МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО (ФМБА РОССИИ)

МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

MEDICAL RADIOLOGY AND RADIATION SAFETY

Meditsinskaia Radiologiia i Radiatsionnaia Bezopasnost

2013 **Том 58** **№ 5**

Периодический научный журнал. Издается с сентября 1956 года

Журнал включен в перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований

Москва

Медицинская радиология и радиационная безопасность
Medical Radiology and Radiation Safety

Научный журнал Scientific Journal

Издатель:
ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации –
Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна»
Федерального медико-биологического агентства

Главный редактор В.В. УЙБА

Заместители главного редактора:
К.В. Котенко (оперативное руководство)

А.Ф. Цыб (общие вопросы)

Редакционная коллегия (по рубрикам журнала):

Радиационная биология: А.А. Вайнсон (выпускающий редактор), П.К. Казымбет, А.Н. Котеров
Радиационная безопасность: Р.М. Алексахин, С.С. Алексанин, Л.А. Ильин
Радиационная медицина: А.Ю. Бушманов, А.К. Гуськова, С.И. Иванов
Лучевая терапия: А.В. Бойко, С.И. Ткачев
Лучевая диагностика: И.Е. Тюрин
Ядерная медицина: Б.Я. Наркевич (научный редактор)
Радиационная эпидемиология: А.П. Бирюков, В.Ф. Демин, В.К. Иванов, Н.К. Шандала
Радиационная физика, техника и дозиметрия: Н.М. Борисов, И.А. Гусев, С.М. Шинкарев
Зарубежные связи: М.Ф. Киселев, В.В. Романов
Обзоры, краткие сообщения, письма в редакцию, дискуссии, хроника, юбилеи: ответственные по соответствующим рубрикам
Помощь практическому врачу: А.Ю. Бушманов

Все статьи в журнале печатаются бесплатно

Заведующий редакцией Э.С. Зубенкова
Компьютерная верстка В.В. Колесниченко

Адрес редакции журнала:
123098, Москва, ул. Живописная, 46
Телефон: (499) 190-95-51

Address of Editorial Board:
46, Zhivopisnaya st., 123098, Moscow, Russia
Phone: +7 (499) 190-95-51

E-mail: medradiol@fromru.com
http://fmbcfmba.org далее раздел Публикации
Правила для авторов: Instructions for authors:
http://fmbcfmba.org/RadioJournal/prav_ofo.pdf

Подписано в печать 25.09.2013. Формат 60×88/8
Печать офсетная. 10.5 усл. печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Отпечатано в типографии ФМБЦ им. А.И.Бурназяна
123098, Москва, Живописная ул., 46

СОДЕРЖАНИЕ № 5 – 2013

РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ

5 **Восстановление клеток от потенциально летальных повреждений после повторных воздействий ионизирующим излучением**
Е.С. Евстратова, Н.М. Кабакова, В.Г. Петин

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

11 **Ретроспективная оценка интегральных выпадений ^{131}I с учетом пролонгированного загрязнения местности**
Ю.И. Гаврилин

26 **Гармонизированный подход к регулированию безопасности в разных областях деятельности человека**
В. Ф. Демин, В.В. Романов, В.Ю. Соловьев, И.Е. Захарченко

РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

35 **Изменения в статистике искусственных абортов в 1986 году не связаны с психологическими последствиями Чернобыля**
Е.М. Мелихова

ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ

51 **Влияние временных интервалов между лучевой терапией и хирургическим лечением на выживаемость больных раком молочной железы**
А. П. Дмитриенко, Н.А. Толмачев

ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА

54 **Опыт применения комбинированного ОФЭКТ/КТ исследования в оценке распространенности заболевания и определения дальнейшей тактики лечения больных раком щитовидной железы**
Д. К. Фомин, О.О. Люгай, О.Б. Тарарухина

РЕЦЕНЗИЯ

59 **Рецензия на книгу У.Я. Магулиса «Вспоминая былое. Штрихи к биографии». – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2012, 190 с.**
А.К. Гуськова

ХРОНИКА

62 **О работе 60-й сессии научного комитета по действию атомной радиации ООН (НКДАР ООН), (Вена, 27–31 мая 2013 г.)**
М.Ф. Киселев, Т.В. Азизова, А.В. Аклеев, Р.М. Алексахин, В.К. Иванов, А.Н. Котеров, И.И. Крышев, Б.К. Лобач, О.А. Павловский, С.А. Романов, А.В. Сажин, С.М. Шинкарев

73 **Совещание, посвященное перспективам применения нейтронной терапии. Майнц, Германия, 1–4 июля 2013 г.**
В.А.Голиков, Л.И. Мусабаева

75 **К шестидесятилетию лаборатории средств индивидуальной защиты персонала опасных производств**
В.И. Рубцов, В.Н. Клочков

ЮБИЛЕЙ

81 **К 55-летию со дня рождения А.В. Важенина**

НЕКРОЛОГ

83 **Памяти Б.М. Алиева**

CONTENTS № 5 – 2013

RADIATION BIOLOGY	*5*	**Cell Recovery from Potentially Lethal Damage after Repeated Exposure to Ionizing Radiation** *E.S. Evstratova, N.M. Kabakova, V.G. Petin*
RADIATION SAFETY	*11*	**Retrospective Estimation of ^{131}I Integrated Deposition Considering Prolonged Character of Area Contamination** *Yu.I. Gavrilin*
	26	**Harmonized Approach to the Health Safety Regulation in Different Areas of Human Activity** *V.F. Demin, V.V. Romanov, V.Yu. Soloviev, I.E. Zakharchenko*
RADIATION MEDICINE	*35*	**Changes in Induced Abortion Statistics in 1986 are not Attributable to the Psychological Consequences of Chernobyl** *E.M. Melikhova*
RADIATION THERAPY	*51*	**Influence of Time Intervals between Radiotherapy and Surgical Treatment on Survival Rate of the Breast Cancer Patients** *A.P. Dmitrenko, N.A. Tolmacheva*
NUCLEAR MEDICINE	*54*	**Experience of SPECT/CT Research in the Evaluation of Disease Prevalence in Patients with Differentiated Thyroid Cancer and Planning Further Tactics of Treatment** *D.K. Fomin, O.O. Lyugiy, O.B. Tararuchina*
REVIEW	*59*	**Notice on the book by U.Ya. Margulis "Remembering the Past. Marks to Biography". – M.: FBU "STC NRS". 2012** *A.K. Guskova*
CHRONICLE	*62*	**On the 60th Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 27–31 May 2013)** *M.Ph. Kiselev, T.V. Azizova, A.V. Akleyev, R.M. Aleksakhin, V.K. Ivanov, A.N. Koterov, I.I. Kryshev, B.K. Lobach, O.A. Pavlovsky, S.A. Romanov, A.V. Sazhin, S.M. Shinkarev*
	73	**IAEA TM on Research Reactor Users Networks(RRUNs): advances in neutron therapy, 1–4 July 2013, Mainz, Germany** *V.A. Golikov, L.I. Musabaeva*
	75	**60-th Anniversary of the Laboratory of Individual Protective Means for Personnel of Hazardous Enterprises** *V.I. Rubzcov, V. N. Klochkov*
JUBILEE	*81*	**On 55th anniversary of A.V. Vazhenin**
COMMEMORATION	*83*	**Commemoration of B. M. Aliev**

Е.С. Евстратова, Н.М. Кабакова, В.Г. Петин

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КЛЕТОК ОТ ПОТЕНЦИАЛЬНО ЛЕТАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОСЛЕ ПОВТОРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

E.S. Evstratova, N.M. Kabakova, V.G. Petin

Cell Recovery from Potentially Lethal Damage after Repeated Exposure to Ionizing Radiation

РЕФЕРАТ

Цель: Изучить способность диплоидных дрожжевых клеток восстанавливаться от потенциально летальных радиационных повреждений при повторных воздействиях ионизирующих излучений на клетки, претерпевшие полное восстановление от предыдущего облучения.

Материал и методы: После воздействия на диплоидные дрожжевые клетки γ-квантами ^{60}Co или α-частицами ^{239}Pu и полного восстановления их от потенциально летальных повреждений, клетки подвергали повторному облучению теми же видами излучения. Последовательное облучение и восстановление клеток повторялись трижды. Базируясь на математической модели восстановления, количественно оценивали вероятность восстановления в единицу времени и долю необратимо пораженных клеток.

Результаты: Показано, что доля необратимо пораженных клеток увеличивалась после повторных воздействий ионизирующих излучений, особенно ярко это было выражено для плотноионизирующих излучений. Наоборот, константа восстановления, характеризующая вероятность восстановления в единицу времени, не зависела от числа повторных облучений, но слегка уменьшалась при использовании плотноионизирующего излучения по сравнению с редкоионизирующим.

Выводы: Снижение способности клеток восстанавливаться от потенциально летальных повреждений, ярко проявляющееся при действии плотноионизирующих излучений, обусловлено главным образом увеличением доли необратимо пораженных клеток.

Ключевые слова: *восстановление клеток, ионизирующие излучения, потенциально летальные повреждения, математическая модель, необратимый компонент, вероятность восстановления, дрожжевые клетки, повторные облучения*

ABSTRACT

Purpose: o study the ability of diploid yeast cells to recover from potentially lethal radiation damage induced by repeated exposure to cells completely recovered from the previous irradiation.

Material and methods: After irradiation of diploid yeast cells with ^{60}Co γ-rays or ^{239}Pu α-particles and their complete recovery from potentially lethal damage, the cells were irradiated repeatedly. The sequence of irradiation-recovery was repeated thirdly. Basing on the mathematical model of recovery, the probability of recovery per unit time and the portion of irreversibly damaged cells were quantitatively evaluated.

Results: It was shown that the part of irreversibly damaged cells increased after repeated exposure. This effect was more expressed after exposure with high LET ionizing radiation. On the contrary, the constant of recovery, characterizing the probability of recovery per unit time, didn't depend on the number of repeated irradiation, but it slightly decreased after high LET irradiation.

Conclusion: Concluded that the decrease in the cell ability to recover from potentially lethal radiation damage, expressed in a great extent after exposure with high LET ionizing radiation, is mainly explained by the increase in the part of irreversibly damaged cells, while the recovery process itself decreased only slightly.

Key words: *cell recovery, ionizing radiation, potentially lethal damage, mathematical model, irreversible component, the probability of recovery, yeast cells, repeated irradiation*

Введение

Известно, что при лучевом лечении опухолей дозу, требуемую для поражения всех злокачественных клеток, нельзя подвести однократно из-за поражения нормальных клеток [1, 2]. В связи с этим в онкологии используют фракционированное облучение, причем число фракций может достигать 10 и более [3]. Одна из основных проблем фракционированного облучения – восстановление клеток от сублетальных повреждений, ответственных за формирование плеча кривых «доза–эффект» в области малых доз ионизирующих излучений. Феноменологически такой тип восстановления проявляется в восстановлении сигмоидной формы кривых «доза–эффект» после каждого повторного воздействия. Закономерности такого типа восстановления достаточно хорошо изучены количественно, на этом основании предложены и внедрены в практику различные сложные схемы фракционирования [3–5], а для снижения такого восстановления предлагается использовать плотноионизирующие излучения [6]. Известно, что реакция клеток на воздействие ионизирующими излучениями детерминирует реакцию на облучение всей опухоли [7].

Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск. E-mail: vgpetin@yahoo.com

Medical Radiological Research Center, Russian, Obninsk, Russia. E-mail: vgpetin@yahoo.com

Помимо восстановления от сублетальных повреждений, восстановление от потенциально летальных повреждений может вносить вклад в изменение радиочувствительности клеток. В большинстве исследований, посвященных этой проблеме, под восстановлением от потенциально летальных повреждений понимают восстановление клеток, происходящее после облучения в непитательной среде [8–17]. Было показано, что такое восстановление может происходить и на питательной среде до завершения первого пострадиационного восстановления [8, 18], после которого происходит реализация потенциально летальных повреждений. В этих работах показано, что для дрожжевых клеток это время составляет 2–4 часа. Первое пострадиационное деление клеток млекопитающих завершается через 6–8 часов [3], следовательно, в течение этого времени инактивируемые опухолевые клетки могут восстанавливаться от потенциально летальных повреждений. Однако в литературе имеется недостаточно информации по изменению радиочувствительности и способности клеток к восстановлению от потенциально летальных повреждений после повторных облучений [4]. Дрожжевые клетки представляют собой удобный объект для таких исследований, поскольку закономерности пострадиационного восстановления хорошо изучены как на клеточном [8, 19, 24], так и на молекулярном уровне [20–22].

Ранее было показано, что при повторных γ-облучениях клеток дрожжей способность клеток к восстановлению радиационных повреждений снижалась с ростом количества последовательных облучений [8]. Однако в той работе параметры пострадиационного восстановления количественно не оценивались.

Данная работа посвящена изучению способности дрожжевых клеток к восстановлению от потенциально летальных радиационных повреждений после повторных воздействий ионизирующими излучениями с различными ЛПЭ.

Материал и методы

В опытах использовали диплоидные дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae*, штамм XS800. До облучения дрожжевые клетки культивировали на плотной питательной среде в пробирках при 30 °С до достижения ими стационарной фазы роста в течение 4 суток. Непосредственно перед облучением дрожжевые клетки смывали с поверхности агара небольшим объемом стерильной дистиллированной воды и доводили концентрацию суспензии до 10^6 клеток/мл.

В качестве редкоионизирующего излучения использовали γ-кванты ^{60}Co (установка «Исследователь», мощность дозы 23 Гр/мин). В качестве плотноионизирующего излучения – α-частицы ^{239}Pu (средняя энергия α-частиц ~ 3,5 МэВ, мощность дозы составляла 20 Гр/мин). Линейные потери энергии (ЛПЭ) γ-квантов составляли около 0,2 кэВ/мкм, а α-частиц – приметно 130 кэВ/мкм. Именно при этих значениях ЛПЭ наблюдается максимум в зависимости относительной биологической эффективности (ОБЭ) от ЛПЭ излучения. Ввиду малого пробега α-частиц (40 мкм в ткани) при облучении клеток 0,02 мл суспензии наносили на поверхность водного агара и перед облучением на 20–30 мин помещали в термостат (30 °С) для выпаривания воды из этой капли суспензии. Оставшийся монослой клеток подвергали воздействию α-частиц.

После облучения в различных дозах клетки высевали на питательную среду либо сразу после воздействия, либо после различных сроков восстановления от потенциально летальных повреждений, которое происходило в непитательной среде в течение трех суток при температуре 30 °С. Отметим, что ту же самую первоначальную суспензию клеток подвергали повторным воздействиям с последующими периодами восстановления в непитательной среде. Суспензии клеток, облученных γ-квантами в дозе 1200 Гр или α-частицами в дозе 400 Гр, после полного восстановления облучали повторно в тех же дозах, что и в предыдущем облучении, после чего клетки опять восстанавливались в непитательных условиях в течение трех суток. Такая процедура повторялась и в третий раз. Выживаемость клеток оценивали по их способности образовывать видимые невооруженным глазом колонии после пятисуточной инкубации на твердой питательной среде при 30 °С. Экспериментальные серии повторяли 3–5 раз. Статистическую обработку получаемых данных осуществляли общепринятым способом.

Известно [23, 24], что для описания кинетики пострадиационного восстановления животных и клеток используется следующее уравнение:

$$D_{эф}(t) = D_1 [K + (1 - K)e^{-\beta \cdot t}], \qquad (1)$$

где $D_{эф}(t)$ – биологически эффективная доза, соответствующая выживаемости клеток, достигаемой после восстановления в течение времени t (пример нахождения $D_{эф}(t)$ представлен на рис. 1А стрелками); D_1 – первоначальная доза, в которой были облучены клетки; K – необратимый компонент лучевого поражения, характеризующий долю необратимых повреждений, от которых клетки неспособны восстанавливаться; e – основание натуральных логарифмов; β – константа восстановления, характеризующая вероятность восстановления клеток от радиационных повреждений в единицу времени. Из уравнения (1) следует, что

$$\beta = \frac{1}{t} \ln \frac{D_{эф}(t) - D_{эф}(\infty)}{D_1 - D_{эф}(\infty)}, \quad (2)$$

где $D_{эф}(\infty)$ – эффективная доза, соответствующая плато кривой восстановления. Введя обозначение

$$A(t) = \ln \frac{D_{эф}(t) - D_{эф}(\infty)}{D_1 - D_{эф}(\infty)}, \quad (3)$$

получаем,

$$\beta = -\frac{1}{t} \ln A(t) \quad (4)$$

Отметим, что $A(t)$ отражает относительную часть репарируемых повреждений, которые пока еще не были восстановлены после t часов восстановления. Необратимый компонент, характеризующий долю невосстановленных радиационных повреждений после полного восстановления, определятся выражением

$$K = D_{эф}(\infty) / D_1. \quad (5)$$

Тогда его изменение в зависимости от продолжительности восстановления описывается формулой

$$K(t) = D_{эф}(t) / D_1. \quad (6)$$

Описанную математическую модель ранее применяли для оценки параметров восстановления облученных животных [23], а также бактерий и дрожжевых клеток после действия ионизирующих излучений [8, 24] и ультрафиолетового света [25]. Опубликованы данные об использовании этой методологии для описания процессов восстановления дрожжевых клеток и культивируемых клеток млекопитающих после комбинированных воздействий различных физических и химических факторов [26–31]. В данной работе эта модель была использована для количественной оценки параметров восстановления дрожжевых клеток от потенциально летальных повреждений после повторных воздействий ионизирующих излучений различного качества.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены зависимости выживаемости клеток от дозы γ-облучения и кривые зависимости выживаемости от продолжительности восстановления в непитательной среде диплоидных дрожжей штамма XS800. Далее для простоты эти кривые будем называть кривыми выживаемости и кривыми восстановления соответственно. На этом рисунке представлены данные после первого воздействия γ-квантов и восстановления (А), а так же данные после повторного (Б) и третьего облучения (В). Аналогичные данные после α-облучения приведены на рис. 2.

В таблице приведены результаты количественной оценки среднелетальных доз $D_0(\gamma)$ и $D_0(\alpha)$кривых выживаемости до и после полного восстановления клеток после различного числа повторных облучений. Среднелетальная доза – доза, снижающая выживаемость в $e = 2{,}72$ раза на прямолинейном участке кривых выживаемости, представленных в полулогариф-

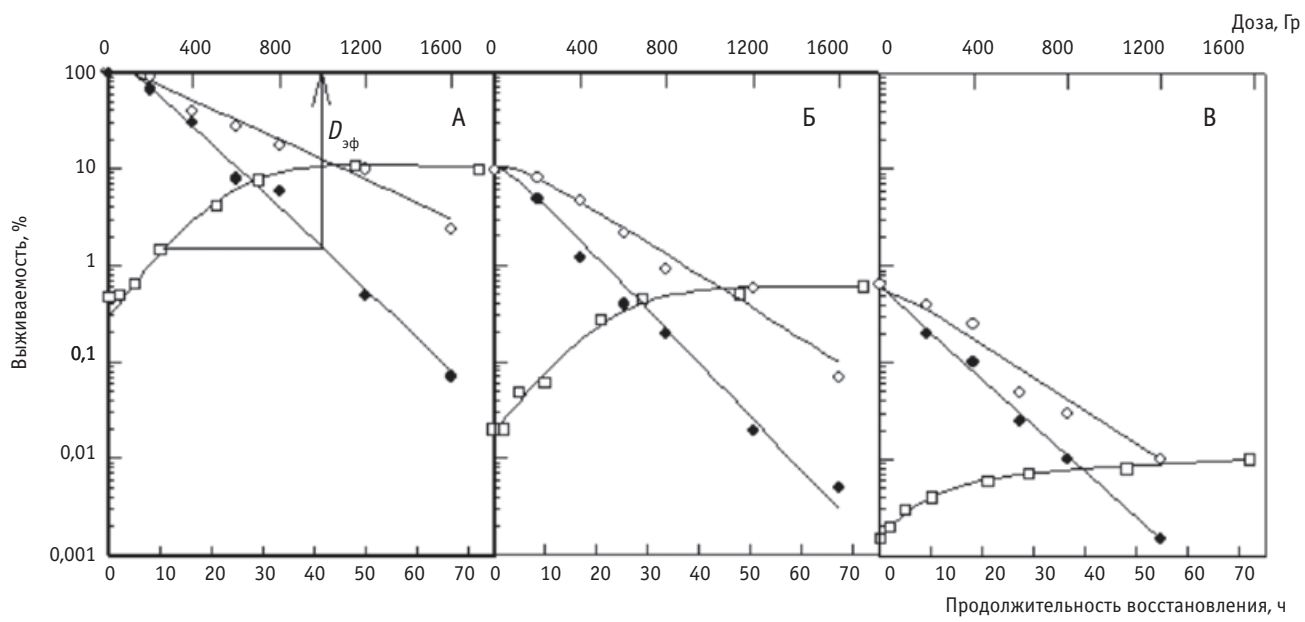


Рис. 1. Кривые выживаемости, полученные сразу после облучения (темные кружки) и после полного восстановления (светлые кружки) и кривая восстановления в динамике (светлые квадраты) диплоидных дрожжевых клеток штамма XS800 после γ-облучения. А – первое облучение, Б – второе облучение, В – третье облучение

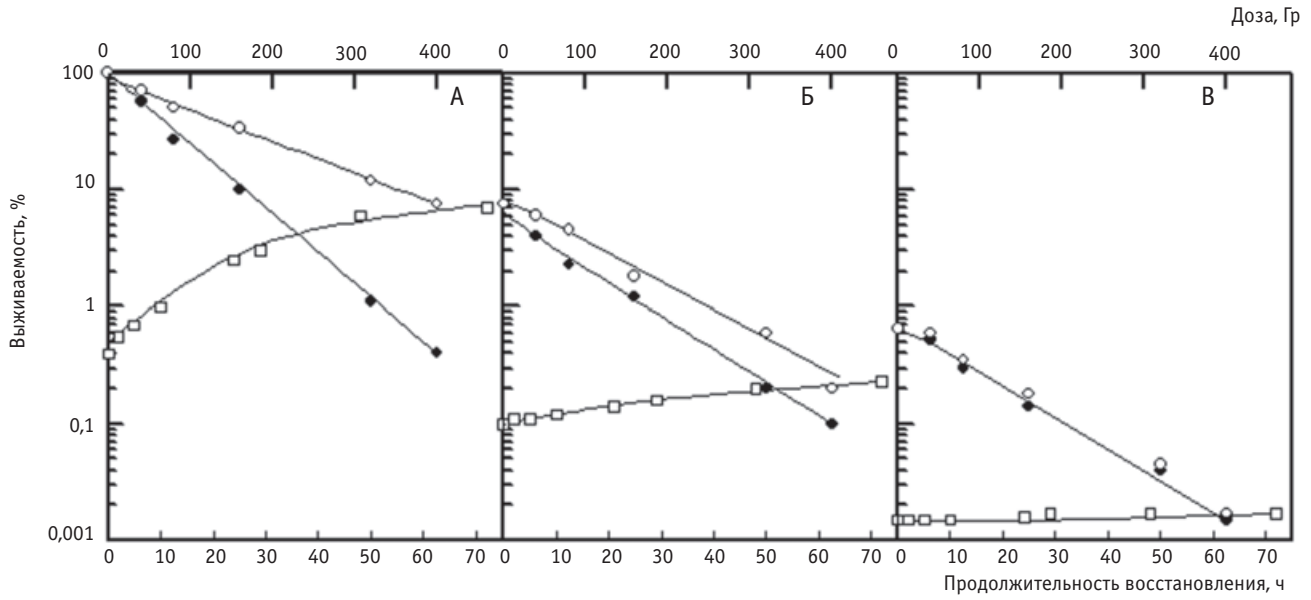


Рис. 2. Кривые выживаемости, полученные сразу после облучения (темные кружки) и после полного восстановления (светлые кружки) и кривая восстановления в динамике (светлые квадраты) диплоидных дрожжевых клеток штамма XS800 после α-облучения. А – первое облучение, Б – второе облучение, В – третье облучение

мическом масштабе. В этой же таблице суммированы данные количественной оценки константы восстановления β (формула 4) и необратимого компонента *K* (формула 5) после различного числа повторных воздействий редко- и плотноионизирующим излучением. Видно, что повторные воздействия обоими видами излучений не вносили изменений в радиочувствительность ($1/D_0$) клеток.

Из данных, приведенных на рис. 1 и 2, видно замедление процессов восстановления и снижение уровня, до которого восстанавливаются клетки при повторных облучениях. Этот эффект был особенно ярко выражен после действия излучения с высокими ЛПЭ: после повторного облучения восстановление резко замедлилось, а после третьего – полностью прекратилось. Оба эти эффекта могли быть обусловлены либо увеличением доли необратимо пораженных клеток, либо поражением самого процесса восстановления (резкое снижение вероятности восстановления β), либо оба эти процесса происходили одновременно.

Чтобы дифференцировать эти возможности, мы на основании данных, приведенных на рис. 1 и 2, количественно оценили зависимость доли необратимо пораженных клеток $K(t)$ (формула 6), а также относительную часть $A(t)$ репарируемых повреждений, которые не были восстановлены после *t* часов восстановления (формула 3), от продолжительности восстановления. Эти данные позволили нам рассчитать значения необратимого компонента *K* и константы восстановления β. Результаты представлены в таблице. Видно, что значение β не зависит от числа повторных облучений и несколько уменьшается после воздействий излучения с высокой ЛПЭ. Необратимый компонент радиационного поражения *K* несколько возрастает после третьего воздействия излучения с низким ЛПЭ и значительно возрастает после действия плотноионизирующего излучения, вплоть до полного прекращения после третьего воздействия.

