tronko N., Bogdanova T., Gulak L., Zablotska L., Howe G. Post-Chernobyl thyroid cancers in Ukraine. Report 2: risk analysis. *Radiat. Res.* 2006; 166 (2): 375–386.
6. Jacob P., Bogdanova T.I., Buglova E., Chepurny M., Demidchik Y., Gavrilin Y., Kenigsberg J., Meckbach R., Schotola C., Shinkarev S., Tronko M.D., Ulanovsky A., Vavilov S., Walsh L. Thyroid cancer risk in areas of Ukraine and Belarus affected by the Chernobyl accident. *Radiat. Res.* 2006; 165 (1): 1–8.
7. Cardis E., Kesminiene A., Ivanov V., Malakhova I., Shibata Y., Khrouch V., Drozdovitch V., Maceika E., Zvonova I., Vlassov O., Bouville A., Goulko G., Hoshi M., Abrosimov A., Anoshko J., Astakhova L., Chekin S., Demidchik E., Galanti R., Ito M., Korobova E., Lushnikov E., Maksiutov M., Masyakin V., Nerovnia A., Parshin V., Parshkov E., Pilipsevich N., Pinchera A., Polyakov S., Shabeka N., Suonio E., Tenet V., Tsyb A., Yamashita S., Williams D. Risk of thyroid cancer after exposure to <sup>131</sup>I in childhood. *J. Natl. Cancer Inst.* 2005; 97 (10): 724–732.
8. Ivanov V.K., Kashcheev V.V., Chekin S.Yu., Maksiutov M.A., Tumanov K.A., Vlasov O.K., Shchukina N.V., Tsyb A.F. Radiation-epidemiological studies of thyroid cancer incidence in Russia after the Chernobyl accident (estimation of radiation risks, 1991–2008 follow-up period). *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2012; 151 (3): 489–499.
9. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Maksyutov M.A., Tumanov K.A., Chekin S.Yu., Kashcheev V.V., Korelo A.M., Vlasov O.K., Shchukina N.V. Medical radiological effects of the Chernobyl catastrophe on the population of Russia: thyroid cancer problem. *Medical Radiology and Radiation Safety - Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'.* 2011; 56 (2): 17–29.
10. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Maksyutov M.A., Tumanov K.A., Chekin S.Yu., Kashcheev V.V., Korelo A.M., Vlasov O.K., Shchukina N.V. Problem of thyroid cancer incidence in Russia after the Chernobyl accident: radiation risks assessment, 1991–2008 follow-up period. *Radiation and Risk - Radiatsiya i risk.* 2010; 19 (3): 33–58.
11. Pitkevich V.A., Duba V.V., Ivanov V.K., Chekin S.Yu., Tsyb A.F., Vakulovski S.M., Shershakov V.M., Mahonko K.P., Golubenkov A.V., Borodin R.V., Kosykh V.S. Reconstruction of the composition of the Chernobyl radionuclide fallout and external radiation absorbed doses to the population of areas in Russia. *Radiation Protection Dosimetry.* 1996; 64: 69–92.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Ivanov Viktor Konstantinovich**, RAMS cor. member, Deputy Director for Science, Federal State Budgetary Institution Medical Radiological Scientific Center, Chairman of the Russian Scientific Commission of Radiation Protection, Head of the National Radiation and Epidemiological Registry

**Address:** 249036, Kaluga Region., Obninsk, Koroleva St., 4; **tel.:** (48439) 9-33-90; **e-mail:** nrer@obninsk.com

**Tsyb Anatolii Fedorovich**, Director of Federal State Budgetary Institution Medical Radiological Scientific Center, RAMS academician

**Address:** 249036, Kaluga Region., Obninsk, Koroleva St., 4; **tel.:** (48439) 9-33-90; **e-mail:** nrer@obninsk.com