Увеличение доли необратимо пораженных клеток после повторных облучений может происходить по двум причинам: либо вследствие образования ради-

Таблица

Параметры процесса пострадиационного восстановления

Вид излучения	Количество облучений	D_0, Гр (до восстановления)	D_0, Гр (после восстановления)	β, (1/час)	K
γ	1	243	440	0,055	0,45
	2	199	344	0,055	0,46
	3	172	258	0,055	0,66
α	1	71	150	0,041	0,47
	2	86	110	0,041	0,77
	3	93	93	0,041	1

ационных повреждений, от которых клетки не могут восстанавливаться, либо вследствие угнетения самого процесса восстановления. Как видно из таблицы, для обоих видов излучения, вне зависимости от количества повторных воздействий, β изменяется в незначительной степени. Это означает, что сам процесс пострадиационного восстановления не повреждается после действия как редко-, так и плотноионизирущих излучений. Это соответствует ранее опубликованным результатам [27], полученным на большом количестве штаммов дрожжевых клеток.

Таким образом, приведенные данные показывают, что возрастание доли необратимо поврежденных клеток с ростом ЛПЭ излучения в меньшей степени связано с нарушением систем репарации, а в большей степени – с необратимым компонентом радиационного повреждения, т.е. формированием более тяжелых повреждений, от которых клетки не способны восстанавливаться.

Известно [1–6], что основным преимуществом использования плотноионизирующих излучений в лучевой терапии являются уменьшение степени изогнутости начального участка кривой выживаемости, результатом которого является значительное снижение способности клеток восстанавливаться от сублетальных повреждений при повторных облучениях. Новые результаты, полученные в данной работе, указывают на то, что при повторных облучениях плотноионозирующим излучением резко уменьшается способность клеток восстанавливаться и от потенциально летальных повреждений за счет формирования необратимых повреждений, от которых клетки не способны восстанавливаться.

Выводы

1. При повторных воздействиях на диплоидные дрожжевые клетки ионизирующих излучений с низкими и высокими ЛПЭ константа восстановления, характеризующая вероятность восстановления клеток в единицу времени, не зависит от числа повторных облучений.
2. Вероятность восстановления дрожжевых клеток в единицу времени после воздействия плотноионизирующего излучения несколько уменьшается по сравнению с редкоионизирующим излучением.
3. При повторных воздействиях плотноионозирующего излучения резко уменьшается способность клеток восстанавливаться от потенциально летальных повреждений за счет формирования необратимых повреждений, от которых клетки не способны восстанавливаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Линденбратен Л.Д., Королюк И.П.* Медицинская радиология (основы лучевой диагностики и лучевой терапии). – М.: Медицина, 2000, 672 с.
2. *Цыб А.Ф., Гулидов И.А.* Современное состояние лучевой терапии злокачественных новообразований. // В кн. «Терапевтическая радиология» – М.: ООО «МК», 2010, С. 7–12.
3. *Ярмоненко С.П., Конопляников А.Г., Вайнсон А.А.* Клиническая радиобиология. – М.: Медицина, 1992, 317 с.
4. *Hall E.J., Giaccia A.J.* Radiobiology for the Radiologist. – Lippincott, Williams and Wilkins, 2006, 546 pp.
5. *Когл Дж.* Биологические эффекты радиации. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1986, 183 с.
6. *Raju M.R.* Heavy particle radiotherapy. – New York: Academic Press, 1980, 500 pp.
7. *Steel G.G.* Cell survival as a determinant of tumor response. // In: "Basic Clinical Radiobiology". – New York: E. Arnold Publ., 2002, P. 53–53.
8. *Корогодин В.И.* Проблемы пострадиационного восстановления. – М.: Атомиздат, 1966, 391 с.
9. *Kumar A., Kiefer J., Schneider E., Crompton N.E.A.* Inhibition of recovery from potentially lethal damage by chemicals in Chinese hamster V79 A cells. // Radiat. Environ. Biophys., 1985, **24**, No. 2, P. 89–98.
10. *Kumar A., Kiefer J., Schneider E., Crompton N.E.A.* Enhansed cell killing, inhibition of recovery from potentially lethal damage and increaced mutation frequency by 3-aminobenzamide in Chinese hamster V79 A cells exposed to X-rays. // Int. J. Radiat. Biol., 1985, **47**, No. 1, P. 103–112.
11. *Jorritsma J.B.M., Konings A.W.T.* Inhibition of repair of radiation-induced strand breaks by hypertermia, and its relationship to cell survival after hyperthermia alone. // Int. J. Radiat. Biol., 1983, **43**, P. 505–516.
12. *Li G.C., Evans R.G., Hahn G.M.* Modification and inhibition of repair of potentially lethal x-ray damage by hyperthermia. // Radiat. Res., 1976, **67**, No. 3, P. 491–501.
13. *Raaphorst G.P., Azzam E.I., Felley M.M.* Potentially lethal radiation damage repair and its inhibition by hyperthermia in normal hamster cells, mouse cells, and transformed mouse cells. // Radiat. Res., 1988, **113**, P. 171–182.
14. *Raaphorst G.P., Felley M.M., Dajoux C.E., Da Silva V., Gerig L.H.* Hyperthermia enhancement of radiation response and inhibition of recovery from radiation damage in human glioma cells. // Int. J. Hyperthermia, 1991, **7**, No. 4, P. 629–641.
15. *Leith J.T., Miller R.C.,Gerner E.W., Boone M.L.M.* Hyperthermic potentiation. Biological aspects and applications to radiation therapy. // Cancer, 1977, **39**, P. 766–779.

16. *Hall E.J.* Radiobiology for the Radiologist. – New York: Harper & Row, 1988, 257 pp.
17. *Little J.B., Ueno A.M., Dahlberg W.K.* Differential response of human and rodent cell lines to chemical inhibition of the repair of potentially lethal damage. // Radiat. Environ. Biophys., 1989, **28**, No. 3, P. 193–202.
18. *Капульцевич Ю.Г., Петин В.Г., Корогодина Ю.В., Корогодин В.И.* Оценка вклада пострадиационного восстановления в радиочувствительность дрожжевых клеток. // Известия АН СССР. Серия биологическая. 1974, № 4, С. 549–562.
19. *Петин В.Г.* Генетический контроль модификаций радиочувствительности клеток. – М.: Энергоатомиздат, 1987, 208 с.
20. *Luchnik A.N., Glaser V.M., Shestakov S.V.* Repair of DNA double-strand breaks requires two homologous DNA duplexes. // Mol. Biol. Repts., 1977, **3**, No. 6, P. 437–442.
21. *Frankenberg D., Frankenberg-Schwager M., Blöcher D., Harbich R.* Evidence for DANN double-strand breaks as the critical lesions in yeast cells irradiated with sparsely or densely ionizing radiation under oxic or anoxic conditions. // Radiat. Res., 1981, **88**, No. 3, P. 524–532.
22. *Glasunov A.V., Glaser V.M., Kapultsevich Yu.G.* Two pathways of DNA double-strand break repair in Gl cell of *Saccharomyces cerevisiae*. // Yeast, 1989, No. 5, P. 131–139.
23. *Дэвидсон Г.О.* Биологические последствия общего гамма-облучения человека. Пер. с англ. Под ред. *М.Ф. Поповой*. – М.: Госатомиздат, 1960, 108 с.
24. *Капульцевич Ю.Г.* Количественные закономерности лучевого поражения клеток. – М.: Атомиздат, 1978, 230 с.
25. *Кабаков Е.Н., Корогодин В.И.* О природе плато фотореактивации дрожжевых клеток. // В сб.: «Защита и восстановление при лучевых повреждениях». Под ред. *Э.Я. Граевского, В.И. Иванова, В.И. Корогодина*. – М.: Наука, 1966, С. 109–117.
26. *Комарова Л.Н., Петин В.Г., Тхабисимова М.Д.* Восстановление клеток китайского хомячка под влиянием комбинированного воздействия рентгеновского излучения и химических препаратов. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2002, **47**, № 4, С. 17–22.
27. *Petin V.G., Kim J.K.* Survival and recovery of yeast cells after combined treatments with ionizing radiation and heat. // Radiat. Res., 2004, **161**, No. 1, P**.** 56–63.
28. *Kim J.K., Petin V.G., Tkhabisimova M.D.* Survival and recovery of yeast cells after simultaneous treatment of UV light radiation and heat. // Photochem. Photobiol., 2004, **79,** No. 4, P. 349–355.
29. *Kim J.K., Komarova L.N., Tkhabisimova M.D. et al.* Inhibition of recovery from potentially lethal damage by chemicals in Chinese hamster cells is realized through the production of irreversible damage. // Kor. J. Environ. Biol., 2005, **23**, No. 4, P. 390–397.
30. *Солодкова А.А., Кабакова Н.М., Петин В.Г.* Количественная оценка параметров восстановления дрожжевых клеток, облученных в присутствии цистеамина. // Радиац. биол. Радиоэкол., 2012, **52**, №1, С. 71–76.
31. *Евстратова Е.С.* Количественное описание восстановления клеток млекопитающих после комбинированных воздействий ионизирующих излучений и химических агентов. // Радиац. биол. Радиоэкол., 2012, **52**, № 3, С. 268–275.

Поступила: 06.05.2013.
Принята к публикации: 03.07.2013.

Ю.И. Гаврилин

РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ^{131}I С УЧЕТОМ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТИ

Yu.I. Gavrilin

Retrospective Estimation of ^{131}I Integrated Deposition Considering Prolonged Character of Area Contamination

РЕФЕРАТ

Цель: Получение используемых при ретроспективной оценке значений тиреоидной дозы надёжных результатов восстановления интегральных выпадений ^{131}I с учётом пролонгированных выпадений радионуклидов, прежде всего, по территориям с выпадениями ^{137}Cs меньше $3{,}7\times10^4$ Бк/м^2.

Материал и методы: В работе использованы результаты определения суточных выпадений ^{131}I на планшеты по 43 опорным пунктам, полученные сотрудниками НПО «Тайфун» путём обработки соответствующих материалов, поступавших из разных регионов бывшего СССР. Использованы также результаты определения активности ^{131}I и ^{137}Cs в пробах почвы, отобранных сотрудниками ИАЭ АН БССР и другими исследователями по разным территориям в различные сроки после аварии на ЧАЭС. Изложен новый методический подход к получению достоверных результатов определения интегральных выпадений ^{131}I наиболее простым способом.

Результаты: 1) Показано что значение отношения суммарной активности ^{131}I ($G_{\Sigma\Sigma}(I)$) к его интегральным выпадениям $q_\Sigma(I)$ достигает своего предельного (П) значения на 56-е сутки день после аварии на ЧАЭС. Для территорий с выпадениями ^{131}I более 4500 Бк/м^2 получено П =12 и для территорий с его выпадениями меньше 4500 Бк/м^2 – П = 11.

2) Показано, что переход от накопленной в почве активности ^{131}I ($G_{\Sigma\Gamma}(I)$) на день *t* после аварии к его суммарной активности, например, за 56 дней, начиная со дня аварии, возможен путём использования соотношения $G_{\Sigma\Gamma}(I)\ Z = G_{\Sigma\Sigma}(I)$. Значения коэффициента Z определены по 10 опорным (индекс «О») пунктам за каждый день от 26.04 по 12.07 1986 г. со значениями интегральных выпадений ^{131}I ($q_\Sigma(I)$) от $4{,}3\times10^3$ до $2{,}7\times10^6$ Бк/м^2.

Измеренные по населённым пунктам $НП_{jx}$ территории (x) значения активности $G_{\Sigma\Gamma}(I)_{jx}$ в почве на любой день *t* сопоставлены с табличными значениями $G_{\Sigma\Gamma}(I)_O$ по опорным $НП_O$ на тот же день *t*, выбирая из них наиболее близкие соответствующие значения $G_{\Sigma\Gamma}(I)_O$ вместе с соответствующим значением Z. Значения интегральных выпадений ^{131}I для $НП_{jx}$ определяют по соотношению $q_\Sigma(I)_{jx} = G_{\Sigma\Gamma}(I)_{jx}\times Z / П$. Расшифровка обозначений дана во введении.

Полученные значения параметра $q_\Sigma(I)_{jx}$, в совокупности с соответствующими значениями параметра $q_\Sigma(Cs)_{jx}$, используют для построения зависимости значений $q_\Sigma(I)_{jx}$ от $q_\Sigma(Cs)_{jx}$ по исследуемой территории, в соответствии с которой восстанавливают интегральные выпадения ^{131}I по $НП_{jx}$, для которых известны только интегральные выпадения ^{137}Cs.

Вывод: В соответствии с поставленной задачей разработан простой и надёжный метод восстановления интегральных выпадений ^{131}I по исследуемым территориям.

Ключевые слова: *авария на ЧАЭС, ретроспективная дозиметрия, выпадения ^{131}I и ^{137}Cs, щитовидная железа*

ABSTRACT

Purpose: Development of reliable method for estimation of integrated ^{131}I deposition considering prolonged fall-out character, first of all, for the areas with density of ^{137}Cs deposition less than $3.7\ 10^4$ Bq m^{-2}. Those estimates will be used in order to reconstruct the thyroid doses.

Material and methods: We used the results of determination of daily deposition of ^{131}I on plane-tables placed in 43 reference points which were received by the staff of Scientific Production Association "Taifun" from various regions of former USSR being based on treatment with corresponding materials. In addition, the results of determination of ^{131}I and ^{137}Cs activity in soil samples collected by the staff of the Institute of Nuclear Energy (Belarus) and other researchers in various areas at different times after the Chernobyl accident have been used. A new reliable method for estimation of integrated ^{131}I deposition using the simplest way is presented.

Results: 1) It has been shown that the value of the ratio of total activity of ^{131}I ($G_{\Sigma\Sigma}(I)$) to the integrated deposition of ^{131}I $q_\Sigma(I)$ reaches its maximum value on 56-th day after the Chernobyl accident. For the areas with deposition of ^{131}I more than 4500 Bq m^{-2} a relationship has been received $G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_\Sigma(I) = П = 12$ while for the areas with deposition of ^{131}I less than 4500 Bq m^{-2} – $G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_\Sigma(I) = П = 11$.

2) It has been shown that the transfer from accumulated activity of ^{131}I in soil ($G_{\Sigma\Gamma}(I)$) on day (t) to the integrated activity of ^{131}I, for example, during 56 days counting from the date of the accident can be taken into account by using the relationship $G_{\Sigma\Gamma}(I) \times Z = G_{\Sigma\Sigma}(I)$. The values of coefficient of Z have been determined for 10 reference (index «O») cities for each day from 26.04 to 12.07.1986 with the values of the integrated deposition of ^{131}I $q_\Sigma(I)$ from 4.3×10^3 to 2.7×10^6 Bq m^{-2}.

The measured values of activity $G_{\Sigma\Gamma}(I)_{jx}$ in soil for any day (t) in the vicinity of the settlement «j» located in territory «x» $НП_{jx}$ are compared with the values from Table $G_{\Sigma\Gamma}(I)_O$ for reference cities $НП_O$ for the same day (*t*), selecting the most close to the corresponding values of $G_{\Sigma\Gamma}(I)_O$ together with corresponding value of Z. The values of integrated deposition for $НП_{jx}$ are assessed according to the relationship $q_\Sigma(I)_{jx} = G_{\Sigma\Gamma}(I)_{jx}\times Z / П$. Clarification of the parameters used is presented in section "Introduction".

The calculated values of parameter $q_\Sigma(I)_{jx}$ together with corresponding values of parameter $q_\Sigma(Cs)_{jx}$ are used to derive the relationship of $q_\Sigma(I)_{jx}$ versus $q_\Sigma(Cs)_{jx}$ for an area of interest, according to which the integrated deposition of ^{131}I are assessed for $НП_{jx}$ where only integrated values of ^{137}Cs are known.

Conclusion: A simple and reliable method for reconstruction of the integrated deposition of ^{131}I for areas of interest has been developed.

Key words: *Chernobyl accident, retrospective dosimetry, deposition of ^{131}I and ^{137}Cs, thyroid gland*

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва. E-mail: yqavrilin@mail.ru

Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia. E-mail: yqavrilin@mail.ru

Введение

Предложен новый методический подход к получению достоверных результатов определения интегральных послеаварийных выпадений ^{131}I из атмосферы наиболее простым способом.

Целью данной работы является получение используемых при ретроспективной оценке значений тиреоидной дозы надежных результатов восстановления интегральных выпадений ^{131}I с учетом пролонгированных выпадений радионуклидов, прежде всего, по территориям с выпадениями ^{137}Cs меньше $3{,}7\times10^4$ Бк/м^2.

После аварии на ЧАЭС целенаправленные радиационные исследования, связанные с определением содержания ^{131}I в почве, на таких территориях практически не проводились. В последующие годы было установлено существенное изменение значений соотношения $^{131}I/^{137}Cs$ по разным территориям, например, с юга на север при общем увеличении значений соотношения $^{131}I/^{137}Cs$ с уменьшением выпадений ^{137}Cs.

В этой связи повышается актуальность решения задачи, связанной с восстановлением интегральных выпадений ^{131}I на почву по населенным пунктам (НП), расположенным на территориях с относительно малыми первоначальными выпадениями радионуклидов.

Желательно, чтобы решение поставленной задачи было наиболее простым и обеспечивало получение надежных результатов определения интегральных выпадений ^{131}I и, соответственно, значений тиреоидной дозы [1].

Используемые далее обозначения и термины приведены в глоссарии.

Материал и методы

Были использованы результаты определения суточных выпадений ^{131}I на планшеты по 43 опорным пунктам, полученные сотрудниками НПО «Тайфун» [2] путем обработки соответствующих материалов, поступавших из разных регионов бывшего СССР. Использованы также результаты определения активности ^{131}I и ^{137}Cs в пробах почвы, отобранных сотрудниками ИАЭ АН БССР и другими исследователями по разным территориям в различные сроки после аварии на ЧАЭС.

Наиболее просто значения интегральных выпадений ^{131}I в ареале расположения $НП_j$ могут быть получены путем суммирования его суточных выпадениях

Глоссарий

Термины и обозначения	Значения и размерности
Эталонная территория	В качестве таковой принята территория, на которой расположены 40 населенных пунктов Брагинского (20 НП) и Хойницкого (20 НП) районов Гомельской области Белорусси, по каждому из которых определены интегральные выпадения ^{131}I и средние значения тиреоидной дозы [1].
Территория j	Территория, занимаемая одним населенным пунктом $(НП)_j$.
Территория x	Территория, на которой расположено n населенных пунктов $(НП)_{xj}$.
Территория z	Территория, на которой расположено несколько территорий x с населенными пунктами $(НП)_{zxj}$.
Условная почва	Данный термин характеризует переход от активности суточных выпадений ^{131}I на планшеты к активности его гипотетических суточных выпадений на почву в месте установки планшета при гипотетическом отсутствии последнего.
$НП_О$	Опорный (индекс $_О$) населенный пункт, по которому имеются результаты определения суточных выпадений ^{131}I.
w	Коэффициент перехода от активности суточных выпадений ^{131}I $(q_t(I)_О)$ на планшеты к его выпадениям $q_t(I)$ на условную почву. $q_t(I) = q_t(I)_О / \omega$
$q_t(I)$	Активность суточных выпадений ^{131}I на условную почву в день ***t*** после аварии, Бк/м^2.
$q_\Sigma(I)$	Активность интегральных выпадений ^{131}I на условную почву за значимый период его выпадений (например, за 56 суток после аварии), Бк/м^2.
$q_t(Cs)$	Активность суточных выпадений ^{137}Cs на почву в день ***t*** после аварии, Бк/м^2.
$q_\Sigma(Cs)$	Активность интегральных выпадений ^{137}Cs на почву за значимый период выпадений ^{131}I после аварии (например, за 56 суток после аварии), Бк/м^2.
$G_{\Sigma В}(I)$	Сумма значений активности ^{131}I в условной почве, обусловленная его выпадениями в день ***t*** после аварии с последующим радиоактивным распадом до дня ***n*** с $T_{1/2} = 8{,}04$ суток, Бк/м^2.
$G_{\Sigma Г}(I)$	Накопленная активность ^{131}I в условной почве на день ***t***, обусловленная его накоплением в результате предшествующих выпадений, и одновременным (более значимым) уменьшением его активности в результате физического распада с $T_{1/2} = 8{,}04$ суток, Бк/м^2.
$G_{\Sigma\Sigma}(I)$	Суммарная активность ^{131}I в почве, определяемая по сумме значений $G_{\Sigma В}(I)$ или $G_{\Sigma Г}(I)$, Бк/м^2
П	Коэффициент **п**ерехода от суммарной активности ^{131}I к активности его интегральных выпадений за 56 суток после аварии и наоборот. $П = G_{\Sigma\Sigma}(I)_О / q_\Sigma(I)_О$.
Z	Коэффициент перехода от накопленной активности ^{131}I $(G_{\Sigma Г}(I)_О)$ в условной почве в любой день ***t*** к его суммарной активности $G_{\Sigma\Sigma}(I)_О$, например, за 56 суток после аварии. $Z = G_{\Sigma\Sigma}(I)_О / G_{\Sigma Г}(I)_О$.
$G_{\Sigma Г}(I)_И$	Измеряемая (индекс «И») на практике накопленная активность ^{131}I в почве на день ***t***, Бк/м^2.

на планшеты. Число таких $НП_j$ невелико. Однако, как будет показано далее, велико их значение. Соответствующая информация по 43 городам Белоруссии, Украины, России, Латвии и Литвы представлена в работе [2].

Важно подчеркнуть, что механизм осаждения ^{131}I на планшеты отличается от механизма его осаждения на почву, в основном, из-за наличия бортиков у планшетов. По результатам проведенных экспериментов [3] было определено значение коэффициента ω, для перехода от выпадений ^{131}I на планшеты к его условным выпадениям на почву (ω = 0,7 ± 0,3). В соответствии с этим результаты измерения активности ^{131}I в суточных выпадениях на планшеты были разделены на значение указанного коэффициента ω для перехода к суточным выпадениям ^{131}I на почву.

Планшеты экспонировали с $8^{\underline{00}}$ каждого дня до $8^{\underline{00}}$ следующего дня. По всем пунктам 43 городов представлены результаты определения суточных выпадений ^{131}I на планшеты, начиная с 25.05.1986 г. (интервал экспонирования с $8^{\underline{00}}$ 25.05 по $8^{\underline{00}}$ 26.04.1986 г.). Продолжительность отбора планшетных проб по разным городам варьировала от 12 до 55 дней. До 10.05.1986 г. результаты определения активности ^{131}I имеются за каждый день для всех городов. По разным городам наблюдается отсутствие результатов измерений за разные даты экспонирования планшетов. Там, где данных прямых измерений было недостаточно, исходный массив дополнялся результатами оценки выпадений ^{131}I по пространственно-временным корреляционным связям с выпадениями суммарной бета-активности, с выпадениями ^{137}Cs, с мощностью дозы гамма-излучения почвы и т.п.

В работе [2] в графическом виде представлены также (в сопоставлении) восстановленные «непрерывные ряды наблюдений суточных выпадений ^{131}I по 31.05.1986 г. (36 суток после аварии), а также зависимость кумулятивных выпадений ^{131}I от времени. Представленные города могут быть приняты в качестве опорных населенных пунктов. Далее будет показана целесообразность продления по опорным населенным пунктам непрерывных рядов суточных выпадений ^{131}I, по крайней мере, по 20.06.1986 г. (56 суток после аварии).

Результаты и обсуждение

Связь между интегральными выпадениями ^{131}I и его суммарной активностью по опорным населенным пунктам. При решении поставленной задачи за основу были приняты результаты определения суточных выпадений ^{131}I $q_t(I)$ на планшеты и восстановленные по 31.05.86 г. значения накопленной активности ^{131}I $G_{\Sigma\Gamma}$ в условной почве на каждую дату (индекс *t*) отбора проб [2]. Эти данные были дополнены восстановленными значениями величин $q_t(I)$ и $G_{\Sigma\Gamma}(I)$ по 20.05.1986 с учетом сухих и влажных выпадений ^{131}I (рабочие материалы Белгидромета (г. Минск)).

Таблица 1

Фрагмент матрицы, демонстрирующий процедуру определения значений параметров q_Σ, $G_{\Sigma m}$, $G_{\Sigma t}$ и $G_{\Sigma\Sigma}$ на базе данных о суточных выпадениях ^{131}I ($q_t(I)$) в ареале расположения Гомеля

Дата 1986 г.	$q_t(I)$ Бк/м²	t	Значения активности ^{131}I, обусловленные законом радиоактивного распада $A = A_0 \times e^{-\lambda \cdot t}$, где в качестве A_0 фигурируют значения суточных выпадений йода $q_t(I)$ (выделены жирным шрифтом)															$G_{\Sigma\Gamma}(I)$ Бк/м²
			k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	
26 апр.	8,25E+01	0	83															8,25E+01
27 апр.	3,26E+02	1	76	326														4,02E+02
28 апр.	9,43E+03	2	69	299	9430													9,80E+03
29 апр.	2,43E+06	3	64	274	8651	2427659												2,44E+06
30 апр.	1,61E+05	4	58	252	7937	2227160	161098											2,40E+06
01 мая	1,30E+04	5	54	231	7281	2043221	147793	12982										2,21E+06
02 мая	6,12E+03	6	49	212	6680	1874473	135587	11910	6121									2,04E+06
03 мая	1,77E+03	7	45	194	6128	1719661	124389	10926	5615	1770								1,87E+06
04 мая	5,40E+03	8	41	178	5622	1577636	114116	10024	5152	1624	5400							1,72E+06
05 мая	1,89E+03	9	38	164	5158	1447340	104691	9196	4726	1490	4954	1892						1,58E+06
06 мая	1,68E+03	10	35	150	4732	1327805	96045	8436	4336	1367	4545	1736	1676					1,45E+06
07 мая	1,49E+03	11	32	138	4341	1218143	88112	7740	3978	1254	4170	1592	1538	1492				1,33E+06
08 мая	2,36E+03	12	29	126	3982	1117537	80835	7100	3649	1150	3825	1461	1411	1369	2356			1,22E+06
09 мая	3,17E+03	13	27	116	3654	1025241	74159	6514	3348	1055	3509	1340	1294	1256	2161	3170		1,13E+06
10 мая	6,94E+02	14	25	106	3352	940567	68034	5976	3071	968	3219	1230	1187	1152	1983	2908	694	1,03E+06
	$q_\Sigma(I)$ = 2,63E+06	$G_{\Sigma B}$	7,25 E+02	2,77 E+03	7,69 E+04	1,89 E+07	1,19 E+06	9,08 E+04	4,00 E+04	1,07 E+04	2,96 E+04	9,25 E+03	7,11 E+03	5,27 E+03	6,50 E+03	6,08 E+03	6,94 E+02	$G_{\Sigma\Sigma}$ = 2,04E+07

Восстановление значений величин $q_{\Sigma}(I)$ и $G_{\Sigma B}$ осуществляли по соотношениям:

$$q_{\Sigma}(I) = \sum_{t=0n}^{n} q_t(I) \qquad (1)$$

$$G_{\Sigma B}(I) = \sum_{t=1}^{} (q_{t-1}(I) \quad \cdot \ ^{-0,0862 \cdot \triangle t}) \qquad (2)$$

Восстановленные значения суммарной (интегральной) активности $G_{\Sigma\Sigma}(I)$ рассчитаны по соотношению:

$$G_{\Sigma\Sigma}(I) = \sum_{\grave{e}=1}^{N} G_{\Sigma Bk}(I) \qquad (3)$$

или

$$G_{\Sigma\Sigma}(I) = \sum_{t=0}^{n} G_{\Sigma\Gamma t}(I) \qquad (4)$$

В табл. 1 представлен фрагмент матрицы, демонстрирующий процедуру определения значений параметров q_{Σ}, $G_{\Sigma B}$, $G_{\Sigma\Gamma}$, и $G_{\Sigma\Sigma}$ на базе данных о суточных выпадениях ^{131}I $q_t(I)$ в расположении Гомеля. Индексы «В» и «Г» характеризуют суммирование по вертикали и горизонтали. В соответствии с данными табл. 1 значения $G_{\Sigma\Gamma}$ на день *t* определяются простым построчным суммированием значений активности, реализовавшейся в результате выпадений йода в день *t*, а также в предыдущие дни с учетом распада.

На рис. 1–2 представлены в сопоставлении (в качестве примера) графики с зависимостью от времени (по 20.06.1986 г.) суточных выпадений ^{131}I $q_t(I)_O$ на условную почву и его посуточной активности $G_{\Sigma\Gamma}(I)_O$, изменяющейся в результате накопления и распада, в ареале расположения Гомеля (Белоруссия). Данные зависимости типичны для всех 8 опорных пунктов Белоруссии (Гомель, Пинск, Барановичи, Брест, Гродно, Могилев, Минск, Витебск) и для 2 опорных пунктов России (Москва и Обнинск).

Зависимости, представленные на рис. 1–2, отличаются от аналогичных зависимостей, представленных в [2], интервалом изменения указанных величин (56 суток вместо 36) и наличием аппроксимирующих соотношений. На рис. 2 первая точка соответствует наибольшему значению величины $G_{\Sigma\Gamma}(I)$, соответствующему максимальному значению выпадений ^{131}I 28÷29.04.1986 г. Такой подход позволяет получать наиболее достоверное значение соответствующего аппроксимирующего соотношения, позволяющего с минимизированной погрешностью оценивать значения величины $G_{\Sigma\Gamma}(I)$ в любой день с 28÷29.04.1986 г. и далее.

Результаты анализа показывают, что с уменьшением выпадений ^{131}I по указанным 8 городам Белоруссии значения $\lambda = 0,693/T_{1/2}$ (время измерения 1 сутки) изменяются от $\lambda = 0,084$ (Гомель – $q(I) = 2,7 \cdot 10^6$ Бк/м^2) до $\lambda = 0,0711$ (Обнинск – $q(I) = 4,3 \cdot 10^3$ Бк/м^2). Уменьшение значений λ обусловлено увеличением значения величины $T_{1/2}$ в результате возрастания значимости пролонгированных выпадений ^{131}I в соответствии с уменьшением первоначального загрязнения территорий (для ^{131}I $T_{1/2} = 8,04$ сут. и $\lambda = 0,0862$).

В табл. 2 представлены значения интегральных выпадений ^{131}I $q_{\Sigma}(I)$) и его суммарной (интегральной) активности $G_{\Sigma\Sigma}(I)$ за 56 суток с 26.04.1986 г., а также значения отношения $G_{\Sigma\Sigma}/q_{\Sigma}$, реализованные в почве в различные сроки после аварии в ареалах расположения 10 перечисленных городов.

Из данных табл. 2 следует, что значения отношения $G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_{\Sigma}(I)$ стремятся к пределу $G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_{\Sigma}(I) \cong 12$, который практически реализуется через 56 дней после аварии и может быть принят для 9 из 10 НП с интегральными выпадениями ^{131}I от $6,4 \times 10^3$ до $2,7 \times 10^6$ Бк/м^2.

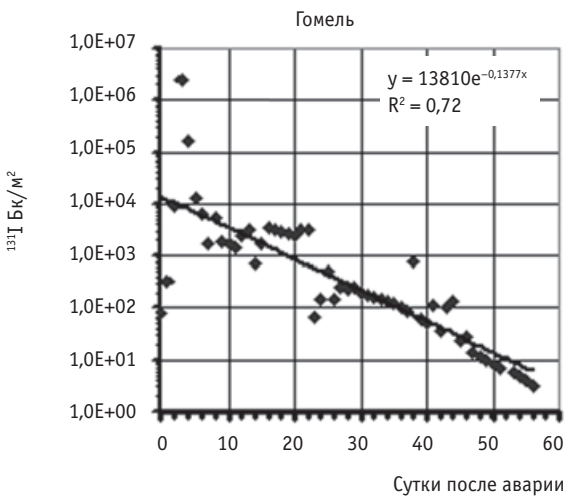


Рис. 1. Динамика суточных выпадений ^{131}I $q_t(I)$ в течение 56 суток после аварии

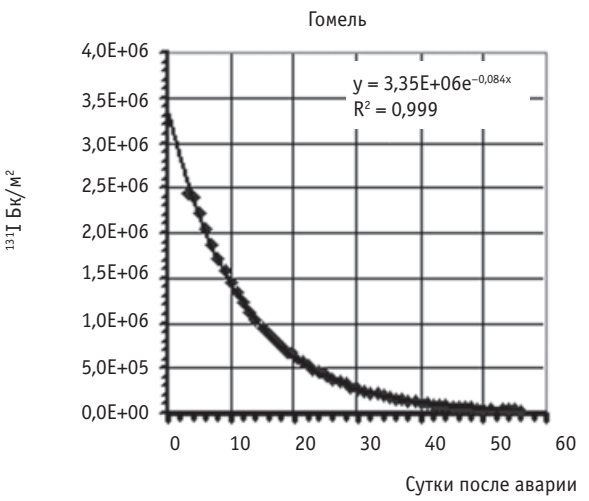


Рис. 2. Динамика суточной активности ^{131}I $G_{\Sigma\Gamma}(I)$, в условной почве в результате его накопления и распада

Таблица 2

Значения интегральных выпадений ^{131}I $q_{\Sigma}(I)$) и его суммарной (интегральной) активности $G_{\Sigma\Sigma}(I)$ за 56 суток с 26.04.1986 г., а также значения отношения $G_{\Sigma\Sigma}/q_{\Sigma}$, реализованные в гипотетической почве в различные сроки после аварии по 8 городам Белоруссии и 2 городам России

Населенный пункт	$q_{\Sigma}(I)$ к/м^2	$G_{\Sigma\Sigma}(I)$ Бк/м^2	$G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_{\Sigma}(I)$ в зависимости от даты отбора пробы после аварии				
			08.05.86	18.05.86	28.05.86	07.06.86	20.06.86
Гомель	2662613	32220701	6,9	9,9	11,2	11,7	12,1
Пинск	959383	11480161	7,3	10,0	11,2	11,7	12,0
Барановичи	469902	5626353	7,6	10,2	11,3	11,7	12,0
Брест	200365	2395098	7,2	9,9	11,1	11,6	12,0
Гродно	183806	2314345	7,1	9,7	11,0	11,6	11,9
Могилев	81740	974938	6,8	9,6	11,0	11,6	11,9
Минск	45501	539500	6,2	9,4	10,7	11,4	11,9
Витебск	9224	109267	5,2	8,8	10,6	11,3	11,9
Москва	6397	75944	5,5	8,7	10,6	11,4	11,9
Обнинск	4288	46297	5,2	7,6	7,6	10,3	10,8

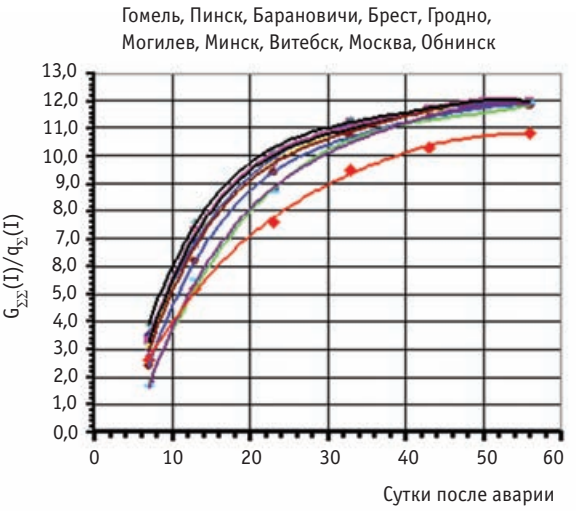


Рис. 3. Зависимость значений отношения $G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_{\Sigma}(I)$ от времени по населенным пунктам Белоруссии (8 НП) и России (2 НП)

Для Обнинска с наименьшими интегральными выпадениями ^{131}I ($q_{\Sigma}(I) = 4{,}3\times10^3$ Бк/м^2) и, соответственно, с наибольшим вкладом его пролонгированных выпадений, предельное значение отношения $G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_{\Sigma}(I) = 10{,}8$.

На рис. 3 представлена полиномиальная зависимость 4-ой степени значений отношения $G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_{\Sigma}(I)$ от времени после аварии, наглядно демонстрирующая их стремление к пределу (П). Данные по городам, представленные на рис. 3, расположены в соответствии с убыванием интегральных выпадений ^{131}I слева направо. Верхняя аппроксимирующая линия соответствует изменению во времени значений отношения $G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_{\Sigma}(I)$ по Гомелю, а самая нижняя линия по Обнинску.

Из данных, представленных в табл. 2 и на рис. 3, следует возможность простого перехода от суммарной активности ^{131}I ($G_{\Sigma\Sigma}(I)$), реализованной в почве за 56 суток после аварии, к его интегральным выпадениям $q_{\Sigma}(I)$ за тот же временной период, по соотношениям:

$$q_{\Sigma}(I) = G_{\Sigma\Sigma}(I) / П \qquad (5.1)$$

или

$$G_{\Sigma\Sigma}(I) = q_{\Sigma}(I) \times П, \qquad (5.2)$$

где П – предельное значение отношения $G_{\Sigma\Sigma}(I)/q_{\Sigma}(I)$ ≅ 12 для 9 из 10 НП.

Переход от активности ^{131}I в почве на день (t) к его суммарной активности по опорным городам и сельским населенным пунктам выделенной территории (х). При проведении радиационных исследований на местности отбор проб почвы в ареалах расположения различных НП с целью определения в ней содержания ^{131}I осуществлялся в разные сроки после аварии, в основном, в июне и по 12 июля 1986 г. При этом активность ^{131}I в почве на день (t) отбора пробы характеризуется значениями величины $G_{\Sigma\Gamma}(I)$, обусловленными его пролонгированными выпадениями и их распадом за предшествующие дни, начиная со дня аварии.

Переход от значений величины $G_{\Sigma\Gamma}(I)$ к интегральным выпадениям ^{131}I $q_{\Sigma}(I)$ возможен путем использования соотношения (5.1), модифицированного в соответствии с соотношениями:

$$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma} = Z \qquad (6.1)$$

или

$$G_{\Sigma\Sigma} = G_{\Sigma\Gamma} \times Z\,, \qquad (6.2)$$

где Z – коэффициент перехода от значений $G_{\Sigma\Gamma}$ к значениям $G_{\Sigma\Sigma}$.

Подставляя в соотношение (5.1) выражение для определения величины $G_{\Sigma\Sigma}$ (6.2), получаем:

$$q_{\Sigma}(I) = G_{\Sigma\Gamma}(I) \times Z / П \qquad (7)$$

В табл. 3 и 4 представлены значения Z, полученные по соотношению (6.1), соответственно для 6 опорных пунктов Белоруссии с наибольшими выпадениями ^{131}I и соответственно, для 4 опорных пунктов с наименьшими выпадениями ^{131}I (Белоруссия – 2 НП, Россия – 2 НП).

Из данных табл. 3 следует практически одинаковый тренд данных для опорных НП Гомель, Пинск, Барановичи. Практически одинаковый ход рядов данных характерен также и для пары НП Брест и Гродно с уже меньшими значениями $Z = G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$.

Таблица 3

Значения посуточной активности ^{131}I ($G_{\Sigma г}$) в гипотетической почве и значения отношения $G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$ в зависимости от даты отбора пробы после аварии по 6 опорным (О) городам Белоруссии с наибольшими выпадениями ^{131}I

Даты 1986 г.	Гомель $q_{\Sigma} \approx 2{,}7\times10^{6}$ Бк/м²		Пинск $q_{\Sigma} \approx 9{,}6\times10^{5}$ Бк/м²		Барановичи $q_{\Sigma} \approx 4{,}7\times10^{5}$ Бк/м²		Брест $q_{\Sigma} \approx 2{,}0\times10^{5}$ Бк/м²		Гродно $q_{\Sigma} \approx 1{,}8\ 10^{5}$ Бк/м²		Могилев $q_{\Sigma} \approx 8{,}2\ 10^{4}$ Бк/м²	
	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²
26.04		8,3E+01		3,5E+02		2,6E+02		3,0E+02		1,4E+02		8,5E+01
27.04		4,0E+02		3,1E+03		2,6E+04		1,6E+04		1,6E+03		1,3E+02
28.04		9,8E+03		7,5E+05		2,7E+05		1,3E+05		1,0E+05		2,5E+04
29.04	13	2,4E+06	14	8,1E+05	14	4,1E+05		1,5E+05	15	1,6E+05		5,9E+04
30.04	13	2,4E+06	15	7,7E+05	15	3,9E+05	15	1,6E+05	16	1,5E+05		5,6E+04
01.05	15	2,2E+06	16	7,2E+05	16	3,6E+05	16	1,5E+05	17	1,4E+05	17	5,7E+04
02.05	16	2,0E+06	17	6,7E+05	17	3,4E+05	17	1,4E+05	18	1,3E+05	18	5,5E+04
03.05	17	1,9E+06	19	6,2E+05	18	3,1E+05	19	1,3E+05	19	1,2E+05	19	5,2E+04
04.05	19	1,7E+06	20	5,7E+05	20	2,8E+05	20	1,2E+05	21	1,1E+05	20	4,9E+04
05.05	20	1,6E+06	22	5,2E+05	22	2,6E+05	22	1,1E+05	21	1,1E+05	22	4,5E+04
06.05	21	1,5E+06	24	4,8E+05	24	2,4E+05	24	1,0E+05	24	9,8E+04	24	4,2E+04
07.05	25	1,3E+06	26	4,4E+05	26	2,2E+05	26	9,2E+04	26	9,0E+04	25	3,9E+04
08.05	27	1,2E+06	28	4,1E+05	28	2,0E+05	29	8,5E+04	28	8,3E+04	27	3,6E+04
09.05	29	1,1E+06	30	3,8E+05	30	1,9E+05	31	7,9E+04	29	7,9E+04	29	3,4E+04
10.05	32	1,0E+06	33	3,5E+05	33	1,7E+05	33	7,3E+04	32	7,3E+04	31	3,2E+04
11.05	34	9,5E+05	36	3,2E+05	35	1,6E+05	36	6,8E+04	34	6,8E+04	33	3,0E+04
12.05	36	8,8E+05	40	2,9E+05	38	1,5E+05	38	6,3E+04	38	6,2E+04	35	2,8E+04
13.05	40	8,1E+05	43	2,7E+05	41	1,4E+05	42	5,8E+04	41	5,7E+04	38	2,6E+04
14.05	43	7,4E+05	46	2,5E+05	44	1,3E+05	46	5,3E+04	44	5,3E+04	41	2,4E+04
15.05	47	6,8E+05	50	2,3E+05	52	1,1E+05	49	4,9E+04	48	4,9E+04	45	2,2E+04
16.05	51	6,3E+05	55	2,1E+05	52	1,1E+05	53	4,6E+04	52	4,5E+04	49	2,0E+04
17.05	55	5,8E+05	58	2,0E+05	58	9,7E+04	56	4,3E+04	55	4,2E+04	52	1,9E+04
18.05	59	5,4E+05	64	1,8E+05	63	9,0E+04	62	3,9E+04	61	3,8E+04	55	1,8E+04
19.05	65	4,9E+05	68	1,7E+05	69	8,2E+04	67	3,6E+04	67	3,5E+04	58	1,7E+04
20.05	71	4,5E+05	72	1,6E+05	75	7,6E+04	73	3,3E+04	71	3,3E+04	62	1,6E+04
21.05	78	4,1E+05	83	1,4E+05	81	7,0E+04	78	3,1E+04	78	3,0E+04	71	1,4E+04
22.05	84	3,8E+05	89	1,3E+05	89	6,4E+04	87	2,8E+04	83	2,8E+04	76	1,3E+04
23.05	92	3,5E+05	96	1,2E+05	96	5,9E+04	93	2,6E+04	90	2,6E+04	82	1,2E+04
24.05	100	3,2E+05	105	1,1E+05	105	5,4E+04	101	2,4E+04	97	2,4E+04	90	1,1E+04
25.05	111	2,9E+05	105	1,1E+05	113	5,0E+04	105	2,3E+04	106	2,2E+04	99	1,0E+04
26.05	119	2,7E+05	119	9,7E+04	123	4,6E+04	115	2,1E+04	111	2,1E+04	103	9,6E+03
27.05	128	2,5E+05	130	8,9E+04	135	4,2E+04	128	1,9E+04	123	1,9E+04	111	8,9E+03
28.05	139	2,3E+05	141	8,2E+04	145	3,9E+04	135	1,8E+04	129	1,8E+04	120	8,2E+03
29.05	153	2,1E+05	154	7,5E+04	158	3,6E+04	152	1,6E+04	146	1,6E+04	130	7,6E+03
30.05	169	1,9E+05	165	7,0E+04	172	3,3E+04	162	1,5E+04	155	1,5E+04	141	7,0E+03
31.05	178	1,8E+05	178	6,5E+04	189	3,0E+04	162	1,5E+04	166	1,4E+04	152	6,5E+03
01.06	200	1,6E+05	193	6,0E+04	203	2,8E+04	173	1,4E+04	179	1,3E+04	159	6,2E+03
02.06	214	1,5E+05	211	5,5E+04	218	2,6E+04	202	1,2E+04	179	1,3E+04	173	5,7E+03
03.06	229	1,4E+05	227	5,1E+04	236	2,4E+04	220	1,1E+04	194	1,2E+04	183	5,4E+03

Даты 1986 г.	Гомель $q_{\Sigma} \approx 2{,}7\times10^{6}$ Бк/м²		Пинск $q_{\Sigma} \approx 9{,}6\times10^{5}$ Бк/м²		Барановичи $q_{\Sigma} \approx 4{,}7\times10^{5}$ Бк/м²		Брест $q_{\Sigma} \approx 2{,}0\times10^{5}$ Бк/м²		Гродно $q_{\Sigma} \approx 1{,}8\ 10^{5}$ Бк/м²		Могилев $q_{\Sigma} \approx 8{,}2\ 10^{4}$ Бк/м²	
	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ **Бк/м²**	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ **Бк/м²**	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ **Бк/м²**	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ **Бк/м²**	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ **Бк/м²**	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ **Бк/м²**
04.06	247	1,3E+05	246	4,7E+04	258	2,2E+04	220	1,1E+04	212	1,1E+04	197	5,0E+03
05.06	267	1,2E+05	269	4,3E+04	284	2,0E+04	250	9,7E+03	235	9,9E+03	215	4,6E+03
06.06	292	1,1E+05	289	4,0E+04	298	1,9E+04	269	9,0E+03	256	9,1E+03	230	4,3E+03
07.06	331	9,7E+04	313	3,7E+04	334	1,7E+04	292	8,3E+03	268	8,7E+03	253	3,9E+03
08.06	360	8,9E+04	341	3,4E+04	354	1,6E+04	315	7,7E+03	291	8,0E+03	274	3,6E+03
09.06	391	8,2E+04	373	3,1E+04	378	1,5E+04	346	7,0E+03	319	7,3E+03	290	3,4E+03
10.06	428	7,5E+04	413	2,8E+04	436	1,3E+04	373	6,5E+03	348	6,7E+03	319	3,1E+03
11.06	465	6,9E+04	445	2,6E+04	473	1,2E+04	404	6,0E+03	376	6,2E+03	353	2,8E+03
12.06	501	6,4E+04	482	2,4E+04	516	1,1E+04	441	5,5E+03	409	5,7E+03	380	2,6E+03
13.06	553	5,8E+04	526	2,2E+04	567	1,0E+04	485	5,0E+03	448	5,2E+03	411	2,4E+03
14.06	605	5,3E+04	579	2,0E+04	597	9,5E+03	527	4,6E+03	485	4,8E+03	449	2,2E+03
15.06	654	4,9E+04	609	1,9E+04	652	8,7E+03	577	4,2E+03	529	4,4E+03	494	2,0E+03
16.06	713	4,5E+04	681	1,7E+04	709	8,0E+03	622	3,9E+03	568	4,1E+03	520	1,9E+03
17.06	782	4,1E+04	724	1,6E+04	777	7,3E+03	673	3,6E+03	629	3,7E+03	581	1,7E+03
18.06	844	3,8E+04	827	1,4E+04	846	6,7E+03	735	3,3E+03	685	3,4E+03	617	1,6E+03
19.06	916	3,5E+04	891	1,3E+04	961	5,9E+03	836	2,9E+03	776	3,0E+03	705	1,4E+03
20.06	1069	3,0E+04	1053	1,1E+04	1070	5,3E+03	932	2,6E+03	863	2,7E+03	760	1,3E+03
$G_{\Sigma\Sigma}$		3,2E+0		1,1E+07		5,6E+06		2,4E+06		2,3E+06		9,7E+05
21.06	1145	2,8E+04	1158	1,0E+04	1134	5,0E+03	970	2,5E+03	932	2,5E+03	823	1,2E+03
22.06	1233	2,6E+04	1245	9,3E+03	1233	4,6E+03	1054	2,3E+03	1013	2,3E+03	898	1,1E+03
23.06	1336	2,4E+04	1346	8,6E+03	1350	4,2E+03	1154	2,1E+03	1109	2,1E+03	987	1,0E+03
24.06	1458	2,2E+04	1466	7,9E+03	1454	3,9E+03	1212	2,0E+03	1164	2,0E+03	1050	9,4E+02
25.06	1603	2,0E+04	1586	7,3E+03	1575	3,6E+03	1347	1,8E+03	1294	1,8E+03	1135	8,7E+02
26.06	1782	1,8E+04	1703	6,8E+03	1719	3,3E+03	1426	1,7E+03	1370	1,7E+03	1219	8,1E+02
27.06	1886	1,7E+04	1867	6,2E+03	1890	3,0E+03	1515	1,6E+03	1456	1,6E+03	1316	7,5E+02
28.06	2138	1,5E+04	1996	5,8E+03	2026	2,8E+03	1616	1,5E+03	1663	1,4E+03	1411	7,0E+02
29.06	2291	1,4E+04	2184	5,3E+03	2181	2,6E+03	1865	1,3E+03	1791	1,3E+03	1519	6,5E+02
30.06	2467	1,3E+04	2363	4,9E+03	2363	2,4E+03	2020	1,2E+03	1941	1,2E+03	1646	6,0E+02
01.07	2672	1,2E+04	2573	4,5E+03	2578	2,2E+03	2204	1,1E+03	2117	1,1E+03	1763	5,6E+02
02.07	2915	1,1E+04	2757	4,2E+03	2836	2,0E+03	2204	1,1E+03	2117	1,1E+03	1899	5,2E+02
03.07	3207	1,0E+04	3047	3,8E+03	2985	1,9E+03	2474	9,8E+02	2376	9,8E+02	2057	4,8E+02
04.07	3411	9,4E+03	3308	3,5E+03	3336	1,7E+03	2664	9,1E+02	2559	9,1E+02	2194	4,5E+02
05.07	3729	8,6E+03	3508	3,3E+03	3545	1,6E+03	2886	8,4E+02	2772	8,4E+02	2351	4,2E+02
06.07	4059	7,9E+03	3859	3,0E+03	3781	1,5E+03	3149	7,7E+02	2986	7,8E+02	2532	3,9E+02
07.07	4393	7,3E+03	4135	2,8E+03	4363	1,3E+03	3367	7,2E+02	3235	7,2E+02	2743	3,6E+02
08.07	4786	6,7E+03	4453	2,6E+03	4726	1,2E+03	3673	6,6E+02	3476	6,7E+02	2992	3,3E+02
09.07	5172	6,2E+03	4824	2,4E+03	5156	1,1E+03	3974	6,1E+02	3756	6,2E+02	3185	3,1E+02
10.07	5626	5,7E+03	5263	2,2E+03	5671	1,0E+03	4253	5,7E+02	4086	5,7E+02	3405	2,9E+02
11.07	6167	5,2E+03	5789	2,0E+03	5908	9,6E+02	4662	5,2E+02	4394	5,3E+02	3657	2,7E+02
12.07	6681	4,8E+03	6094	1,9E+03	6372	8,9E+02	5051	4,8E+02	4753	4,9E+02	3949	2,5E+02
$G_{\Sigma\Sigma}$		**3,21 E+07**		1,16 E+07		5,67 E+06		2,42 E+06		2,33 E+06		9,87 E+05

Таблица 4

Значения посуточной активности ^{131}I ($G_{\Sigma г}$) в гипотетической почве и значения отношения $G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$ в зависимости от даты отбора пробы после аварии по 2 опорным городам Белоруссии и 2 опорным городам России с наименьшими выпадениями ^{131}I

Даты 1986 г.	Минск $q_0 \approx 4{,}6\ 10^4$ Бк/м²		Витебск $q_0 \approx 9{,}2\ 10^3$ Бк/м²		Москва $q_0 \approx 6{,}4\ 10^3$ Бк/м²		Обнинск $q_0 \approx 4{,}3\ 10^3$ Бк/м²	
	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma г}$	$G_{\Sigma г}$ Бк/м²
1	2	3	4	5	6	5	8	9
26.04		2,5E+01		1,1E+02				
27.04		7,0E+01		1,3E+02				
28.04		1,6E+03		1,3E+02				
29.04		2,5E+04		2,3E+02		3,7E+02		2,7E+02
30.04		2,9E+04		5,2E+02		1,4E+03		1,3E+03
01.05		3,1E+04		3,6E+03		2,6E+03		1,6E+03
02.05	18	3,1E+04	21	5,3E+03		2,4E+03		1,6E+03
03.05	19	2,9E+04	21	5,5E+03	17	4,6E+03	16	2,9E+03
04.05	20	2,7E+04	22	5,2E+03	18	4,2E+03	20	2,4E+03
05.05	22	2,5E+04	21	5,4E+03	20	3,9E+03	21	2,2E+03
06.05	24	2,3E+04	22	5,2E+03	21	3,7E+03	23	2,0E+03
07.05	26	2,1E+04	21	5,3E+03	22	3,5E+03	25	1,9E+03
08.05	28	2,0E+04	23	5,0E+03	24	3,2E+03	28	1,7E+03
09.05	31	1,8E+04	25	4,6E+03	25	3,1E+03	29	1,6E+03
10.05	32	1,7E+04	26	4,3E+03	27	2,9E+03	31	1,5E+03
11.05	35	1,6E+04	28	4,1E+03	29	2,7E+03	34	1,4E+03
12.05	37	1,5E+04	28	4,0E+03	31	2,5E+03	36	1,3E+03
13.05	39	1,4E+04	30	3,8E+03	31	2,5E+03	39	1,2E+03
14.05	42	1,3E+04	32	3,5E+03	32	2,4E+03	36	1,3E+03
15.05	46	1,2E+04	34	3,3E+03	35	2,2E+03	36	1,3E+03
16.05	46	1,2E+04	38	3,0E+03	37	2,1E+03	39	1,2E+03
17.05	50	1,1E+04	40	2,8E+03	39	2,0E+03	43	1,1E+03
18.05	50	1,1E+04	43	2,6E+03	41	1,9E+03	36	1,3E+03
19.05	56	9,8E+03	47	2,4E+03	43	1,8E+03	39	1,2E+03
20.05	60	9,2E+03	51	2,2E+03	46	1,7E+03	43	1,1E+03
21.05	64	8,6E+03	54	2,1E+03	48	1,6E+03	43	1,1E+03
22.05	69	8,0E+03	59	1,9E+03	55	1,4E+03	47	9,9E+02
23.05	75	7,4E+03	63	1,8E+03	60	1,3E+03	52	9,1E+02
24.05	80	6,9E+03	71	1,6E+03	65	1,2E+03	55	8,5E+02
25.05	81	6,8E+03	75	1,5E+03	70	1,1E+03	61	7,7E+02
26.05	86	6,4E+03	81	1,4E+03	78	1,0E+03	66	7,1E+02
27.05	94	5,9E+03	87	1,3E+03	82	9,4E+02	72	6,5E+02
28.05	100	5,5E+03	94	1,2E+03	89	8,7E+02	78	6,0E+02
29.05	106	5,2E+03	94	1,2E+03	97	8,0E+02	84	5,6E+02
30.05	115	4,8E+03	103	1,1E+03	106	7,3E+02	90	5,2E+02
31.05	123	4,5E+03	113	1,0E+03	114	6,8E+02	98	4,8E+02
01.06	131	4,2E+03	103	1,1E+03	125	6,2E+02	104	4,5E+02
02.06	128	4,3E+03	115	9,8E+02	134	5,8E+02	114	4,1E+02
03.06	138	4,0E+03	126	9,0E+02	146	5,3E+02	123	3,8E+02
04.06	145	3,8E+03	135	8,4E+02	158	4,9E+02	134	3,5E+02
05.06	158	3,5E+03	147	7,7E+02	172	4,5E+02	142	3,3E+02
06.06	167	3,3E+03	159	7,1E+02	185	4,2E+02	156	3,0E+02
07.06	184	3,0E+03	174	6,5E+02	204	3,8E+02	168	2,8E+02
08.06	197	2,8E+03	188	6,0E+02	221	3,5E+02	180	2,6E+02
09.06	212	2,6E+03	205	5,5E+02	235	3,3E+02	195	2,4E+02
10.06	230	2,4E+03	222	5,1E+02	258	3,0E+02	213	2,2E+02
11.06	251	2,2E+03	240	4,7E+02	277	2,8E+02	223	2,1E+02
12.06	276	2,0E+03	263	4,3E+02	298	2,6E+02	247	1,9E+02

Даты 1986 г.	Минск $q_{\Sigma} \approx 4.6\ 10^4$ Бк/м²		Витебск $q_{\Sigma} \approx 9.2\ 10^3$ Бк/м²		Москва $q_{\Sigma} \approx 6.4\ 10^3$ Бк/м²		Обнинск $q_{\Sigma} \approx 4.3\ 10^3$ Бк/м²	
	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ Бк/м²	$G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma}$	$G_{\Sigma\Gamma}$ Бк/м²
13.06	291	1,9E+03	290	3,9E+02	323	2,4E+02	261	1,8E+02
14.06	325	1,7E+03	314	3,6E+02	352	2,2E+02	293	1,6E+02
15.06	345	1,6E+03	342	3,3E+02	388	2,0E+02	313	1,5E+02
16.06	394	1,4E+03	365	3,1E+02	408	1,9E+02	335	1,4E+02
17.06	425	1,3E+03	404	2,8E+02	456	1,7E+02	361	1,3E+02
18.06	460	1,2E+03	435	2,6E+02	484	1,6E+02	391	1,2E+02
19.06	502	1,1E+03	471	2,4E+02	517	1,5E+02	426	1,1E+02
20.06	552	1,0E+03	514	2,2E+02	554	1,4E+02	469	1,0E+02
$G_{\Sigma\Sigma}$		5,4E+05		1,1E+05		7,6E+04		4,6E+04
21.06	558	9,9E+02	538	2,1E+02	596	1,3E+02	506	9,3E+01
22.06	600	9,2E+02	565	2,0E+02	646	1,2E+02	544	8,6E+01
23.06	642	8,6E+02	628	1,8E+02	705	1,1E+02	586	8,0E+01
24.06	681	8,1E+02	665	1,7E+02	705	1,1E+02	631	7,4E+01
25.06	726	7,6E+02	706	1,6E+02	791	9,8E+01	679	6,9E+01
26.06	777	7,1E+02	753	1,5E+02	852	9,1E+01	732	6,4E+01
27.06	836	6,6E+02	807	1,4E+02	923	8,4E+01	788	6,0E+01
28.06	890	6,2E+02	869	1,3E+02	994	7,8E+01	848	5,5E+01
29.06	952	5,8E+02	942	1,2E+02	1062	7,3E+01	913	5,1E+01
30.06	1004	5,5E+02	1027	1,1E+02	1140	6,8E+01	983	4,8E+01
01.07	1082	5,1E+02	1027	1,1E+02	1230	6,3E+01	1059	4,4E+01
02.07	1150	4,8E+02	1141	9,9E+01	1336	5,8E+01	1140	4,1E+01
03.07	1227	4,5E+02	1228	9,2E+01	1435	5,4E+01	1227	3,8E+01
04.07	1314	4,2E+02	1314	8,6E+01	1550	5,0E+01	1321	3,5E+01
05.07	1415	3,9E+02	1395	8,1E+01	1649	4,7E+01	1423	3,3E+01
06.07	1492	3,7E+02	1507	7,5E+01	1761	4,4E+01	1532	3,1E+01
07.07	1624	3,4E+02	1614	7,0E+01	1938	4,0E+01	1649	2,8E+01
08.07	1725	3,2E+02	1712	6,6E+01	2039	3,8E+01	1776	2,6E+01
09.07	1840	3,0E+02	1852	6,1E+01	2214	3,5E+01	1912	2,5E+01
10.07	1971	2,8E+02	1982	5,7E+01	2422	3,2E+01	2059	2,3E+01
11.07	2123	2,6E+02	2132	5,3E+01	2583	3,0E+01	2216	2,1E+01
12.07	2208	2,5E+02	2260	5,0E+01	2768	2,8E+01	2386	2,0E+01
$G_{\Sigma\Sigma}$		**5,52 E+05**		1,13 E+05		7,75 E+04		4,73 E+04

Наименьшие значения Z наблюдаются для НП Могилев.

Из данных табл. 4 следует относительно малое различие тренда данных для городов Минск, Витебск, Обнинск. Наибольшие значения $Z = G_{\Sigma\Sigma}(I)/G_{\Sigma\Gamma}(I)$ характерны для Москвы. Следует отметить и относительно малое отличие значений Z по разным городам за каждую дату наблюдений.

На рис. 4–5 представлены построенные по данным табл. 3 и табл. 4 графики зависимости значений отношения $G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma} = Z$ от даты отбора проб соответственно по 6 городам Белоруссии с наибольшими интегральными выпадениями ^{131}I и по 4 городам (Белоруссия 2 и Россия – 2) с его наименьшими интегральными выпадениями.

Представленные на графиках рис. 4 и рис. 5 экспоненциальные зависимости с R^2 не менее 0,99, полученные ранее для рядов данных по 20.06.1986 г., использованы для их экстраполяции по 12.07.1986 г. (день практического завершения измерений содержания ^{131}I в почве по Белоруссии). Данные по шести городам, представленные на рис. 4, и четырем городам, представленные на рис. 5, расположены в соответствии с убыванием интегральных выпадений ^{131}I слева направо.

Верхняя аппроксимирующая линия на рис. 4 соответствует изменению во времени значений отношения $G_{\Sigma\Sigma}(I)/G_{\Sigma\Gamma}(I)$/по Гомелю, а самая нижняя линия – по Могилеву. Верхняя аппроксимирующая линия на рис. 5 соответствует изменению во времени значений отношения $G_{\Sigma\Sigma}(I)/G_{\Sigma\Gamma}(I)$ по Москве, а самая нижняя – по Обнинску. По городам Минску и Витебску ход аппроксимирующих линий совпадает.

На рис. 4–5 вертикальное расположение аппроксимирующих соотношений соответствует горизонтальному расположению названий городов.

При практическом использовании данных, представленных в таблицах 3 и 4, прежде всего были сформулированы группы $НП_{jx}$, по которым известны значения активности ^{131}I в почве на любой день

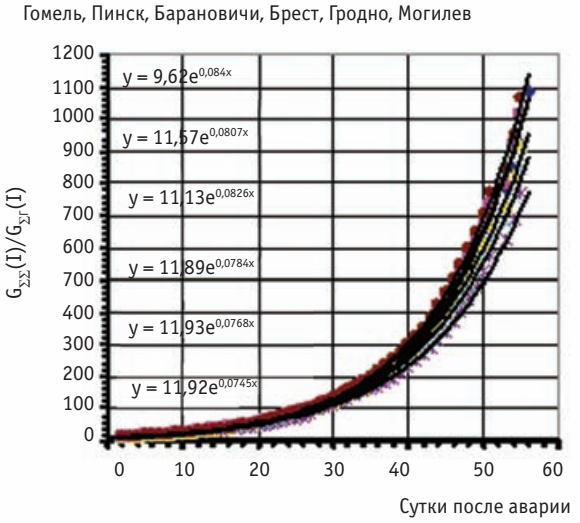


Рис. 4. Зависимость значений отношения $G_{\Sigma\Sigma}/G_{\Sigma\Gamma} = Z$ от даты отбора пробы после аварии по 6 городам Белоруссии с наибольшими интегральными выпадениями ^{131}I

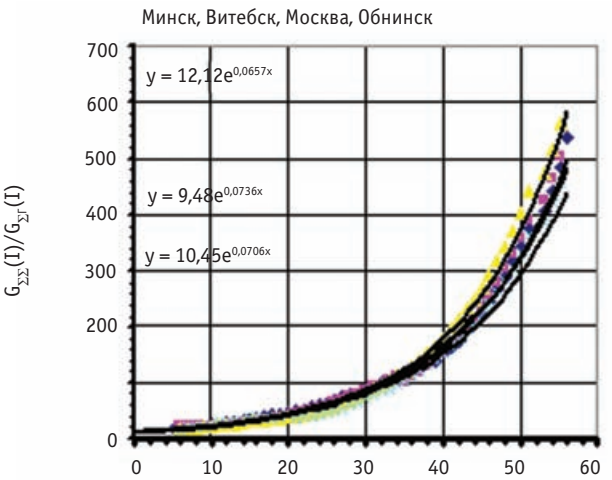


Рис. 5. Зависимость значений отношения $G_{\Sigma\Sigma}(I)/G_{\Sigma\Gamma}(I) = Z$ от даты отбора пробы после аварии по двум городам Белоруссии и 2 городам России с наименьшими интегральными выпадениями ^{131}I

в период с 26.04 по 12.07.86 г. Измеренные значения активности ^{131}I ($G_{\Sigma\Gamma И}(I)_{xij}$) в почве на любой день *t* в ареале расположения $НП_{jx}$ сопоставляли со значениями $G_{\Sigma\Gamma}(I)$ по опорным $НП_О$ на те же дни *t*, выбирая из них наиболее близкие соответствующие значения $G_{\Sigma\Gamma}(I)$ вместе с соответствующим значением Z ($G_{\Sigma\Gamma И}(I)_{xij} \times Z = G_{\Sigma\Sigma}(I)_{xij}$).

Далее, используя соотношение (7), определяли значения интегральных выпадений ^{131}I $q_{\Sigma}(I)_{xij}$ по каждой паре значений $G_{\Sigma\Gamma И}(I)_{xij}$ и Z_{jx} для $НП_{jx}$.

По результатам определения *n* значений величины $q_{\Sigma}(I)_{xij}$ для $НП_{xij}$ определяли, например, среднеарифметическое значение интегральных выпадений ^{131}I:

$$\bar{q}_{\Sigma}(I)_{xj} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} q_{\Sigma}(I)_{xij} \qquad (8.1)$$

или его среднегеометрическое значение:

$$\hat{q}_{\Sigma}(I)_{\tilde{o}j} = \exp\left[\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} \ell n q_{\Sigma}(I)_{\tilde{o}ij}\right] \qquad (8.2)$$

Полученные значения интегральных выпадений ^{131}I $q_{\Sigma}(I)_{xj}$ по сформированной группе $НП_{jx}$ территории *x* могут быть использованы для построения графика их зависимости от соответствующих значений интегральных выпадений ^{137}Cs $q_{\Sigma}(Cs)_{xj}$, которые имеются практически по каждому сельскому населенному пункту. Выявленные закономерности могут быть использованы для восстановления интегральных выпадений ^{131}I по всем остальным $НП_{xj}$ (помимо сформированной группы $НП_{xj}$) территории *x*.

Оценка интегральных выпадений ^{137}Cs по результатам определения его активности в почве на день t. В отличие от ^{131}I, распадом которого в период основного загрязнения местности нельзя пренебречь, распад ^{137}Cs, например, на 56-ые сутки после его выпадений на почву практически незначим.

Однако при этом необходимо помнить о длительных выпадениях РВ из атмосферы [4] и ветровом подъеме ^{137}Cs [5], которые наиболее актуальны для первоначально слабо загрязненных территорий. В этом плане реализованный авторами работы [2] отбор проб почвы с целью определения выпадений ^{131}I по территориям Белоруссии преимущественно после 20.06 и по 12.07.86 г., представляется наиболее удачным. К 20.06.86 г. процесс формирования интегральных выпадений ^{131}I был завершен не менее чем на 98 %. Естественно, что это не относится к ^{137}Cs, выпадения которого и после июля 1986 г. по ряду территорий могли давать дополнительный вклад в его интегральные выпадения.

В связи с этим наиболее рациональным является использование результатов определения интегральных выпадений ^{137}Cs, представленных в работе [2] (с их приведением к 20.06.1986 г.). Но и в этом случае при построении графика зависимости интегральных выпадений ^{131}I от интегральных выпадений ^{137}Cs необходимо отдавать предпочтение данным, полученным не позднее июля 1986 г.

При использовании значений интегральных выпадений ^{137}Cs, которые были получены по результатам определения его содержания в пробах почвы, отобранных в отдаленный период после аварии, например, в 2007 г., необходимо из соответствующего значения суммарных выпадений вычесть выпадения после июля 1986 г.

Помимо указанных факторов, существенную роль (но уже в сторону уменьшения активности ^{137}Cs

Таблица 5

Результаты определения по разным регионам среднегодовых выпадений ^{137}Cs на планшеты за указанный временной период. Единицы измерения – Бк/м²

№ п/п	Годы после аварии	1-я зона	Юг	Подмосковье В/С Волга	Север
1	01.05–31.07.1986 г.	8510	2790	1370	285
2	01.08–31.12.1986	467	207	96	15
3	1987	566	111	37	11
4	1988	241	88	19	7,4
5	1989	156	44	11	3,0
6	1990	85	41	7,0	2,5
7	1991	48	11	5,7	1,4
8	1992	25	3,1	5,8	1,8
9	1993	24	5,6	3,79	1,6
10	1994	17	4,2	3,0	1,4
11	1995	13	1,6	2,7	1,2
12	1996	10	2,4	2,1	1,0
13	1997	8,1	1,9	1,8	0,91
14	1998	6,5	1,5	1,5	0,81
15	1999	5,4	1,3	1,3	0,73
16	2000	3,4	1,1	1,2	0,87
17	2001	3,7	0,86	1,0	0,61
18	2002	3,2	0,73	0,91	0,56
19	2003	2,7	0,62	0,81	0,51
20	2004	2,3	0,53	0,73	0,47
21	2005	2,5	0,61	0,93	0,55
22	2006	1,8	0,40	0,60	0,41
23	2007	1,7	0,43	0,37	0,34
□ годовых выпадений ^{137}Cs по регионам		□ = 10203	□ = 3320	□ = 1574	□ = 339
(□^{137}Cs$_{1\div23}$) – ^{137}Cs$_1$		1693	530	204	45
$\frac{(□^{137}Cs_{1\div23}) - {}^{137}Cs_1}{□^{137}Cs_{1\div23}}$		**16,6 %**	**16,0 %**	**13,0 %**	**15,9 %**

в поверхностном слое почвы) может играть фактор вертикальной миграции радионуклидов с разной скоростью по разным типам почв. Однако это актуально только в случае отбора проб на фиксированную глубину (например, 5 или 10 см) независимо от времени, прошедшего после аварии. При отборе проб на глубину 40 см и более данный фактор малозначим.

В ежегодниках НПО «Тайфун» (г. Обнинск) представлены усредненные результаты определения выпадений ^{137}Cs в 1986÷2012 гг. на планшеты из атмосферы в разных регионах страны. Часть этих данных использована для оценки возможного приращения интегральных выпадений ^{137}Cs после июля 1986 г.

В табл. 5 представлены результаты определения среднегодовых выпадений ^{137}Cs с мая по июль и с августа по январь 1986 г. [6], и далее за: 1987 [7], 1988 [8], 1989 [9], 1990 [10], 1991 [11], 1992 [12], 1995 [13], 2000 [14], 2005 [15], 2007 [16], по разным регионам. Среднегодовые выпадения ^{137}Cs с мая по июль 1986 г. выделены жирным шрифтом. Курсивом выделены значения, полученные по результатам определения зависимости от времени после аварии измеренных значений среднегодовых выпадений ^{137}Cs по разным регионам. Соответствующие графики представлены на рис. 6 и 7.

Обозначения на рисунках:

Зона 1 – Тульская, Курская и Орловская области

Подмосковье – В/С Волга (Верхняя и Средняя Волга)

Юг – Северокавказский регион (6 республик и 4 области).

Север – Архангельская и Ленинградская области, а также Коми АССР.

На рис. 6 верхняя линия соответствует первой зоне, а нижняя – южным территориям. На рис. 7 верхняя линия соответствует территориям Подмосковья – В/С Волга, а нижняя – северным территориям. Вертикальное расположение соотношений соответствует горизонтальному расположению названий территорий.

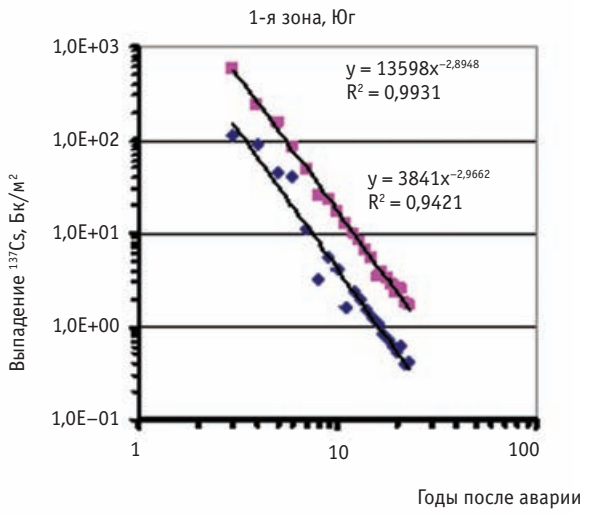


Рис. 6. Зависимость среднегодовых выпадений ^{137}Cs от времени после аварии по двум регионам (1-я зона и Юг)

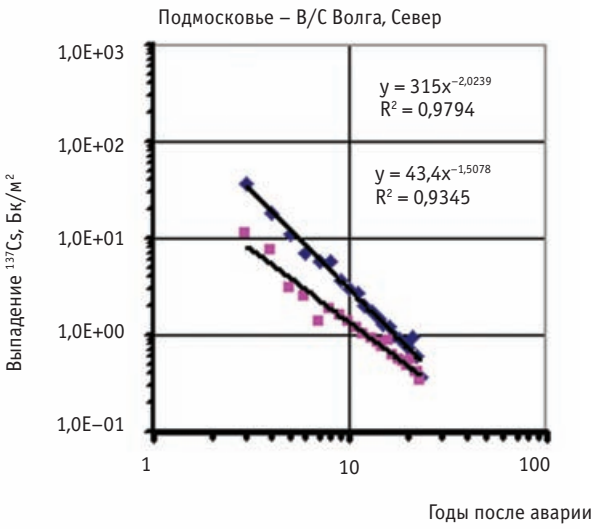


Рис. 7. Зависимость среднегодовых выпадений ^{137}Cs от времени после аварии по двум регионам (Подмосковье – В/С Волга и Север)

Данные табл. 5 могут быть использованы для оценки процентного вклада активности выпадений ^{137}Cs после июля 1986 г. в его суммарные выпадения по 2007 г., начиная со дня аварии. Из них следует, что в пределах изменения интегральных выпадений ^{137}Cs от 10200 до 340 Бк/м^2, процентный вклад его выпадений после 31 июля 1986 г. в интегральные выпадения до 2008 г. по четырем регионам изменяется от 13 % до 16,6 % (в среднем около 15 %).

С учетом уменьшения роли пролонгированных выпадений радионуклидов (в том числе ^{137}Cs и ^{131}I) при увеличении его первоначальных выпадений, можно обосновано ожидать уменьшения процентного вклада выпадений ^{137}Cs, реализованных после июля 1986 г., в его интегральные выпадения. К сожалению, сведения о соответствующих среднегодовых выпадениях ^{137}Cs по отдельным более загрязненным населенным пунктам отсутствуют. В таком случае предлагается постулировать, что для территорий с выпадениями ^{137}Cs < 1,0 Ки/км^2 процентный вклад его выпадений после 31 июля 1986 г. (и по 2007 г.) в интегральные выпадения составляет 15 %, а для более загрязненных территорий соответствующий процентный вклад можно не учитывать.

Пример восстановления интегральных выпадений ^{131}I по населенным пунктам Луненецкого и Столинского районов Брестской области Белоруссии. Выбор двух указанных районов Брестской области обусловлен, прежде всего, наличием по ним 27 НП, для взрослых жителей которых в 1995 г. были рассчитаны средние значения тиреоидной дозы по результатам радиометрического обследования щитовидной железы. Это предоставляет возможность сопоставления с ними реконструируемых значений средней дозы по тем же НП. Кроме того, для этих двух наиболее загрязненных районов области по 14 НП$_{jx}$ имеются результаты определения в выпадениях на почву активности ^{131}I $G_{\Sigma\Gamma}(I)_{jx}$ и ^{137}Cs $q_{\Sigma}(Cs)_{jx}$ в различные сроки после аварии на ЧАЭС, представленные в табл. 6. В данной таблице представлены также результаты определения значений коэффициента Z, путем сопоставления (за соответствующие даты отбора проб) значений параметра $G_{\Sigma\Gamma}(I)_{jx}$ табл. 6 со значениями параметра $G_{\Sigma\Gamma}(I)_{O}$ табл. 3, которым соответствуют значения коэффициента Z.

Значения суммарной активности ^{131}I ($G_{\Sigma\Sigma}(I)_{jx}$) определяли по соотношению (6.2)

Далее в соответствии с данными колонки 8 табл. 6, определяли интегральные выпадения ^{131}I ($q_{\Sigma}(I)_{jx}$) по соотношению $q_{\Sigma}(I)_{jx} = G_{\Sigma\Sigma}(I)_{jx}/П = G_{\Sigma\Sigma}(I)_{jx}/12$, эквивалентному соотношению (7).

Результаты определения интегральных выпадений ^{131}I $q_{\Sigma}(I)_{jx}$ представлены в табл. 7 (колонка 6) в сопоставлении с соответствующими данными 1986 г. (колонка 7).

Из данных табл. 7 следует, что полученные в 2013 г. значения интегральных выпадений ^{131}I с учетом его пролонгированных выпадений, в V = 1,16 раза меньше значений, полученных в 1986 г. в предположении однократного загрязнения территорий Луненецкого и Столинского районов Брестской области.

Из 11 представленных в колонках 7 и 6 соответствующих значений этому правилу не подчиняется

Таблица 6

Результаты определения активности «интегральных» выпадений ^{137}Cs (за вычетом фона (665 Бк/м^2)) и активности ^{131}I ($G_{\Sigma\Gamma}(I)$), накопленной в почве на даты отбора проб из верхнего слоя толщиной 5 см по 14 НП Брестской области, а также значений суммарной активности ^{131}I ($G_{\Sigma\Sigma}(^{131}I) = Z\ G_{\Sigma\Gamma}(I)$)

№ п/п	Район	Населенный пункт	Дата отбора пробы	$q_{\Sigma}(Cs)_{jx}$ Бк/м2	$G_{\Sigma\Gamma}(I)_{jx}$ Бк/м2	Z	$G_{\Sigma\Sigma}(I)_{jx}$ Бк/м2
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Луненецкий	Луненец	22.05	8,82E+04	6,15E+05	86	5,29 10^7
2	Луненецкий	Луненец	14.06	8,82E+04	2,73E+04	585	1,60 10^7
3	Луненецкий	Луненец	22.05	8,82E+04	6,88E+04	89	6,12 10^6
4	Луненецкий	Луненец	22.05	8,82E+04	1,60E+05	89	1,43 10^7
5	Луненецкий	Мелесница	01.06	1,58E+05	2,37E+05	200	4,74 10^7
6	Луненецкий	Микашевичи	01.06	8,76E+04	1,05E+05	200	2,10 10^7
7	Луненецкий	Микашевичи	14.06	8,76E+04	2,45E+04	585	1,44 10^7
8	Луненецкий	Моносеево	01.06	5,05E+04	8,13E+04	194	1,58 10^7
9	Луненецкий	Полесский	01.06	6,54E+04	4,84E+04	192	9,29 10^6
10	Луненецкий	Редигерово	01.06	7,38E+04	7,31E+04	193	1,41 10^7
11	Луненецкий	Синкевичи	01.06	8,27E+04	8,27E+04	194	1,60 10^7
14	Столинский	Белоуша	17.05	2,48E+05	6,51E+05	55	3,58 10^7
15	Столинский	Белоуша	19.05	2,48E+05	9,85E+05	55	5,42 10^7
16	Столинский	Белоуша	21.05	2,48E+05	8,02E+05	78	6,25 10^7
17	Столинский	Белоуша	21.05	2,48E+05	7,45E+05	78	5,81 10^7
18	Столинский	Белоуша	01.06	2,48E+05	1,24E+05	200	2,54 10^7
19	Столинский	Бухличи	01.06	1,37E+05	9,43E+04	194	1,83 10^7
20	Столинский	В. Теребежков	01.06	1,25E+05	8,61E+04	194	1,67 10^7
21	Столинский	Ворони	01.06	6,22E+04	4,80E+04	192	9,22 10^6
22	Столинский	Лютый Бор	01.06	4,27E+04	4,02E+04	192	7,71 10^6
23	Столинский	Речица	01.06	1,48E+05	1,56E+05	200	3,11 10^7
24	Столинский	Рыбники	01.06	8,93E+04	7,41E+04	193	1,43 10^7

только данные по НП Синкевичи (что, скорее всего, обусловлено случайной ошибкой). Важно отметить, что значения коэффициента V могут увеличиваться с уменьшением выпадений ^{131}I. С учетом малого значения относительной погрешности коэффициента V ($\Delta V/V = 0{,}013/1{,}16 = 0{,}011$) можно принять, что значение относительной погрешности значений величины $q_{\Sigma}(I)$ будет практически одинаково для данных колонок 6 и 7 табл. 7, т.е. $-\Delta q_{\Sigma}(I)/q_{\Sigma}(I) = 0{,}4$.

Полагая, что процесс формирования интегральных выпадений ^{137}Cs к 20.06.1986 г. в основном был завершен, использовали данные колонок 4 и 6 табл. 7 для построения графика зависимости интегральных выпадений ^{131}I от интегральных выпадений ^{137}Cs. Соответствующий график представлен на рис. 8.

Из него следует, что для территорий двух районов искомая зависимость наилучшим образом аппроксимируется линейной функцией. Следует отметить, что ни одна из точек не отклоняется от аппроксимирующей линии более чем в 2,6 раза в обе стороны. Это свидетельствует об отсутствии аномальных значений, выпадающих из ряда [1].

Аппроксимирующее соотношение:

$$q_{\Sigma}(I)_{xj} = 16{,}7 \times q_{\Sigma}(Cs)_{xj} + 15479, \qquad (9)$$

указанное на рис. 8, использовано при определении интегральных выпадений ^{131}I по 27 НП$_{xj}$ Луненецкого и Столинского районов, по которым известны значения интегральных выпадений ^{137}Cs и средние инструментальные значения тиреоидной дозы (D_1) рассчитанные в 1995 г. для взрослых жителей НП$_{xj}$.

Оценка значений величины $q_{\Sigma}(I)_{xj}$ возможна также путем использования соотношения:

$$q_{\Sigma}(I)_{xj} = 2140 \times (q_{\Sigma}(Cs)_{xj})^{0{,}6293} \qquad (10)$$

Таблица 7

Результаты определения в 2013 г. активности интегральных выпадений ^{131}I $q_{\Sigma}(I) = GSS(^{131}I)/12$ в сопоставлении с соответствующими данными 1986 г. (колонка 7)

№	Район	Населенный пункт	$q_{\Sigma}(^{137}Cs)$ 1986 Бк/м^2	$G_{\Sigma\Sigma}(I)$ 2013 Бк/м^2	$q_{\Sigma}(I)$ 2013 Бк/м^2	$q_{\Sigma}(I)$ 1986 Бк/м^2
1	2	3	4	5	6	7
1	Луненецкий	Луненец	8,82E+04	*2,23 10^7	1,85×10^6	
2	Луненецкий	Мелесница	1,58E+05	4,74 10^7	3,95 10^6	4,44E+06
3	Луненецкий	Микашевичи	8,76E+04	*1,77 10^7	1,48 10^6	
4	Луненецкий	Моносеево	5,05E+04	1,58 10^7	1,31 10^6	1,52E+06
5	Луненецкий	Полесский	6,54E+04	9,29 10^6	7,74 10^5	9,07E+05
6	Луненецкий	Редигерово	7,38E+04	1,41 10^7	1,18 10^6	1,37E+06
7	Луненецкий	Синкевичи	8,27E+04	1,60 10^7	1,92 10^6	1,55E+06
8	Столинский	Белоуша	2,48E+05	*4,72 10^7	3,93 10^6	
9	Столинский	Бухличи	1,37E+05	1,83 10^7	1,53 10^6	1,77E+06
10	Столинский	В. Теребежков	1,25E+05	1,67 10^7	1,39 10^6	1,61E+06
11	Столинский	Ворони	6,20E+04	9,22 10^6	7,68 10^5	9,00E+05
12	Столинский	Лютый Бор	4,27E+04	7,71 10^6	6,43 10^5	7,53E+05
13	Столинский	Речица	1,49E+05	3,11 10^7	2,59 10^6	2,91E+06
14	Столинский	Рыбники	8,93E+04	1,43 10^7	1,19 10^6	1,39E+06

Примечание: В колонке 5 звездочкой отмечены усредненные значения параметра $G_{\Sigma\Sigma}(I)_{jx}$.

Данное соотношение справедливо для 9 районов территории Z_1, включающей в себя Лунинецкий и Сталинский районы Брестской области Белоруссии. Результаты определения интегральных выпадений ^{131}I по соотношениям (9) и (10) представлены в табл. 8.

Оценка средних значений тиреоидной дозы D для взрослых лиц по 27 НП$_{jx}$ Луненецкого и Столинского районов Брестской области Белоруссии. Оценку значений средних значений дозы D по указанным районам Брестской области можно получить (с ориентацией на два различных подхода к восстановлению выпадений ^{131}I) двумя путями, используя результаты оценки выпадений ^{131}I по соотношениям (9) и (10), представленным в табл. 7.

И в том, и другом случаях оценка средних значений дозы D осуществляется путем использования соотношения, в соответствии с которым $D = 0{,}0003 \times q(I)^{0{,}45}$ [1].

В табл. 9 представлены в сопоставлении рассчитанные для 1995 г. средние по НП$_{xj}$ Луненецкого и Столинского районов Брестской области значения тиреоидной дозы (D_1) для взрослых лиц, с соответствующими реконструированными в 2004 и в 2013 гг. значениями D_2, D_3, D_4.

Из данных табл. 9 следует удовлетворительная согласованность средних (по сумме данных) значений дозы D_3 и D_4 ($D_4/D_3 = 1{,}37$). Наблюдаемое между ними расхождение обусловлено частично тем, что в отличие от значений D_3 при определении значений D_4 использовались значения выпадений ^{131}I с ориентацией на его однократные выпадения. В этом случае значения D_4 можно считать завышенными в 1,16 раза, а его уточненное значение составляет 216 / 1,16 = 186 мГр.

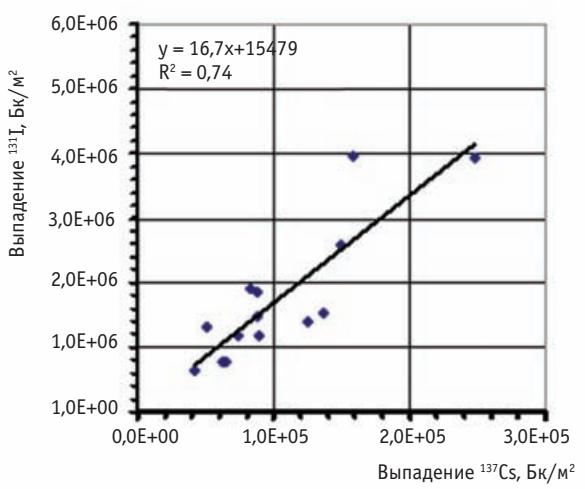


Рис. 8. Зависимость интегральных выпадений ^{131}I $q_{\Sigma}(I)_{jx}$ от интегральных выпадений ^{137}Cs ($q_{\Sigma}(Cs)_{jx}$) по 14 НП Луненецкого и Столинского районов Брестской области Белоруссии

Таблица 8

Результаты определения интегральных выпадений ^{131}I по 27 $НП_{jx}$ Луненецкого и Столинского районов, рассчитанные по соотношениям (9.1) и (9.2), с ориентацией на выпадения ^{137}Cs

№ п/п	Населенный пункт	Данные 1986 г. Измеренные	Данные 2013 г. (9.1) Реконструир-е	Данные 2013 г. (9.2) Реконструир-е
		$q_z(Cs)_{xj}$ Бк/м2	$q_z(I)_{xj}$ Бк/м2	$q_z(I)_{xj}$ Бк/м2
1	2	3	4	5
1	Белоуша *	2,48 10^5	4,16E+06	5,31E+06
2	Бережное	6,81 10^4	1,15E+06	2,35E+06
3	Бухличи *	1,37 10^5	2,31E+06	3,66E+06
4	Велимичи	2,92 10^4	5,04E+05	1,38E+06
5	Ворони *	6,22 10^4	1,05E+06	2,22E+06
6	Глинка	8,60 10^4	1,46E+06	2,73E+06
7	Давид-Городок	5,29 10^4	8,99E+05	2,01E+06
8	Коротичи	5,07 10^4	8,62E+05	1,96E+06
9	Лука	5,85 10^4	9,92E+05	2,14E+06
10	Бол. Малишево	2,26 10^4	3,92E+05	1,18E+06
11	Меньковичи	5,51 10^4	9,36E+05	2,06E+06
12	Овсемирово	3,07 10^4	5,28E+05	1,43E+06
13	Оздамичи	2,96 10^4	5,10E+05	1,39E+06
14	Ольгомель	2,33 10^4	4,05E+05	1,20E+06
15	Ольманы	2,74 10^5	4,59E+06	5,65E+06
16	Ольшаны	7,25 10^4	1,23E+06	2,45E+06
17	Бол. Орлы	5,11 10^4	8,68E+05	1,96E+06
18	Отвержичи	1,78 10^5	2,99E+06	4,31E+06
19	Плотница	1,37E+04	2,44E+05	8,58E+05
20	Ремель	2,66 10^4	4,60E+05	1,30E+06
21	Речица *	1,49 10^5	2,50E+06	3,85E+06
22	Рубель	7,10 10^4	1,20E+06	2,42E+06
23	Струга	3,85 10^4	6,58E+05	1,64E+06
24	Теребежков *	1,25 10^5	2,10E+06	3,45E+06
25	Теребличи	3,07 10^4	5,28E+05	1,43E+06
26	Хотомель	7,84 10^4	1,33E+06	2,57E+06
27	Цмень-2	2,52 10^4	4,36E+05	1,26E+06

Примечание:
В столбце 2 знаком «*» отмечены 5 НП, по которым имеются результаты определения выпадений ^{131}I в 1986 г. (см. табл. 8)

Таблица 9

Результаты сопоставления рассчитанных в 1995г. средних по 27 $НП_{xj}$ инструментальных значений тиреоидной дозы (D_1) для взрослых лиц, с соответствующими реконструированными в 2004 и в 2012 2013 годах значениями (D_2), (D_3) и (D_4)

№ п/п	Населенный пункт	Данные 1995 г. Измерение	Данные 2004 г. [17] *	Данные 2013 г. (9.1), (15)*	Данные 2013 г. (9.2), (21)*
		D_1, мГр	D_2, мГр	D_3, мГр	D_4, мГр
1	2	3	4	5	6
1	Белоуша	186	160	109	**145**
2	Бережное	99	71	64	100
3	Бухличи	134	114	85	122
4	Велимичи	81	62	47	79
5	Ворони	98	70	61	98
6	Глинка	98	83	70	107
7	Давид-Городок	83	69	58	93
8	Коротичи	83	68	57	92
9	Лука	85	70	60	96
10	Бол. Малишево	77	59	43	73
11	Меньковичи	95	69	59	94
12	Овсемирово	77	63	47	80
13	Оздамичи	83	62	47	79
14	Ольгомель	81	60	43	74
15	Ольманы	183	168	114	**149**
16	Ольшаны	90	74	65	102
17	Бол. Орлы	92	63	57	92
18	Отвержичи	187	133	95	**132**
19	Плотница	77	53	37	63
20	Ремель	78	61	45	77
21	Речица	189	119	88	**125**
22	Рубель	84	63	65	101
23	Струга	92	65	51	85
24	Теребежков	74	111	81	119
25	Теребличи	81	63	47	80
26	Хотомель	80	78	67	104
27	Цмень-2	75	60	44	75
Средние значения дозы		102	81	63	98

Примечание:
*– Реконструкция

Из чего следует, что уточненное значение отношения $D_4/D_3 = 1,18$.

Значение D_3 больше значения D_1, полученного по результатам измерения мощности эквивалентной дозы над ЩЖ в 1986 г. для взрослых жителей Луненецкого и Столинского районов, в 1,55 раза, а уточненное значение D_4 – в 1,82 раза. Значение D_2, полученное в 2004 г. меньше значения D_1 в 0,8 раза.

Причины установленных расхождений могут быть обусловлены как погрешностями определения значений дозы D_2, D_3, D_4 в 2004 и 2013 гг., так и погрешностями определения значений D_1 в 1995 г.

При оценке значения относительной погрешности средних по НП значений тиреоидной дозы для жителей Луненецкого и Столинского районов Брестской области учитывали, что $\Delta Д/Д = 0,24$, а $\Delta q(I)/q(I) - 0,75$. В таком случае относительная погрешность $\Delta D/D$ средних по НП значений тиреоидной дозы D может быть определена по соотношению:

$$\frac{\Delta D}{D} = 0,79. \qquad (11)$$

Выводы

1. 1. Показано, что значение отношения суммарной активности ^{131}I ($G_{\Sigma\Sigma}(I)$) к его интегральным выпадениям $q_{\Sigma}(I)$ достигло своего предельного значения на 56-ые сутки после аварии на ЧАЭС. Для территорий с выпадениями ^{131}I более 4500 Бк/м^2 получено П =12, а для территорий с его выпадениями меньше 4500 Бк/м^2 П = 11. Это предоставляет возможность простого перехода от суммарных активности ^{131}I к его интегральным выпадениям и наоборот.
2. Показано, что переход от накопленной в почве активности ^{131}I на день t к его суммарной активности,

например, за 56 суток, начиная со дня аварии, возможен путем использования соотношения $G_{\Sigma\Gamma}(I) \times Z = G_{\Sigma\Sigma}(I)$. Определение значений интегральных выпадений ^{131}I по $НП_{jx}$ возможно по соотношению $q_{\Sigma}(I)_{jx} = G_{\Sigma\Gamma}(I)_{jx} \times Z / П$, где значения коэффициента Z определены по табличным данным (табл. 3–4).

3. По данным НПО «Тайфун», установлено, что для территорий с выпадениями ^{137}Cs менее 1,0 Ки/км^2 процентный вклад его выпадений после 31 июля 1986 г. (и по 2007 г.) в интегральные выпадения составляет 15 %. Для более загрязненных территорий соответствующий процентный вклад предлагается не учитывать ввиду его относительно малой значимости. Распадом ^{137}Cs за период с 26.04 по 31.07.1986 г. можно пренебречь.
4. Полученные в 2013 г. значения интегральных выпадений ^{131}I с учетом его пролонгированных выпадений в 1,16 раза меньше значений, полученных в 1986 г. в предположении однократного загрязнения территорий Луненецкого и Столинского районов Брестской области.
5. Реконструированные значения тиреоидной дозы по 27 НП Луненецкого и Столинского районов Брестской области Белоруссии удовлетворительно согласуются с соответствующими значениями, полученными по результатам радиометрического обследования жителей в 1986 г., и значениями, реконструированными в 2004 и 2012÷2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаврилин Ю.И.* Обоснование параметров полуэмпирической модели формирования тиреоидной дозы. // АНРИ 2013, № 2 (73), С. 59–69.
2. *Махонько К.П., Козлова Е.Г., Волокитин А.А.* Динамика накопления радиойода на почве и реконструкция доз от его излучения на территории, загрязненной после аварии на Чернобыльской АЭС. // Радиация и риск, 1996, Вып. 7, С.140–191.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. наблюдения за радиоактивным загрязнением природной среды. Под ред. *К.П. Махонько.* – Л.: Гидрометеоиздат, 1982, выпуск 2, 60 с.
4. *Махонько К.П.* Поведение в атмосфере радиоактивных продуктов ядерных взрывов. Спб.: Гидрометеоиздат, 2002, 163 с.
5. *Махонько К.П.* Ветровой подъем радиоактивной пыли с земли. – Обнинск, 2008, 426 с.
6 Радиоактивное загрязнение территории СССР в 1986 г. Ежегодник. Под ред. *К.П. Махонько.* Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 1986, 134 с.
7. Радиационная обстановка на территории СССР в 1987 г. Ежегодник. Под ред. *К.П. Махонько.* Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 1988, 122 с.
8. Радиационная обстановка на территории СССР в 1988 г. Ежегодник. Под ред. *К.П. Махонько.* Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 1989, 101 с.
9. Радиационная обстановка на территории СССР в 1989 г. Ежегодник. Под ред. *К.П. Махонько.* Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 1990, 108 с.
10. Радиационная обстановка на территории СССР в 1990 г. Ежегодник. Под ред. *К.П. Махонько.*Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 1991, 211 с.
11. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1991 г. Ежегодник. Под ред. *К.П. Махонько.* Государственный комитет России по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 1992, 339 с.
12. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1992 г. Ежегодник. Под ред. *К.П. Махонько.* Государственный комитет России по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 1993, 290 с.
13. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1995 г. Ежегодник. Под ред. *К.П. Махонько.* Государственный комитет России по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 1996, 308 с.
14. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2000 г. Ежегодник. Под ред. *К.П. Махонько.* Государственный комитет России по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 2001, 251 с.
15. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2005 г. Ежегодник. Под ред. *С.М. Вакуловского.* Государственный комитет России по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 2006, 273 с.
16. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2007 г. Ежегодник. Под ред. *С.М. Вакуловского.* Государственный комитет России по гидрометеорологии. Обнинск – НПО «ТАЙФУН», 2008, 285 с.
17. *Гаврилин Ю.И., Шинкарев С.М.* Ретроспективное восстановление доз внутреннего облучения щитовидной железы после аварии на Чернобыльской АЭС. В трудах международной конференции «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий», Москва 5–6 декабря 2005 г. Том 3. Секция 3 «Дозы облучения населения в результате радиоактивного загрязнения окружающей среды при ядерных взрывах и авариях». СПб.: Гидрометеоиздат, 2006, С. 195–201.

Поступила: 10.06.2013.
Принята к публикации: 03.07.2013.

V.F. Demin[1,3], V.V. Romanov[2], V.Yu. Soloviev[3], I.E. Zakharchenko[1]

HARMONIZED APPROACH TO THE HEALTH SAFETY REGULATION IN DIFFERENT AREAS OF HUMAN ACTIVITY

В.Ф. Демин[1,3], В.В. Романов[2], В.Ю. Соловьев[3], И.Е. Захарченко[1]

Гармонизированный подход к регулированию безопасности в разных областях деятельности человека

ABSTRACT

Purpose: To develop a harmonized approach to the management of safety in different areas of human activity.

Material and methods: The basic principles of decision-making on safety: the justification principle, the principle of the protection optimization and the principle of risk limitation have been regarded.

Results: It is proposed two ways (or steps) of harmonization: the first step is to prepare a scientific basis for the harmonization in sanitary regulation between different areas of human activity, overcoming the existing discords. This allows us to move to international harmonization – the harmonization of safety standards and other hygienic standards existing in different countries. We propose an unified approach to establishment of safety standards and other levels of decision-making on safety with the use of risk analysis in different spheres of human activity. Based on this approach, we propose the general safety standards for professionals and the public. Based on these universal safety standards, other levels of decision-making on safety rights for a number of contemporary influences of controlled sources of exposure could be proposed.

Conclusions: The developed approach can serve as a basis for proposals elaboration on international harmonization of regulatory and methodical documents on safety innovation in various fields of industrial and other human activities.

Ключевые слова: *risk assessment, risk index, methodology, health risk standard, harmonization, decision making principle*

РЕФЕРАТ

Цель: Разработка гармонизированного подхода к регулированию безопасности в разных областях деятельности человека

Материал и методы: Рассмотрены основные принципы принятия решения по безопасности: принцип обоснования, принцип оптимизации защиты и принцип использования предела риска.

Результаты: Предлагается два направления гармонизации: на первом этапе необходимо подготовить научные основы гармонизации гигиенических нормативов между разными областями деятельности человека, преодолев существующие расхождения. Это позволяет переходить к международной гармонизации, т.е. к гармонизации норм безопасности (НБ) и других гигиенических нормативов между разными странами.

Предложен единый подход к установлению НБ и других уровней принятия решений по безопасности с использованием анализа риска в разных сферах деятельности человека. На основе этого подхода предложены общие универсальные НБ для профессиональных работников и населения. Исходя из этих универсальных НБ, предложены основные НБ и другие уровни принятия решений по безопасности человека для воздействия ряда современных регулируемых источников вредного воздействия.

Выводы: Разработанный подход может служить основанием для разработки предложений по международной гармонизации нормативно-регулирующих и методических документов в области обеспечения безопасности инновационных технологий в различных областях промышленной и хозяйственной деятельности человека.

Key words: *оценка риска, показатель риска, методика, норма безопасности, гармонизация, принцип принятия решений*

Introduction

For decades, the traditional industrial areas of human activity in parallel with the development of technologies developed and improved safety systems for industry workers and the population. The first first radiation safety standards for nuclear industry have been established in the 1920th and continues to improve in our times. Modern radiation safety standards have been established in recent years at international level – ICRP, 2007 [1] IAEA, 2011 [2], at the national level – Radiation Safety Standards (RSS 1999/2009) [3].

One reason for the "delay" Radiation Safety Standards – the presence of complex, intractable problems in the quantitative description of the stochastic effects of ionizing radiation on human health at low doses and low levels of exposure (at the level of safety standards). This is mainly due to the nonspecificity of these effects, most of the long latent periods of cancer and hereditary diseases (for decades) and, consequently, with their low statistical power in epidemiological studies. A similar situation with the establishment of safety standards for handling hazardous chemicals.

Improving safety system in different areas of human activity remains highly relevant. This is due both to what has already been set forth above and the fact that:

1. Up until now, when establishing safety standards and other levels of decision-making on safety for the different sources of harmful effects there are used a different approaches and different risk or "dose" parameters. They

[1] National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia, E-mail: vfdemin_kiae@mail.ru
[2] Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia
[3] Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

[1] Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, E-mail: vfdemin_kiae@mail.ru
[2] Федеральное медико-биологическое агентство (ФМБА России), Москва
[3] Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва

are difficult, if not impossible, to compare with each other. For this reason, it is difficult or almost impossible to compare the safety standards and other levels of decision-making on safety in the various fields of human activity. In such a situation it is difficult to rely on their optimality.

2. For the newest areas of human activity (such as nanotechnology and the use of nanoparticles/nanomaterials (NP/NM)) solution to the problems of safety is in its infancy.

One of the main recommendations of national and international organizations for environmental protection and public safety is a strong recommendation to harmonize the regulatory structures in this area of responsibility. The lack of harmonization taking place until the end of 2011 is a serious obstacle to international cooperation and trade. In a recently published national regulatory documents [4, 5] has been tasked to implement the harmonization of sanitary regulations on the basis of risk assessment methodology.

The materials of the international conference "Nanotech-Europe-2009" (28–30 September 2009 in Berlin, Germany) have ascertained a significant difference between the U.S. and EU authorities in the control and management of safety documents with respect to exposure to chemicals and NP/NM. This discrepancy also applies to other countries, including Russia [6].

This harmonization is mainly reduced to the adoption of recommendations of authoritative international (ICRP, IAEA, WHO), regional (EU) or national organizations (such as U.S. EPA).

Below are two areas of harmonization:

The first step is to prepare a scientific basis for the harmonization of sanitary regulations between different areas of human activity, overcoming the existing differences. You can then move on to the international harmonization – the harmonization of safety standards and other hygienic standards between different countries. The first step of harmonization in this two-tier approach may be a scientific basis for inter-state harmonization.

Harmonization of hygienic standards can be ensured on the basis of standardized approaches to measurement methods, toxicological studies, risk assessments of exposure to ionizing radiation, hazardous chemicals, NP/NM and other sources of harmful effects on human health and the common principles of decision-making on safety.

Material and methods

Situations types and risk sources exposure categories. With the development of decision support systems to control safety on the basis of risk assessment is useful to distinguish three types of situations of exposure:

- projected impact of the situation, when carried out the deliberate introduction and operation of the source of exposure or planned to use at work or in the life of new hazardous materials;
- the impact of emergency situations that may arise from the planned impact of the situation, due to an accident, malicious acts or by other unexpected situation, such as a natural phenomenon (earthquake, volcanic eruption, a large forest or peat fire, etc.);
- the impact of the current situation, including existing sources of exposure for which a decision is made to control (vehicle emissions, emissions of coal-or gas-fired plants, which contains harmful substances, etc.).

Necessary to distinguish three categories of exposure to sources of risk:

- occupational exposure,
- the impact on the population,
- side effects for different medical procedures (diagnostic, therapeutic, drug delivery, etc.).

The system of decision making to control security refers to the first two categories.

Basic principles of decision-making on security. These principles are adequately described and justified in various documents, for example, see [1–3].

1. **The principle of justification.** Any decision that alters the impact of harmful factors should bring more good than harm.
2. **The principle of optimization of protection.** Individual risk exposures and the total number of exposed persons should be kept as low as reasonably achievable, taking into account socio-economic factors.
3. **The principle of limit risk using.** The overall risk of human exposure of regulated harmful factors shall not exceed the limit of risk (safety standard).

The final principle focuses on the individual situation and it is applied for the proposed impact, including several sources of potential danger.

The basic principle of establishing safety standards and the basic provisions. The basic principle of the establishment of the safety standards in relation to any regulated sources of harmful effects is formulated as follows: ***prevent deterministic effects and limiting stochastic effects at a lowest acceptable levels*** (***an acceptable level of risk***). Established safety standards in order to prevent deterministic effects, are developed based on the results of toxicological studies. In these studies, the threshold is determined by exposure to harmful substances (threshold of deterministic effects) and the value of safety standards is chosen below this threshold.

In accordance with the "Concept of toxicological studies, the methodology of risk assessment methods for the identification and quantification of nanomaterials" (endorsed by the Chief Sanitary Inspector of the Russian Federation on October 31, 2007, № 79) harmonization of the establishment of the safety standards for deterministic

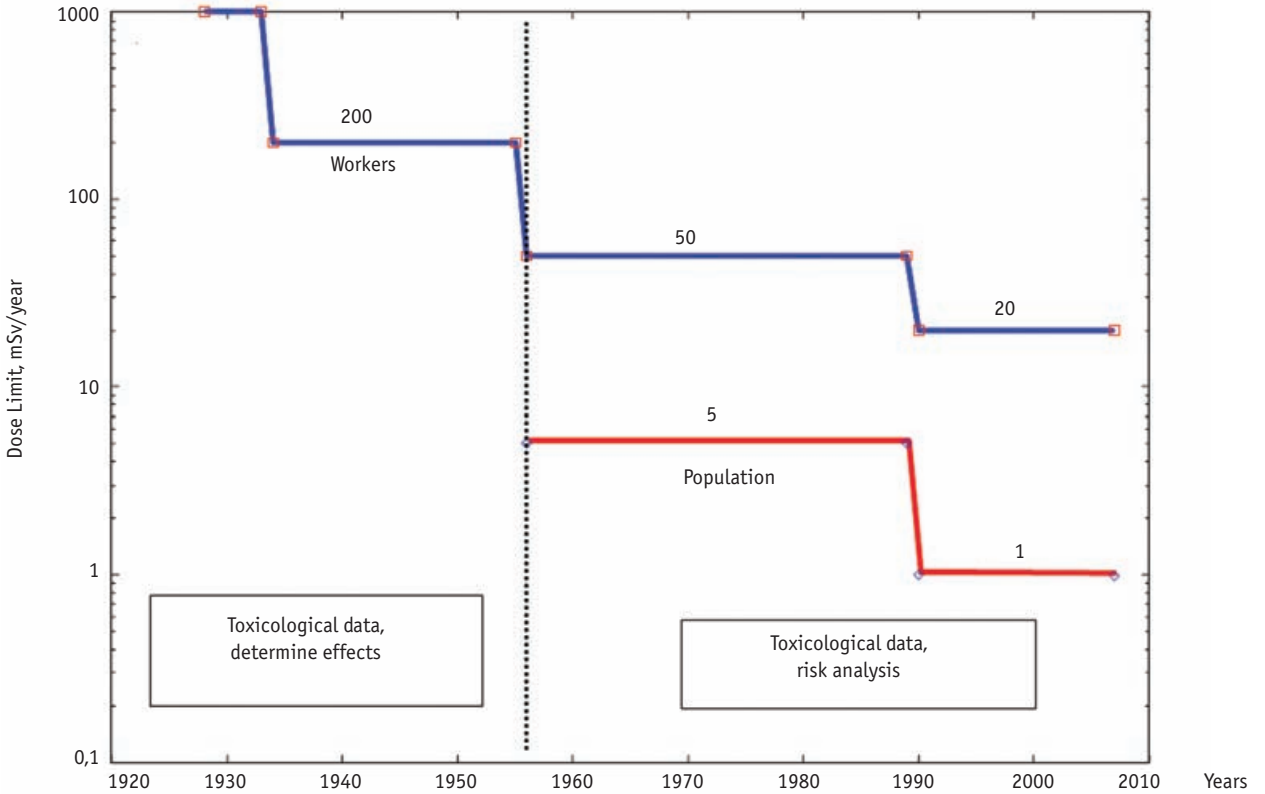


Fig. 1. The radiation safety standards (dose limits) dynamics and approaches to their establishment [1]

effects is achieved by developing and using standardized methodologies for toxicological research and measurement techniques.

Safety standards, established on the basis of risk assessment, refer to the limitation of stochastic effects. At the same time is considered a so-called involuntary risk, ie, the risk from exposure to which people are protected as a "third person" who do not receive any benefit from it, or its using. With respect to personnel hazardous industries, the occupational risk also applies to voluntary risk. The risk limits for the staff are set at a higher level and, as a rule, in one form or another is a compensation for higher risk.

Voluntary risk such as risk of vehicles is not considered. Not be considered as the possible risks of using drugs with their delivery to the organs (cells) of the human body with nanomaterials, calculated for a therapeutic or restorative effect.

Note that the introduction of the assessment of radiation risk in the regulation of radiation safety led to a tightening of standards for radiation safety of tens to hundreds of times, see Fig. 1.

For making decisions on human security, based on risk analysis, you must install an appropriate system of risk levels – levels of decision-making. In this system, except basic and derivative safety standards includes all sorts of control levels, negligible risk levels (levels of «de minimus»), levels of intervention after an accident, etc.

It is the practice in various areas of human safety standards set based on the average age and sex risk indicators. The adoption of different safety standards for different groups would lead to considerable complication of the whole security system.

In order to achieve harmonization is necessary to establish a unified approach safety standards. Its basic conceptual principles:

1. Need to develop a common methodology for risk assessment, which can serve as a basis for the development and study of particular methods (for ionizing radiation, hazardous chemicals, nanotechnology, and other specific sources of harm).
2. Need to install a single, universal safety standards. On this basis, the basic specific safety standards are developed for individual sources of harm (Branch safety standards) in terms of the risk or impact, which have been used in practice (as a rule, for each source uses its own set of impact indicators) and will be chosen for practical application in the future as for the NP/NM.
3. For the purpose of establishing the safety standards it is necessary to select the most suitable for this purpose indicator of risk.
4. On the basis of universal safety standards developed for specific key individual sources of risk (Branch safety standards) in terms of the risk or impact, which have been used in practice (as a rule, for each source uses

its own set of impact indicators) and will be chosen for practical application in the future, for both the NP/NM.

5. In accordance with the established practice of security in various areas of human activity are set safety standards, averaged by sex and age. Need to select the appropriate method of averaging of safety standards by age and gender.

An additional regulations on the treatment must be taken for hazardous facilities and for potential critical groups of people (eg pregnant women).

The structure of the establishment of safety standards on a common basis for risk assessment. In a common approach to the establishment of safety standards in different areas of human activity on the basis of risk assessment of their structure looks as shown in Fig. 2.

Central to this structure is the main purpose for the staff of the safety standards of hazardous industries and the public. They are the same for all regulated sources of risk, including in cases of joint action.

On their basis the main branch of safety standards for a single isolated source of harm are developing. They are expressed in those terms (the specific risk factors or indicators of the "dose" effect in its different definitions), which by now are widely used in practice or will be chosen for practical application in the future, both for the NP/NM during the revision of existing indicators for other sources of harm. For example, for industrial safety the probability of death or severe injury in the year as a result of an accident or occupational injuries is a measure of risk.

At the next level, the safety standards derivatives are followed, designed to control the level of exposure or contamination of the environment and consumer goods (air, water, land, production facilities, food, etc.). Sanitary authorities use it in the production control departments for the level of pollution by harmful substances of the environment and industrial premises. Latest safety standards can be expressed in terms that are easy to measure and control means available. Typically, this is the maximum one-time and average concentration of pollutant controlled.

Results and discussion

Choice of risk parameter. Modern safety standards in different spheres of human activity are based on different approaches, using different indicators of exposure or risk and hard to compare with each other. For example, the radiation safety standards (RSS) have been constructed with the use of specific assessment of exposure to ionizing radiation parameters (effective dose and its global averages of risk). These figures are specific to the radiation risk, and RSS can not be directly compared with the safety standards in other areas [1].

Chemical safety norms, as a rule, is still set in terms of maximum permissible concentration in air and water, based on toxicological approach and a threshold dose–effect (TDE) concept.

The safety standards (limits of risk) based on the terms of the concept of intensity of individual risk of death (annual probability of death) were established by the national organizations to protect the personnel of harmful plants and population. Obviously, such rules and an indicator of risk can not be directly used for the risk sources to the delayed manifestations of effect. These are, for example, ionizing radiation, chemical contaminants with carcinogenic and (or) genetic effects, etc. Radiation and chemical carcinogenesis are characterized by a relatively high latency (the time interval between exposure and the possible emergence of cancer) for the most radiogenic cancer ("solid" cancers), the minimum of its value 5–10 years, average 30–50 years. For this reason, the average life years lost per case of fatal radiogenic cancer $L_{cp.}^{л.р.}$ is much less than the average loss of life years in the case of immediate death $L_{cp.}^{н.с.}$ in an accident or an accident. A similar pattern for chemical carcinogenesis.

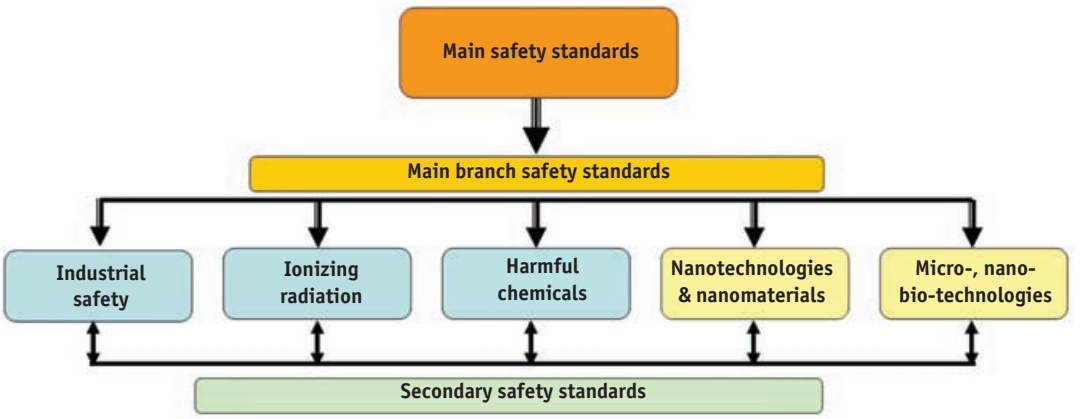


Fig. 2. The structure of the establishment of safety standards on a uniform basis for risk assessment in different spheres of human activity

According to estimates by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) [1] world average value $L_{cp.}^{л.р.}$ is equal to

$L_{cp.}^{л.р.} = 15$ years, $L_{cp.}^{н.с.} = 35$ years

and the value $L_{cp.}^{н.с.}$ for the population of Russia:

$L_{cp.}^{н.с.} = 35–40$ years.

The years of life lost $L^{н.с.}$ for the population of a particular country can be easily obtained by calculation, using the available tools for risk assessment.

Thus, deaths caused by the different sources of risk may have different damages, expressed in years of life lost, ie they are, generally speaking, are not equivalent. For this reason, the establishment of safety standards for various sources of harm in terms of risk of death or comparison them in terms of probability of death or the number of deaths, as is sometimes done, can not be considered valid. Such a comparison of risk was used in scientific papers 70–80 years in accordance with the level of development of the methodology of risk analysis in those years.

Comparison of risk in terms of mortality or the risk of death can be found in modern works, but it is not always justified or it can be seen as a rough approximation. Particularly ill-suited indicator of risk (the probability of the risk of death per year) to assess the risk of living near a nuclear power plant or other source of ionizing radiation. The current annual risk is determined by all previous releases of radioactive ejections and grows with time, but the current annual emissions and annual doses form the risk for the next dozen years or even generations.

A specific indicator of risk $\mathcal{R}$ is a common basis for risk assessment and the most appropriate measure of risk for the purpose of establishing uniform safety standards and other levels of decision-making on safety. Conceptually, it is defined as the product of the intensity of "doses" d chronic (extended) action (in its broad definition), or in other words, it is the average «dose» rate per year effect of the considered a source of harm to the detriment of g_D (lost years of healthy life) from the unit "dose" D.

Suppose that we have the extended (chronic) exposure source of harm with "doses" rate $d\,(e)$, where e is the current age. Then the relative annual loss $\mathcal{R}(e)$ of the age e is equal to

$$\mathcal{R}(e) = d(e) \cdot g_D\,(e), \qquad (1)$$

where $g_D\,(e)$ is the damage from one "dose", is calculated for a single dose received at the age of e [7–9]. A more detailed explanation of the formula (10) is given in the Appendix.

The dimensions of the quantities d and g_D: respectively [[dose] / year] and the [year / [dose]], where the dimension of [dose] "dose" exposure is defined below for each source of exposure.

Here we use a generalized notion of "dose" as a measure of the impact of the considered source of risk. For each controlled source of risk it is used a concrete definition of a "dose" of exposure.

Risk parameter $\mathcal{R}$ has the dimension [year / year] (the lost of years of healthy life, referred to by the host under the influence of the source of risk). $\mathcal{R}$ is the share of current year, which is lost as a result of the considered source of risk throughout the year, ie be called the relative magnitude (share of year). Lost years of healthy life are reduced after this exposure in reality. $\mathcal{R}$ is considered as dimensionless magnitude (share of year).

$\mathcal{R}$ is expectation of loss expressed in the lost years of healthy life from the annual impact of the source of risk in the mathematical probability-theoretic definition.

$\mathcal{R}(e)$ is the most convenient measure for risk comparison and risk standartization. It describes the full damage of lost years of life from the annual action of a source of risk. No other parameter has this property.

In addition to age e, $\mathcal{R}(e)$ may depend on gender and other factors. In establishing safety standards and other levels of decision-making value of the $\mathcal{R}(e)$ is averaged by gender and age.

Some effects of harmful factors may be delayed and have a significant latent period: the years – decades, as it take place in the case for malignant and hereditary diseases from exposure to ionizing radiation and certain hazardous chemicals. Similar effects can be expected from some NP/NM.

It is just always clearly understood that the category of damages in lost years of life only applies to a large number of homogeneous group of people and basically does not apply to a particular individual (no particular person had lost years of his life, and to this category can be operated only statistically).

The basic universal safety standards. It is proposed to set the following values $\mathcal{R}_n$ as the main purpose of safety standards to limit chronic exposure to controlled harmful factors with this indicator of risk $\mathcal{R}$:

$$\mathcal{R}_n = \begin{cases} 0.0004 \text{ for population,} \\ 0.006 \text{ for professional workers .} \end{cases} \qquad (2)$$

These values are chosen by the authors in such a way as to meet modern standards of radiation safety during normal operation of enterprises or the use of ionizing radiation. Experience shows that these standards provide a sufficiently high level of protection of human health during normal operation with sources of ionizing radiation. In addition, the use of risk assessment to establish and justify the safety standards is the most deeply worked out in the field of radiation safety.

The universal level of negligible risk (level of «de minimus»). This level $\mathcal{R}_{d.m}$ encouraged to establish equal

$$\Re_{d.m.} = 10^{-5}. \quad (3)$$

The main industry safety standards. The transition from basic to basic universal safety standards, safety standards for specific sources of harm (industry safety standards) is carried by the following simple formula:

$$d_n = \Re_n / g_D, \quad (4)$$

where d_n is the general term of main industry safety standards, expressed in the appropriate "dose" units and defined in $\Re_n$ of the main safety standards. g_D and dn are specified below for the considered controlled sources of harm. Here and below, the term "industry" refers to a single factor, including chemical pollutants to a specific substance for which such standards are developed.

In establishing the safety standards and other levels of decision-making on protective measures commonly used averages by age and gender in the definitions of the values of (1) – (4). Since this is done, for example, with coefficients of radiation risk in setting radiation safety standards, rules of industrial safety and safety when exposed to hazardous chemicals.

The basic radiation safety standards. Dose d_p (absorbed, equivalent and effective – depending on application) is used for ionizing radiation as a measure of the impact on human health effects. For this source of risk $\Re$ is calculated as

$$\Re = d_p \times g_p. \quad (5)$$

In the expression (5) in accordance with modern practice of radiation safety regulation effective dose and its coefficients should be used [1]:

$$d_{p=} d_E, g_p = g_{E,} \quad (6)$$

where d_E is effective dose rate (effective dose per year), g_E is a well-known average risk factor for ionizing radiation, slightly modified in the final recommendations of the ICRP [1]:

$$g_E = \begin{cases} 0.8 \text{ years/Sv, for population,} \\ 0.6 \text{ years/Sv, for professional workers.} \end{cases} \quad (7)$$

This factor is taken into account all the effects of exposure to ionizing radiation: fatal and nonfatal cancers, genetic diseases.

Using expressions (6) and (7), and the fact that the safety standards have limited radiation risk in terms of effective dose somewhat more than the risk, expressed as risk coefficients of effective dose (with a reserve equal to about 2) [1], we obtain the basic currently in radiation safety standards in the form of the effective dose limit of $d_{E,n}$:

$$d_{E,n} \approx \begin{cases} 1 \text{ mSv/year, for population,} \\ 20 \text{ mSv/year, for professional workers.} \end{cases} \quad (8)$$

This result was expected: basic universal values of safety standards were chosen so as to conform to modern standards of radiation safety.

Industrial basic safety standards (risk limitation of accidents and injuries). For the risk source of immediate action – failure on enterprises, which may be hazardous to the public and staff, as the "dose rate» effect common to use the magnitude of r – the intensity of the risk (probability of death (severe injury) per year). For such a source of risk for the expression of risk $\Re$ has the form

$$\Re = r \times g_r, \quad (9)$$

where $g_D \equiv g_r$ – lost years of healthy life in an accident. The mean age value is 40 and 30 years respectively for the public and professional workers. From the general definition of the industry safety standards (4), we obtain

$$d_n \equiv r_n = \begin{cases} 1.0\times10^{-5}\text{/year, individuals from the population,} \\ 2.0\times10^{-4}\text{/year, for professional workers} \end{cases} \quad (10)$$

Industry safety standards for hazardous chemicals. As a rule, DDE for chemical pollutants in the is normalized to so-called exposure time integral (sum) of the concentration of this substance in the atmosphere C_x:

$$\varepsilon_x = \int C_x dt.$$

Its dimension is [year×μg/m^3)]. Annual exposure (or exposure intensity) e_x is calculated by the exposure ε_x at time Δt using formula $e_x = \varepsilon_x / \Delta t$. It has the dimension [year×μg/m^3)/year] ie its dimension is equal to dimension of the average concentration of harmful substances in air atmosphere. $\Re$ is written as follows for the chemical pollution:

$$\Re = e_x \times g_x. \quad (11)$$

Currently, the major safety standards for individual hazardous substances are set primarily on the basis of the results of toxicological studies. Work on the use of risk analysis to improve the standards of 'chemical' security are under development and held in the direction of harmonization of these standards [4, 5]. In the literature one can find important examples of the calculated values of L (lost years of life) for chemical pollutants. Here, risk of exposure to chemicals $\Re$ to demonstrate the value of standardization in considered only fine aerosol $PM_{2.5}$ (particle diameter less than or equal to 2.5 microns), emitted by power plants or other sources of air pollution. Based on these studies [10, 11], we find that average coefficient $g_D \equiv g_x$ for $PM_{2.5}$ is equal to

$$g_x = \begin{cases} 0.0005 \text{ years/(year×μg/m}^3\text{), for population, (PM}_{2.5}\text{),} \\ 0.0004 \text{ years/(year×μg/m}^3\text{), for professional} \\ \text{workers (PM}_{2.5}\text{).} \end{cases} \quad (12)$$

As a general definition of the industry safety standards (4) and based on the average value (12), we obtain of the safety standards in terms of the average concentration of this pollutant of the atmosphere:

$$d_n \equiv c_n(\mathrm{PM}_{2.5}) \approx \begin{cases} 1{,}0\ \mu g/m^3, \text{ for population,} \\ 15\ \mu g/m^3, \text{ for professional workers} \end{cases} \quad (13)$$

Industry negligible risk levels. On the basis of the universal definition of this level by expression (3), we obtain the industry negligible risk levels. We operate in the same way as when receiving industry safety standards, ie it is calculated by the formula

$$\mathcal{R}_{d.m.} = 10^{-5}. \quad (3)$$

As a result, we obtain:

$$d_{d.m.} \equiv \begin{cases} d_{E,d.m.} \approx 10\ \mu Sv/\text{year (ionizing radiation)}, \\ r_{d.m.} = 3\times10^{-7}/\text{years (accidents)}, \\ c_{d.m.}(\mathrm{PM}_{2.5}) = 0.02\ \mu g/m^3 \text{ (air pollution)}. \end{cases} \quad (14)$$

These industry-negligible risk levels are at the same level of risk in terms of parameters of risk $\mathcal{R}$.

Integrated risk management. In practice, there are situations where personnel of the company or any of the groups are exposed to two or more regulated sources of harm. For example, it may be ionizing radiation, and harmful chemicals, including nanosized form. In such situations, especially when the impact of each source meets the safety standards, and the total impact can be quite high and exceed the established criteria for safety standards, it is necessary to impose additional restrictions on the impact of these sources.

The adoption of safety solutions under the action of two or more regulated hazards can be implemented on the same basic principles of decision-making on security set forth above, including a common approach to the establishment of the safety standards.

The defined above, see (1), allows us to $\mathcal{R}$ presence of a special rate risk $\mathcal{R}$ governed by all applicable $\mathcal{R}$ calculate the total value of the annual risk sources of harm:

$$\mathcal{R}_\Sigma = \Sigma_i\, \mathcal{R}_i, \quad (15)$$

where $\mathcal{R}_i$ is average value of the special rate risk from the i-th source of exposure. The third principle of decision-making on safety requirement implemented by performing the simple relation

$$\mathcal{R}_\Sigma = \Sigma_i\, \mathcal{R}_i \le \mathcal{R}_n\,,$$

The implementation of the 2nd principle of decision-making is performed by a complex exposure optimization of all considered sources of harm under the condition (16). The optimality criterion is the minimum of the generalized prejudice, which is the sum of the costs of risk reduction and residual injury, expressed in economic terms. The summation is over all regulated sources of harm.

For the practical implementation of both the 2nd and the 3rd principle of decision-making should have risk assessment methodology for each considered a source of exposure, allowing to calculate the necessary risk in their dependence on age and sex, and then to obtain the average values. In addition, you must have a method of calculating damages in economic terms from the loss of health (life) as a result of hazards. Such a methodology approved by the competent federal bodies are currently unavailable. There's only scientific publications on the subject of some authors, see for example [12–14].

It is also important to note the problem of averaging the risk factors by age. It should be cautious in averaging in age with the age distribution of Russia or any of its region. This distribution is highly unbalanced and not static over time due to the socio-political upheavals in the last hundred years, see Fig. 3. In the medical demography have long solved this problem by averaging the standard of population, using, as a rule, the European age distribution standard [15], see Fig. 3. It is possible to develope a Russian version of age distribution standard. Ultimately, the decision must be made on the choice of one of two ways: European or Russian standard. In the latter case it will be necessary to develop the Russian age distribution standard.

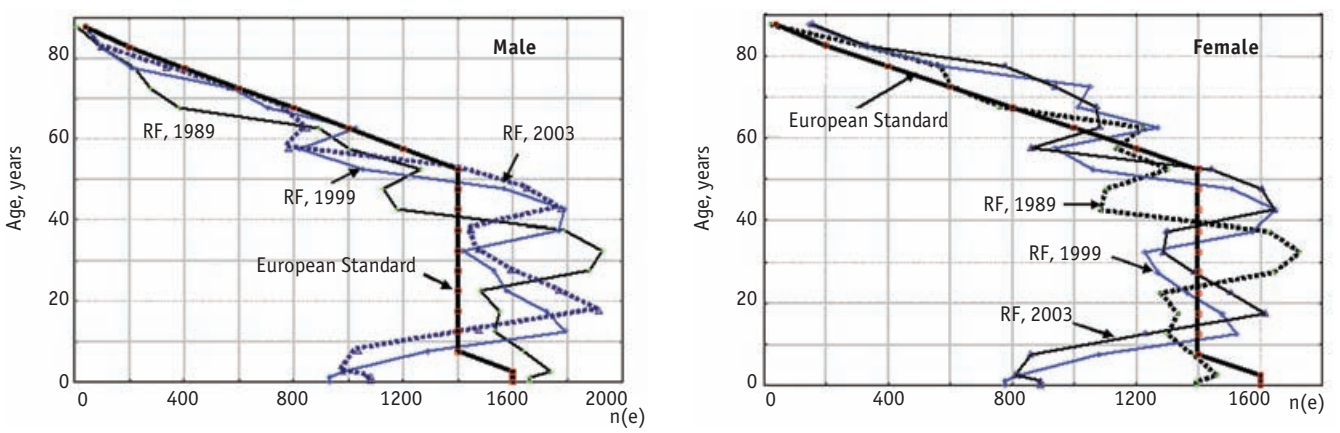


Fig. 3. Age distribution n(e) of male and female Russian population in different years (Rosstat data) and the WHO European standard [15] for comparison

Conclusion

A unified approach is suggested to establish the safety standards and other levels of decision-making on security with the use of risk analysis in different spheres of human activity. Based on this approach, we propose the general safety standards for professionals and the population. Based on these universal safety standards, the basic safety standards and other levels of decision-making on human safety are suggested for a number of contemporary influence of controlled sources of exposure.

For a new area of activity, which is the use of nanotechnology and nanomaterials, it is helpful to use the experience of risk assessment and safety management in the traditional areas of human activity. Recently one of the main objectives of improving human safety in Russia and abroad is reduces to harmonization of safety regulation across countries on the basis of risk assessment and analysis.

Harmonization of regulatory decision-making on security implemented on the basis of a common approach in the modern methodology of risk assessment. The most important step in this unified approach is to develop the proposals for a universal safety standards and other levels of decision-making on safety.

The developed approach can serve as a basis for developing proposals for international harmonization of legal and regulatory and methodical documents in the field of safety of nanotechnology and other fields of industrial and human activities.

Some of the results presented in this article was obtained in the performance of work under the federal target program «Development of infrastructure of nanotechnology in the Russian Federation in 2008–2011 years» (State contract No. 01.648.12.3022 on 11.11.2008).

REFERENCES

1. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Elsevier, 2007, 34 pp.
2. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA, 2011, 308 pp.
3. Radiation Safety Standards (NRB-99/2009), SanPin 2.6.1.2523–09, 72 pp. (Russ.)
4. Rospotrebnadsor. On the Establishment of an Health Risk Evaluation Methodology for Population, Order from 05.02.2010 (Russ.).
5. Rospotrebnadsor. On the Establishment of an Interagency Working Group on Harmonization of Health Standards, Order No 86 from 10.03.2010 (Russ.).
6. *Breggin L., Falkner R., Jaspers N. et al.* Securing the Promise of Nanotechnologies Towards Transatlantic Regulatory Cooperation. Report on the international conference "Nanotech Europe 2009", 28–30 Sept. 2009, Berlin, Germany, 101 pp.
7. *Demin V.F.* Common approach to comparison and standardization of health risk from different sources of harm. // Int. J. Low Radiation, 2006, **2**, No. 3/4, P. 172–178.
8. *Demin V.F., Ivanov S.I., Novikov S.M.* General methodology of health risk assessment in different hazards sources. // Med. Radiol. and Radiat. Safety, 2009, **54**, No. 1, P. 5–15 (Russ.)
9. *Demin V.F., Zakharchenko I.E.* Health risk from ionizing radiation and other harmful sources: assessment methods and practical application. // Rad. Biol. Radioecol., 2012, **52**, No. 1, P. 77–89 (Russ.).
10. Nanomaterials – Toxicity, Health and Environmental Issues. Ed. by *C.S.S.R. Kumar*, 2006, WILEY-VCH, 333 pp.
11. *Pope C. A. III, Burnett R.T., Thun M.J. et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. // JAMA, 2002, **287**, i9, P. 1132 (10).
12. *Abalkina I.L., Demin V.F., Ivanov S.I. et al.* The economic basis for risk assessment for the calculation of the damage caused by the impact on health of various harm factors. // Problems of Risk Analysis, 2005, **2**, No. 2, P. 132–138 (Russ.).
13. *Legasov V.A., Demin V.F., Shevelev Ya.V.* Safety as Economic Factor. Risk Value. // Problems of Risk Analysis, 2005, **2**, No. 2, P. 185–189 (Russ.).
14. *Legasov V.A., Demin V.F., Shevelev Ya.V.* Discounting and Compromise between the Generations. // Problems of Risk Analysis, 2005, **2**, No. 2, P. 141–146 (Russ.).
15. European Population Age Standard, see http://www.who.int/.

Appendix

Suppose there is a single dose of D at age e or extended (chronic) exposure from the age of e, a i-th source of harm to the "dose" rate $d(a)$, a – the current age. The damage in lost years of life $G_i(e)$ is calculated according to [8, 9] as

$$G_i(e) = \int_e^\infty r_i(e,a,D)L(a)da \qquad \text{(A1)}$$

– for a single exposure to dose D

or

$$G_i(e) = \int_e^\infty r_i(e,a,\{d\})L(a)da \qquad \text{(A2)}$$

– for chronic exposure.

Here $r_i(e,a,D)$ ($r_i(e,a,\{d\})$) – the risk of death intensity from a one-time (chronic) of the i-th source of harm:

$$r_i(e,a,D) = H(e,a,D)\times\mu_i(e,a,D), \qquad \text{(A3)}$$

$$r_i(e,a,\{d\}) = H(e,a,\{d\})\times\mu_i(e,a,\{d\}), \qquad \text{(A4)}$$

$\mu_i(e,a,D)$, ($\mu_i(e,a,\{d\})$) – age-specific mortality rate as a function of current age *a* and a single (extended, denoted as $\{d\}$) impact of the *i*-th source of harm), $H(e,a,D)$, $H(e,a,\{d\})$ – the respective roles of survival (survival) from the age of *e* to age *a* consideration in view of the source of harm;

$L(a)$ – the life expectancy of a person who has attained the age of *a,* in the absence of risk factor *i:*

$$L(a) = \int_a^\infty H(a,a')da'. \quad \text{(A5)}$$

Let we use the model of additive risk [8, 9] and function $\mu_i(e,a,D)$ for a single exposure at the age of *e* with a dose *D*

$$\mu_i(e,a,D) = \beta_i(e,a) \times D, \quad \text{(A6)}$$

Then $\mu_i(e,a,\{d\})$ is calculated as follows:

$$\mu_i(e,a,\{d\}) = \int_e^a \beta_i(e',a)d(e')\partial e'. \quad \text{(A7)}$$

We distinguish in the integral over *e'* (A7) et a current age e_m and short integration interval $[e_m, e_m + \Delta e]$, $\Delta e = 1$ year. Then $\Delta\mu_i(e_m,a,\{d\})$ to the function $\mu_i(e,a,\{d\})$ the addition of source of harm in the selected range will be equal to

$$\Delta\mu_i(e,a,\{d\}) = \int_{e1}^{e2} \beta_i(e',a)d(e')\partial e' \cong \beta_i(e_m,a)D(e_m), \quad \text{(A8)}$$

where $e1 \equiv e_m$, $e2 \equiv e_m + \Delta e$,

$$D(e_m) = \int_{e1}^{e2} d(e')\partial e' = d_{cp}(e_m) \times \Delta e. \quad \text{(A9)}$$

The $\Delta G_i(e_m)$ to the detriment of $G_i(e)$ the action of the source in the $[e_m, e_m + \Delta e]$ is equal to

$$\Delta G_i(e_m) = d_{i,cp}(e_m) \times g_{i,D}(e_m) \times \Delta e, \quad \text{(A10)}$$

where $g_{i,D}(e_m)$ – damage to the lost years of life from a single dose received at the age of e_m:

$$g_{i,D}(e_m) = \int_{e_1}^\infty H(e_m,a,\{d\}) \times \beta_i(e_m,a) \times L(a)da, \; e_1 \equiv e_m. \quad \text{(A11)}$$

Note that in this formula is a complete survival function $(e_m,a,\{d\})$. It is generally considered the radiation dose outside of the specified annual interval. Considering mainly the relatively small sources of risk, lower operating and safety standards in the area, this function can be replaced by "background" survival function $H(e_m,a)$, which is not considered a source of chronic exposure under consideration. This slightly changes the results. In any case, such a replacement leads to a conservative estimate of risk from case to its source. Next, written out in the main $\Re(e)$, we obtain an expression for the main paper:

$$\Re(e) \equiv \Re_i(e) = \Delta G_i(e_m) / \Delta e = d_{i,cp}(e_m) \times g_{i,D}(e_m). \quad \text{(A12)}$$

In contrast, the expression in equation (1) omitted the indices *i*, *cp* and *m*.

If $\mu_i(e,a,\{d\})$ used a multiplicative dependence on the spontaneous μ the function (background) mortality, the value of $g_{i,D}(e_m)$ is calculated taking into account this multiplicative dependence [8, 9].

Поступила: 21.05.2013.
Принята к публикации: 23.05.2013.

REFERENCES

1. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) от 2007 г. Публикация 103 МКРЗ. Пер с англ. Под общей ред. *М.Ф. Киселёва и Н.К.Шандалы.* – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009, 344 с. (Russ.)
2. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. МАГАТЭ, 2011, 308 с. (Russ.)
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009), СанПиН 2.6.1.2523-09, 72 с. (Russ.)
4. Решение коллегии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 5 февраля 2010 года «О внедрении методологии оценки риска для здоровья населения и задачи по её совершенствованию» (Russ.).
5. Роспотребнадзор. О создании межведомственной рабочей группы по гармонизации гигиенических нормативов, приказ № 86 от 10.03.2010 (Russ.).
6. *Breggin L., Falkner R., Jaspers N. et.al.* Securing the Promise of Nanotechnologies Towards Transatlantic Regulatory Cooperation. Report on the international conference "Nanotech Europe 2009", 28–30 Sept. 2009, Berlin, Germany, 101 pp.
7. *Demin, V.F.* Common Aapproach to Comparison and Standardisation of Health Risk from Different Sources of Harm. // Int. J. Low Radiation, 2006, **2**, Nos. 3/4, P. 172–178.
8. *Demin, V.F., Ivanov S.I., Novikov S.M.* Общая методика оценки риска воздействия на здоровье населения разных источников опасности. // Med. Radiology and Radiation Safety, 2009, **54**, 1, P. 5–15 (Russ.)
9. *Demin V.F., Zakharchenko I.E.* Риск воздействия ионизирующего излучения и других вредных факторов на здоровье человека: методы оценки и практическое применение. // Rad. Biology. Radioecology, 2012, **52**, 1, P. 77–89 (Russ.).
10. Nanomaterials–Toxicity, Health and Environmental Issues, ed. by *C.S.S.R. Kumar*, 2006, WILEY-VCH, 333 pp.
11. *Pope C.A. III, Burnett R.T., Thun M.J. et. al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. // JAMA, 2002, **287**, i9, P. 1132 (10).
12. *Abalkina I.L., Demin V.F., Ivanov S.I. et al.* Экономические параметры оценки риска для расчета ущерба, обусловленного воздействием на здоровье населения разных факторов вреда. // Problems of risk analysis, 2005, **2**, 2, P.132–138 (Russ.).
13. *Legasov V.A., Demin V.F., Shevelev Ya.V.* Safety as Economic Factor. Risk Value. // Problems of risk analysis, 2005, **2**, 2, P.185–189 (Russ.).
14. *Легасов В.А., Демин В.Ф., Шевелев Я.В.* Дисконтирование и компромисс между поколениями // Problems of risk analysis, 2005, **2**, 2, P. 141–146 (Russ.).
15. Europian Population Standard, see http://www.who.int/.

Е.М. Мелихова

Изменения в статистике искусственных абортов в 1986 г. не связаны с психологическими последствиями Чернобыля

E.M. Melikhova

Changes in Induced Abortion Statistics in 1986 are not Attributable to the Psychological Consequences of Chernobyl

РЕФЕРАТ

Цель: Проверка гипотезы о статистически значимом подъеме статистики абортов в 1986 г. из-за страха беременных женщин перед чернобыльской радиацией.

Материал и методы: Анализировалась статистика абортов и рождаемости на наиболее загрязненных территориях республик/областей СССР и в европейских странах, затронутых аварией на Чернобыльской АЭС. Данные по странам в 1980-е гг. взяты из международных демографических баз данных ООН и Национального института демографических исследований Франции (INED). Данные по 5 наиболее загрязненным территориям областей СССР взяты из материалов международных чернобыльских проектов и национальных программ. Рассмотрены данные публикаций по европейским странам, на основе которых была выдвинута гипотеза. Проведена оценка надёжности представленных в них результатов с точки зрения статистической значимости и обоснованности причинно-следственных связей.

Результаты: В БССР и УССР в целом и в наиболее пострадавших областях в трех республиках в 1986 г. не было статистически значимого подъема частоты легальных абортов. Отсутствие «всплеска» абортов на областном уровне, в том числе криминальных, подтверждается опубликованными результатами обследований исходов беременности у женщин, эвакуированных из 30-км зоны и проживающих на наиболее загрязненных территориях. Из 15 европейских стран, так или иначе затронутых аварией на ЧАЭС, статистически значимый прирост частоты абортов имел место только в Греции и Словакии, где в 1986 г. была проведена легализация абортов. Выводы в пользу проверяемой гипотезы, опубликованные в 1987–2001 гг. в европейских и американских научных журналах, являются несостоятельными либо из-за некорректной статистической обработки данных, либо игнорирования долговременных трендов в развитии демографических процессов.

Ключевые слова: *Чернобыльская авария, психологические последствия, искусственные аборты, рождаемость, демографическая статистика*

ABSTRACT

Purpose: To verify the hypothesis on increased rate of induced abortion due to the public fears of Chernobyl radiation in the affected Soviet republics and European countries.

Material and methods: Verified data on induced abortions and live births in the affected republics / counties in 1985–1987 were obtained from demographical databases of UN, INED and the State Statistical Service of USSR. Data for the most contaminated regions of the USSR were taken from the national scientific publications and international Chernobyl reports. Data related to increase of induced abortion rates in a few European countries published in 1987–2001 were crosschecked against statistical errors and changes in corresponding national abortion legislations.

Results: In Belorussian and Ukrainian Republics of the USSR, there were not statistically significant increments of induced abortion rates in 1986 against 1985. In five most contaminated administrative regions of the USSR, legal induced abortion rates in 1986 did not show statistically significant increment as well. No indications, direct or indirect, of noticeable increase of legal or criminal abortion statistics in 1986 were referred by competent national and international experts in the course of extensive studies of medical and psychological consequences of the accident. In fifteen affected European countries, significant increment of induced abortion rates in 1986 was registered in two countries only, namely in Greece and Slovakia, where abortions were legalized that year. The results published in 1987–2001 in favor of the hypothesis were invalid either due to inappropriate statistical analysis or due to ignorance of long-term trends in demographic processes.

Conclusions: 1. Results of the study allow to reject the hypothesis. Even if somewhere anxiety and fear of radiation made some women to perform induced abortions, the number of such cases was far below statistical error. 2. The study suggests that in contaminated territories, despite anxiety and distress most people do not show un-adequate behavior.

Key words: *Chernobyl, psychological consequences, induced abortion, birthrate, demographical statistics*

Памяти мужа
Мелихова Александра Павловича

Введение

В конце марта 2011 г., через пару недель после начала аварии на японской АЭС Фукусима, мировые СМИ сообщили со ссылкой на японские источники, что беременные женщины из пострадавшего от стихийного бедствия региона Тахоку приезжают рожать в клиники города Осака, находящегося в 530 км от аварийной АЭС, и число таких женщин растет. Речь шла о 149 женщинах, из них 58 приехали из Токио, где власти рекомендовали не использовать водопроводную воду для кормления новорожденных из-за превышения «детского» норматива на радиойод в водопроводной воде в одном из районов города [1]. В журнале Nature один из британских медиков прокомментировал эту новость так: “Совершенно понятно, что беременные женщины опасаются связанных с радиацией последствий для своих будущих детей. ... Это очень напоминает ситуацию в Чернобыле. ... После Чернобыля в СМИ было много сообщений

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва. E-mail: e_mel@ibrae.ac.ru

Nuclear Safety Institute of RAS, Moscow, Russia. E-mail: e_mel@ibrae.ac.ru

о большом количестве абортов, причиной которых стал страх будущих матерей перед радиацией. Исследования выявили увеличение частоты абортов в наиболее загрязненных регионах Белоруссии и России после аварии на ЧАЭС. Были также сообщения о повышении статистки абортов в некоторых странах Западной Европы, где радиоактивные выпадения были значительно меньшими. Увеличение частоты абортов в Швеции и Австрии не было доказано. Но в Италии и Дании была доказана связь увеличения числа абортов с обеспокоенностью беременных женщин» [2].

Действительно, в докладе экспертной группы ВОЗ Международному чернобыльскому форуму [3] упоминается, со ссылкой на [4], о массовых абортах из-за страха перед радиацией. В [4], в свою очередь, сообщается, что нет убедительных свидетельств вредного влияния чернобыльской радиации на частоту врожденных аномалий и другие исходы беременности, но есть доказательства косвенных эффектов – из-за обеспокоенности число искусственных абортов выросло настолько, что это привело к снижению рождаемости. В качестве доказательств в [4] приводятся результаты работ [5–8]. В [9] утверждается со ссылкой на МАГАТЭ, что в Западной Европе из-за обеспокоенности матерей не появились на свет от 100 тыс. до 200 тыс. детей. В работе [10] со ссылкой на [11, 12] говорится, что в Италии с чернобыльскими страхами были связаны 100 абортов и около 400 в Дании.

В то же время после аварии на АЭС Фукусима ни в Японии, ни в соседних странах информации об увеличении статистики абортов не было. Напротив, японские СМИ, со ссылкой на еще неопубликованные результаты исследования Медицинского университета префектуры Фукусима, сообщали, что с марта по декабрь 2011 г. статистика самопроизвольных и искусственных абортов в Японии не увеличилась [13]. После аварии на американской АЭС Три-Майл-Айленд у населения были выявлены разнообразные проявления тревоги, стресса и агрессивности, но о повышении частоты абортов речи не было [14]. В связи с этим возникает вопрос о природе феномена, который наблюдался в Чернобыле и его количественных характеристиках.

Для ответа на этот вопрос был проведен анализ данных официальной статистики легальных абортов и рождаемости на затронутых чернобыльской аварией территориях, а также углубленный анализ литературных данных.

Материалы и методы

По материалам европейских СМИ и научных публикаций в Европе пик обеспокоенности населения радиационной опасностью пришелся на май–июль 1986 г. В связи с этим для анализа были выбраны данные о годовом приросте абсолютных и относительных показателей легальных абортов и живорождений в 1986 г. и данные о помесячном количестве абортов и живорождений до и после аварии. Анализ проводился по наиболее пострадавшим территориям СССР (УССР и БССР в целом, Брянская, Гомельская, Житомирская, Киевская и Могилевская области), и по 16 затронутым аварией странам Европы.

Данные о числе легальных абортов в советский период начали публиковаться только в начале 1990-х гг.. Сейчас эти данные перепроверены и признаны достаточно полными и достоверными [15, 16]. По трем затронутым аварией советским республикам за 1986 г. доступны только самые общие показатели – общее число абортов и число абортов на 100 женщин репродуктивного возраста, поэтому в случае прироста этих показателей в 1986 г. дополнительно анализируется грубый коэффициент рождаемости.

Абсолютное число абортов не дает полной картины, поскольку зависит от абсолютного числа беременных женщин, проживающих в данный момент на данной территории. Последнее, в свою очередь, зависит от численности женщин детородного возраста на данной территории. Поэтому более предпочтительными являются относительные (частотные) показатели – количество абортов на 100 женщин фертильного возраста или на 100 живорождений.

В трех советских республиках в 1985 г. число абортов было в 1,5–2 раза выше числа живорождений, при таком соотношении резкое возрастание числа абортов в 1986 г. должно привести к снижению числа живорождений (при условии, что число беременностей не увеличилось). В европейских странах абсолютное число абортов было в 2–3 раза меньше числа живорождений, поэтому прямой связи между изменениями статистики абортов и статистики рождаемости здесь может и не быть.

Позднее советское законодательство об абортах, как и сегодняшнее российское, считается одним из самых либеральных в мире, благодаря чему доля криминальных абортов (произведенных вне больничных учреждений) по стране в целом была и остается небольшой – 4÷8 % от общего числа абортов [15–17]. По данным Госкомстата РФ, доля умерших от криминального аборта среди всех погибших от прерывания беременности в начале 1990-х гг. составляла примерно 90 % [18]. Можно предполагать, что женщины, решившиеся на аборт исключительно из-за страха перед последствиями чернобыльского облучения, не пойдут на дополнительный риск, связанный с криминальным абортом. Но полностью исключить криминальные аборты из анализа мы не можем, поскольку в некоторых регионах страны доля незарегистрированных абортов в советское время доходила до 30 %

от официального числа абортов [16]. В случае резкого подъема частоты криминальных абортов грубый коэффициент рождаемости может не измениться, но показатель материнской смертности должен заметно вырасти. Поэтому, по возможности, мы будем включать в анализ данные по материнской смертности.

Примем, что в условиях стабильной пронатальной политики государства частота абортов (отношение годового числа абортов к годовому числу живорождений) стабильна и имеет нормальное случайное распределение (по годам). Относительную погрешность частотного показателя абортов, связанную с ошибками учета разных исходов беременности, положим на республиканском уровне равной 2 %, на областном уровне – не менее 4 % [19].

Поскольку официальные данные о числе абортов по областям в СССР не опубликованы, мы провели анализ данных из отчетов / докладов Международного чернобыльского проекта, международного проекта АЙФЕКА и национальных программ по ликвидации последствий аварии в Украине и России.

В дополнение к официальной годовой статистике абортов в европейских странах, почерпнутой из международных баз демографических данных, рассматривались также опубликованные европейскими исследователями национальные данные о помесячном числе абортов и живорождений.

Результаты и обсуждение

Белорусская ССР. К концу 1980-х гг. население двух радиационно-загрязненных областей – Гомельской и Могилевской составляло примерно треть от 10-миллионного населения республики. В 1986 г. число абортов в целом по БССР статистически значимо снизилось (~15 %). По Гомельской и Могилевской областям снижение не было статистически значимым, т.е. мы можем говорить лишь о том, что в 1986 г. абсолютное число абортов не увеличилось (табл. 1).

РСФСР. В конце 1980-х население наиболее загрязненной Брянской области составляло чуть менее 1 % от населения республики, поэтому республиканские данные не представляют интереса в смысле изучения чернобыльских последствий. В Брянской области в 1986 г. число абортов выросло, но изменение не вышло за пределы статистической погрешности. При этом снижения рождаемости не произошло (табл. 2), следовательно, резкого увеличения числа легальных абортов не было. Число женщин, умерших

Таблица 1

Число легальных абортов в Белорусской ССР и двух ее наиболее загрязненных областях

Показатель	Территория	Минимальная относительная погрешность, %	Годовой прирост в 1986 г., %	Источник
Число легальных абортов на 100 живорождений	БССР	2	– 15	[20]
Число легальных абортов на 100 женщин детородного возраста	Могилевская обл.	4	– 3	[21]
	Гомельская обл.	4	– 8	[21]

Таблица 2

Медико-демографические показатели по Брянской области РСФСР

Показатель	Минимальная относительная погрешность, %	Годовой прирост в 1986 г., %	Источник
Число абортов на 100 женщин детородного возраста	4	+ 4	[20]
Число живорождений на 1000 населения	4	+ 7	[21] [22]
Число женщин, умерших от осложнений беременности	5	– 31	[23]

Таблица 3

Медико-демографические показатели по Украинской ССР и двум ее загрязненным областям

Показатель	Территория	Минимальная относительная погрешность, %	Годовой прирост в 1986 г., %	Источник
Абсолютное число легальных абортов	УССР	1	+ 3 – 1	[20] [24]
Число абортов на 100 живорождений	УССР	2	– 1 –5	[20] [24]
Число живорождений на 1000 населения	УССР	2	+ 3 + 2 + 4	[21] [25] [26]
Число легальных абортов на 100 женщин детородного возраста	Киевская обл.	4	+ 3	[21]
Число живорождений на 1000 населения	Киевская обл.	4	+2 +3	[21] [25]
Число легальных абортов на 100 женщин детородного возраста	Житомирская обл.	4	–24	[21]
Число живорождений на 1000 населения	Житомирская обл.	4	+3 +3	[21 [25]

в Брянской области от осложнений беременности, в 1986 г. статистически значимо снизилось. Отсюда можно сделать вывод, что значимого всплеска искусственных абортов (легальных и криминальных) в 1986 г. в Брянской области не было.

Украинская ССР. К концу 1980-х население двух наиболее пострадавших украинских областей – Киевской (со столичным городом Киев) и Житомирской – составляло примерно 10 % от населения республики. В целом по Украине число легальных абортов в 1986 г. по одним данным выросло на 3 %, а по другим – снизилось на 1 % (табл. 3). По крайней мере, статистически значимого прироста не было. Число абортов в пересчете на тысячу живорождений уменьшилось, но тоже не значимо. Общий показатель рождаемости не снижался, что также указывает на отсутствие существенного всплеска в статистике абортов.

В загрязненной Киевской области в 1986 г. увеличение числа легальных абортов на 100 женщин детородного возраста не вышло за пределы относительной погрешности показателя. Рождаемость также практически не изменилась. В Житомирской области произошло резкое снижение числа легальных абортов, при этом рождаемость практически не изменилась.

Таким образом, по данным официальной статистики в БССР и УССР в целом, а также в пяти наиболее пострадавших областях в 1986 г. не было статистически значимого подъема частоты легальных абортов.

Посмотрим, не противоречит ли этот вывод результатам исследований медицинских и психологических последствий аварии, проводившихся в рамках международных чернобыльских проектов и национальных научных программ.

Украинские специалисты анализировали течение беременности и родов в динамике послеаварийного периода на контролируемых территориях Житомирской, Киевской и Черниговской областей. Например, Киевский институт акушерства, гинекологии и педиатрии провел обследование 533 беременных женщин, эвакуированных из 30-км зоны после аварии, а также анализ исходов беременности в загрязненных районах УССР. Результаты были представлены экспертам Международного чернобыльского проекта. В частности, украинские медики сообщили о снижении рождаемости в обследованных районах в соответствии с общей тенденцией к снижению рождаемости в СССР [21].

Согласно [26], анализ течения беременности и родов у 16 тыс. женщин, проживающих на контролируемых территориях, выявил 1,5–2-кратное увеличение частоты различных осложнений беременности. Это могло быть связано с влиянием разных факторов, в том числе с нарушением характера питания, условиями быта, хроническим стрессом и др. В 1986 г. у беременных женщин наблюдалось увеличение уровня ТТГ и Т4, было зафиксировано увеличение показателя детской смертности в районах наблюдения.

Российские специалисты, наблюдавшие в 1986–1992 гг. за беременными женщинами на загрязненных территориях, также отмечали некоторое увеличение частоты осложнений беременности и родов, возможно, связанное со стрессом [27]. В работе [28] были проанализированы 25 показателей течения и исходов беременности у 306 женщин, проживавших в городе Новозыбкове Брянской области (средняя доза за первые две недели аварии около 3 мЗв), и находившихся на разных сроках беременности. Сравнение с контролем (истории 351 родов до аварии) выявило незначительное увеличение доли женщин с преждевременными родами (15 % против 11 %). В работе [29] говорится о таких негативных явлениях как снижение численности населения загрязненных районов Брянской области за счет депопуляции и миграции, низкая доступность медицинской помощи сельским жителям.

В техническом докладе Международного чернобыльского проекта сообщается, что в загрязненных районах Украины у многих матерей развился невроз, у трети пациентов наблюдались психосоматические реакции [21]. В Брянской области было выявлено вероятное увеличение числа заболеваний алкоголизмом. В научном отчете международной программы АЙФЕКА [25] отмечается высокий уровень абортов в целом по БССР в период 1985–1993 гг., повышенный уровень смертности взрослых и подростков в Гомельской и Могилевской областях, а также у эвакуированных и проживающих на загрязненных территориях. В этой же работе указывается на пиковые значения смертности мужчин в возрасте 35–44 года от несчастных случаев, отравлений и травм в загрязненных районах Брянской и Калужской областей.

Все эти и другие результаты (можно привести еще множество аналогичных работ), показывают, что в начале 1990-х гг. научное сообщество открыто и в деталях обсуждало негативные явления в сфере соматического и психического здоровья разных групп населения на загрязненных территориях. При этом специалисты не смогли бы пройти мимо таких фактов, как резкое увеличение числа абортов в 1986 г. или заметное увеличение материнской смертности, если бы они действительно имели место. Ни в одной из упомянутых работ об этом не говорится.

Теперь посмотрим на статистику абортов в европейских странах, на территории которых регистрировались радиоактивное загрязнение [30] или которые фигурировали в сообщениях о массовых абортах после Чернобыля. Годовые данные об абортах взяты нами из [20, 24], годовой прирост в 1986 г. абсолютно-

Таблица 4

Годовой прирост показателей легальных искусственных абортов в некоторых европейских странах в 1986 году, %

Страна	Абсолютное число искусственных абортов[1]		Число абортов на 1000 живорождений[2]	
	источник [20]	источник [24]	источник [20]	источник [24]
Румыния	– 39	–39	– 42	– 42
Австрия	– 6	– 6	– 5	– 5
ГДР	– 5	– 5	– 3	– 3
Италия	– 10	– 7	– 5	– 2
Финляндия	– 4	– 4	0	0
Польша	– 4	– 4	+2	+ 2
Великобритания	0	0	0	0
Словения	0	0	+2	+ 2
Швейцария	...	0	...	– 2
Чехия	+ 1	+ 1	+ 3	+ 3
Дания	+ 1	+3	– 2	– 2
Венгрия	+2	+ 2	+ 4	+ 4
Норвегия	+ 6	+ 6	+3	+ 3
Швеция	+ 7	+ 7	+ 4	+ 4
Греция	...	+ 3	...	+ 6
Словакия	+ 12	+10	+16	+ 14

Примечания:
[1] минимальная относительная погрешность показателя 1 %
[2] минимальная относительная погрешность показателя 2 %

го и частотного показателей по 16 европейским странам показан в табл. 4.

Положим относительную погрешность учета легальных абортов в европейских странах, как и в пострадавших республиках, в середине 1980-х равной ~1 %, а погрешность частотного показателя (число абортов на 1000 живорождений) равной ~2 %. По правилу двух стандартных отклонений в Румынии и Австрии частотный показатель абортов в 1986 г. снизился статистически значимо ($p < 0{,}03$). В ГДР и Италии снижение абсолютного показателя было статистически значимым, относительного – нет. В Финляндии и Польше снижение абсолютного показателя было значимым, относительный показатель в 1986 г. значимо не изменился. В Великобритании, Словении, Швейцарии, Чехии и Дании изменения обоих показателей были незначимыми. В Венгрии, Норвегии, Швеции, Греции и Словакии годовой прирост обоих показателей был положительным (табл. 4). Визуальный анализ долговременной динамики частотного показателя (рис. 1а и 1б) показывает, что в Словении, Польше, Норвегии и Швеции в 1986 г. никаких «всплесков» не было, прирост был на уровне среднегодовых флуктуаций. В Греции годовой прирост был значимым (~6 %) и соответствовал растущему долговременному тренду. К Греции мы еще вернемся при анализе работы [10], здесь же обратим внимание на Словакию, где годовой прирост частоты абортов в 1986 г. был безусловно статистически значимым.

В Чехии и Словакии, которые до 1990 г. составляли одно федеративное государство, в 1980-х гг. частотный показатель абортов постепенно увеличи-

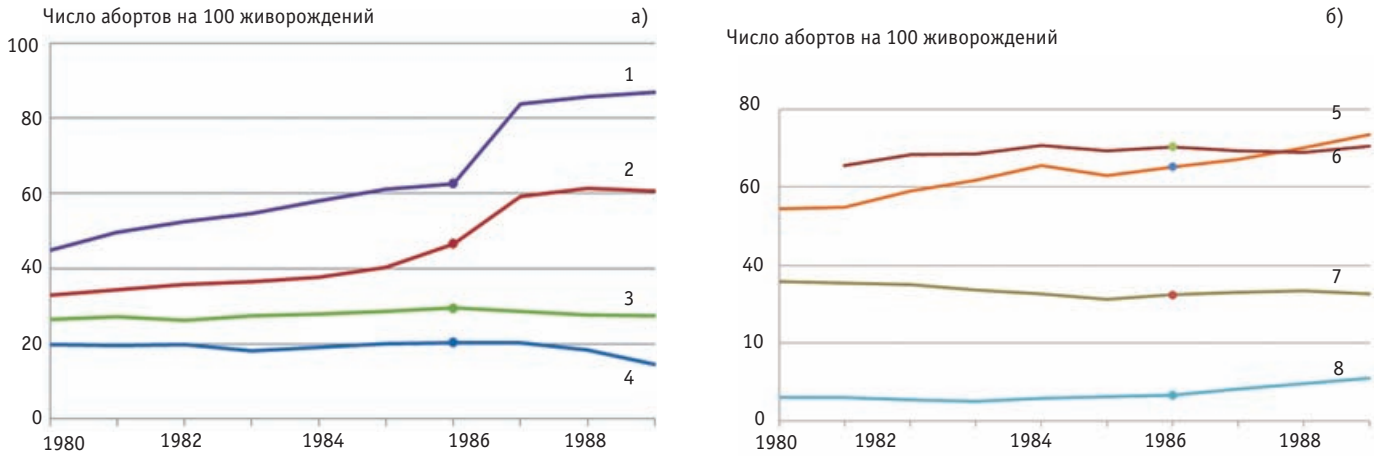


Рис. 1. Число абортов на 100 живорождений в 1980-х годах, по данным [23]. (а) Чехия (линия 1), Словакия (линия 2), Норвегия (линия 3), Польша (линия 4), (б) Венгрия (линия 5), Словения (линия 6), Швеция (линия 7), Греция (линия 8)

вался (рис. 1а), отражая поэтапную либерализацию законодательства. В Чехии прирост в 1986 г. был положительным (~3 %), но статистически незначимым. Резкий подъем пришелся на следующий 1987 г. (~25%) . В Словакии подъем частотного показателя был более плавным – в 1986 г. на ~16 %, и в 1987 г. на ~27 %. В Словакии долговременный растущий тренд наблюдался с 1957 г., когда были разрешены аборты по социальным показаниям [31]. Эта тенденция прерывалась дважды: в начале 1960-х гг., когда женщин обязали обосновать свое решение об аборте перед специальной комиссией, и в начале 1970-х гг. благодаря объявленным государством мерам по стимулированию рождаемости. Полностью аборты были легализованы в октябре 1986 г., когда упразднили специальные комиссии. Закон вступил в силу с 1 января 1987 г. [32]. Частота абортов в 1987 г. выросла по разным источникам на 20÷27 % (рис. 2), после чего практически перестала расти. Снижение рождаемости в Словакии в 1986 и 1987 гг. соответствовало долгосрочному тренду. Причем заметный подъем статистики легальных абортов в 1987 г. отражал замену частных клиник на государственные, потому, видимо, не привел к заметному снижению рождаемости в 1988 г. (рис. 2) .

Таким образом, анализ годовых данных по европейским странам также не дает оснований говорить о влиянии психологических последствий Чернобыля на статистику абортов и рождаемости.

В работах, на которых зиждется гипотеза о росте абортов / снижении рождаемости в результате чернобыльских страхов, в основном рассматриваются помесячные данные. Теоретически, в этом случае гораздо больше шансов «поймать» краткосрочный

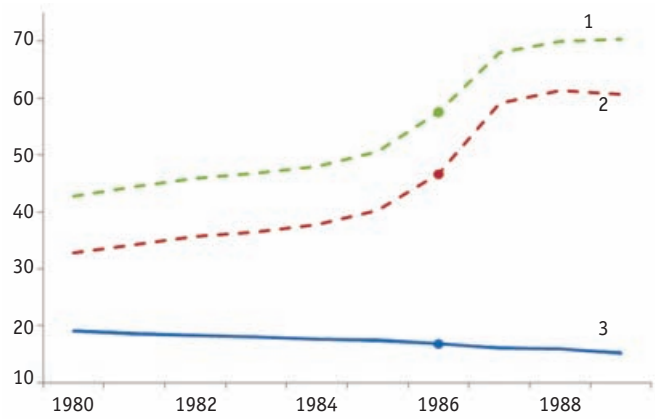


Рис. 2. Число абортов на 100 живорождений по данным [20] (линия 1) и по данным [24] (линия 2), число родившихся на 1 тыс. населения (линия 3), Словакия, 1980–1989 гг.

чернобыльский эффект. С другой стороны, помесячные данные сильно флуктуируют, особенно на региональном уровне, и имеют бóльшую погрешность регистрации. Для примера на рис. 3а и 3б показан разброс помесячных данных по числу абортов и числу живорождений в Италии относительно линии долгосрочного тренда. В работе [33], из которой взят пример, показано, что помесячные данные содержат кроме долговременного тренда и периодический компонент: абортов больше в первую половину года, рождений больше в середине года. Причем для больших регионов с хорошей статистикой абортов (на уровне 1 тыс. событий в месяц и больше) периодический компонент проявляется довольно четко, но если регион небольшой и число абортов мало (на уровне 100 событий в месяц и меньше), периодический компонент выявить весьма затруднительно (рис. 3в и 3 г). Понятно, что выявить влияние какого-либо фактора на сильно флуктуирующие помесячные данные крайне сложно.

Мы рассмотрим три работы по Италии, включая две в пользу проверяемой гипотезы [5, 11]. Но прежде обратим внимание читателя на долговременную динамику числа абортов и числа живорождений в Италии (рис. 3а и 3б). После легализации абортов в 1978 г. число абортов росло вплоть до 1984 г., затем последовало длительное снижение. Рождаемость начала снижаться задолго до 1986 г., в 1987 г. падение сменилось многолетней стагнацией. 1986 г. ни на той, ни на другой кривой ничем особенным не выделялся.

В работе [11] Спинелли и Осборн подбирали регрессионные модели для динамики помесячного числа абортов (рис. 4а). При этом моделировался не абсолютный показатель помесячного числа абортов, а среднее число абортов за рабочий день в каждом месяце. Заметим, что переход к новому показателю существенно увеличивает погрешность, однако авторы эту темы не обсуждают. В [11] рассматриваются 4 регрессионные модели (уравнения не приводятся, модели лишь коротко описаны словами). По всем моделям вычисляются разности между фактическими и предсказанными значениями среднего числа абортов за один рабочий день (остатки регрессионной модели) для мая–сентября 1986 г. Остатки усредняются по 5 месяцам. Для всех 4 моделей усредненные разности в мае–сентябре 1986 г. оказываются положительными. Спинелли и Осборн заключают: «Помесячное число искусственных абортов в Италии сильно флуктуирует от месяца к месяцу, и в месяцы, последовавшие после Чернобыльской аварии, происходит снижение числа искусственных абортов. Принимая эти факторы во внимание, наш анализ подразумевает,

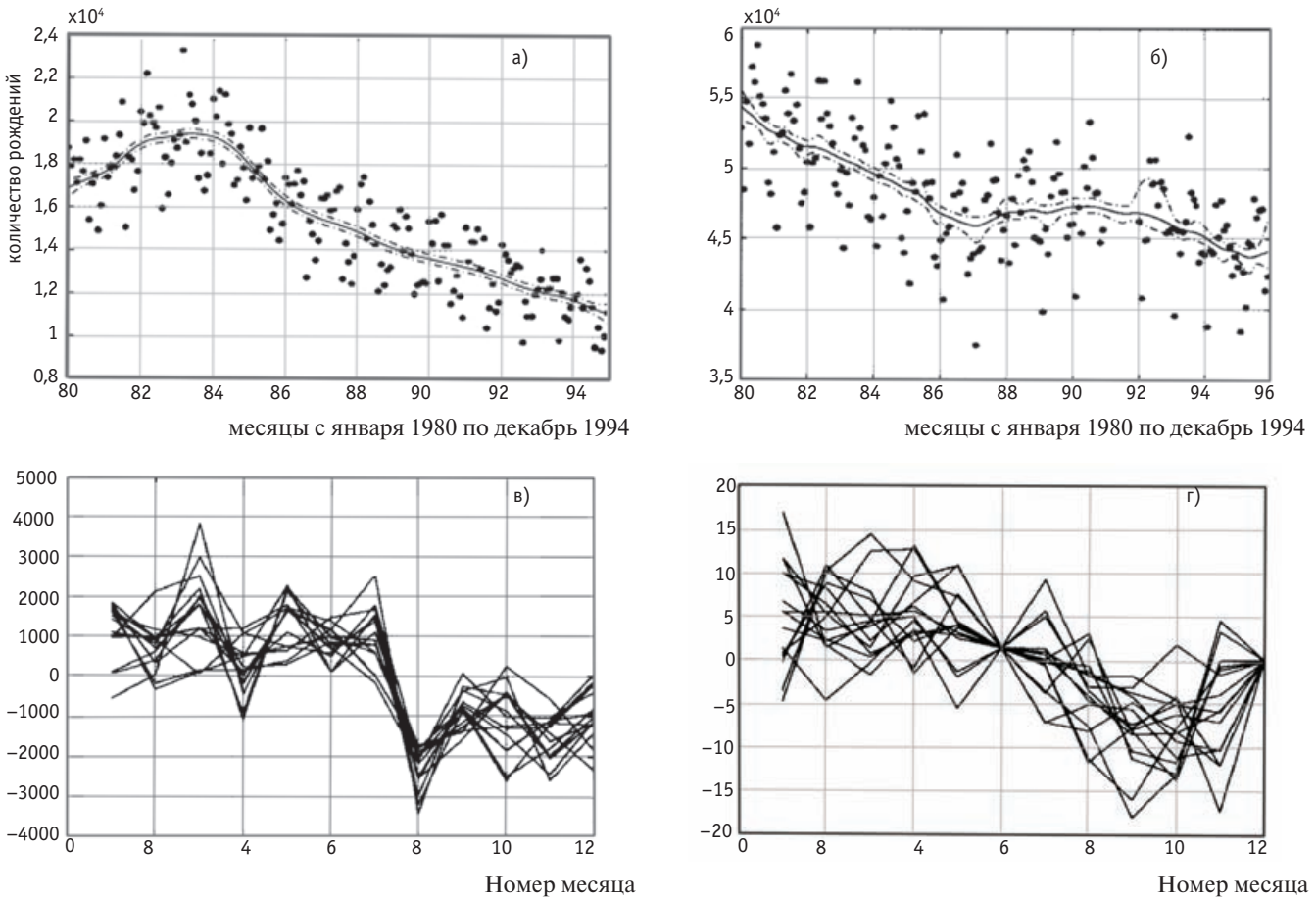


Рис. 3. Помесячная статистика абортов и рождаемости в Италии, 1980–1994 гг., цитируется по [33].
(а) Помесячное число искусственных абортов (точки) и долговременный тренд (сплошная линия).
(б) Помесячное число живорождений (точки) и долговременный тренд (сплошная линия).
(в) Периодический компонент для помесячного числа абортов в Италии, показанных на графике (а).
(г) Периодический компонент для помесячного числа абортов в городе Кремона

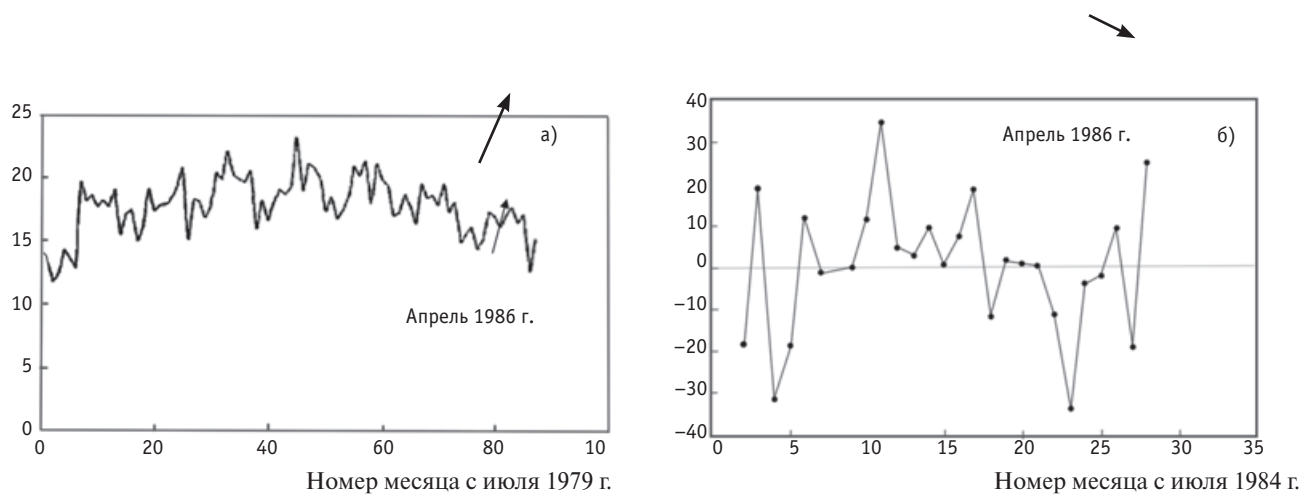


Рис. 4. Данные по абортам в Италии, цитируется по [11]. (а) Абсолютное помесячное число абортов с июля 1979 по сентябрь 1986 гг. (б) Остатки для регрессионной модели I с января 1984 по апрель 1986 г.

что был некоторый прирост после взрыва в Чернобыле. Однако он выдвигает на первый план трудности в аккуратной оценке этого прироста, который зависит от переменных, которые используются для предсказания числа абортов после Чернобыля».

При этом Спинелли и Осборн забывают упомянуть, что снижался «натуральный» показатель (число абортов), а «некоторый прирост» относится к специально сконструированному авторами показателю и является статистически незначимым, поскольку все регрессионные остатки укладываются в рассчитанный ими 95%-ый доверительный интервал! На рис. 4б показан размах регрессионных остатков для модели I, который демонстрирует, насколько широк доверительный интервал. Как получены доверительные интервалы для экстраполируемых значений, не сообщается, но результаты говорят сами за себя. Например, для модели III, интервал заходит в область отрицательных значений (–4,59; +44,97), хотя речь идет о числе (абортов в день), которое не может быть отрицательным! В заключение Спинелли и Осборн признают, что качество их моделей оставляет желать лучшего, и, чтобы его улучшить, необходимо провести новый анализ через много месяцев после Чернобыля. Таким образом, в работе [11] есть плохо описанные упражнения в регрессионном анализе, но нет реальных доказательств в пользу проверяемой гипотезы.

В работе [5] Бертоллини с соавторами утверждают, что во всей Италии снизилось число рождений в первые три месяца 1987 г., особенно в феврале, и что показатель искусственных абортов вырос в Ломбардии в июне (+1,6 %) и июле (+3,4 %), в Кампаньи в июне (+12,7 %) и в августе (+4,3 %), и остался неизменным в Лацио. Поскольку в мае и начале июня 1986 г. итальянские СМИ обсуждали тему чернобыльской радиации, авторы заключают, что рост абортов и снижение рождаемости вызваны послеаварийным стрессом.

Посмотрим подробнее на приводимые в [5] данные и методы их статистической обработки. Начнем с рождаемости. Бертоллини и соавторы для каждого календарного месяца строят линейную регрессию по данным 1982–1986 гг. и методом экстраполяции получают значения для соответствующих месяцев 1987 г. Фактические значения за 1987 г. сравнивают с экстраполированными. При этом присутствуют все формальные атрибуты статистического анализа, включая пояснения к расчету 95 %-го доверительного интервала. Результаты расчетов приводятся в табличном виде. По этим результатам видно, что в целом по Италии фактические помесячные числа рождений в январе–мае 1987 г. попадают в 95 % доверительный интервал, т.е. снижение рождаемости в январе–марте не является статистически значимым! Но Бертоллини и соавторы обходят это «препятствие» точно так же, как Спинелли и Осборн. Они увеличивают уровень значимости вдвое, чтобы сузить доверительный интервал, и, не смущаясь, заявляют, что «во всей Италии снизилось число рождений в первые три месяца 1987 г., особенно в феврале». Напомним, что уровень значимости задается до получения результатов, и подстраивать его под результат недопустимо.

Теперь посмотрим, как Бертоллини и соавторы доказывают увеличение числа абортов в Италии. Вместо традиционных показателей (абсолютное число абортов или число абортов на 100 живорождений) конструируется новый показатель – число абортов на 100 беременностей. Число беременностей определяется как сумма абортов в данном месяце и рождений через 6 месяцев (спонтанные аборты и мертворождения исключаются из анализа). Авторы утверждают, что «большинство абортов проводится на третий месяц беременности», но сколько составляет это «большинство», не раскрывают. Не обсуждается возможность преждевременных родов и другие источники погрешности при регистрации исходов и сроков беременности. Далее для трех регионов Италии применяется та же процедура экстраполяции, как и с числом рождений. И снова в наличии все формальные признаки статистического анализа, включая биномиальное приближение к нормальному закону распределения и вычисленный по особой формуле (формула не приводится) 95 %-ый доверительный интервал. Но если внимательно посмотреть на таблицу с результатами, выясняется, что в части случаев доверительный интервал *не* накрывает соответствующее экстраполированное (ожидаемое) значение. Поскольку такого быть не может по определению, возникает подозрение, что в таблице перепутаны ожидаемые и наблюдаемые значения. Но в этом случае все выводы в отношении абортов меняют знак, т.е. в июне и июле в Ломбардии фактический показатель абортов не повысился, а, наоборот, понизился?! Критику можно продолжать, но уже понятно, что приведенные в [5] выводы не состоятельны.

В наиболее статистически грамотной работе [34] показано, что в Ломбардии, Лацио и Компанья за период с мая по август (включительно) 1986 г. число абортов на 100 зарегистрированных беременностей не выходило за пределы статистической погрешности.

Австрия. В [35] были проанализированы данные о частоте живорождений и абортов до и после аварии в австрийском округе Южная Штирия. На фоне значительных вариаций абсолютного числа абортов (10÷14 %) значимых изменений после апреля 1986 г.

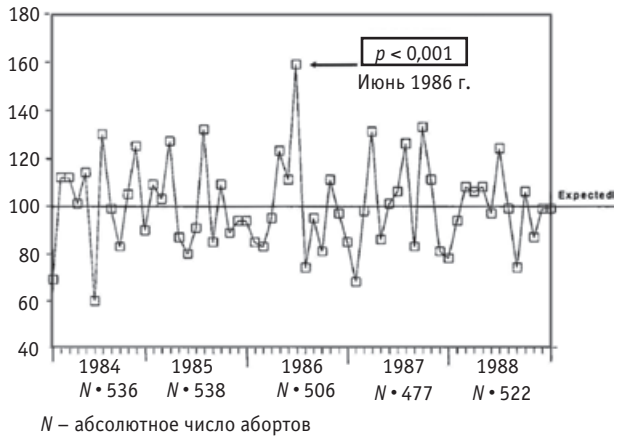


Рис. 5. Помесячное число искусственных абортов в кантоне Тичино в Швейцарии в 1984–1988 гг., цитируется по [7]

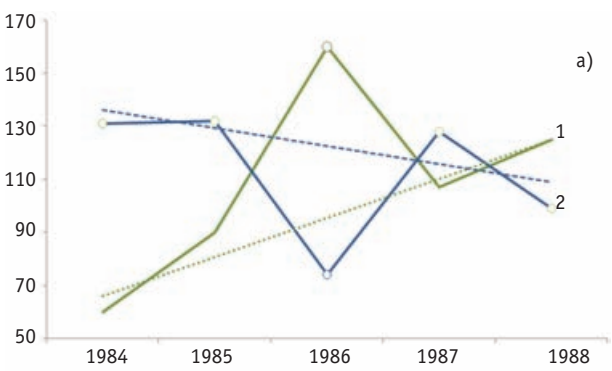
не выявлено. Частота консультаций в гинекологических клиниках также сильно флуктуировала (117÷205) и до аварии и после нее, изменения этого показателя в 1986 г. были незначимыми.

Швейцария. В [7] Перуччи и Доминигетти анализируют данные по числу абортов и живорождений в италоязычном кантоне Тичино и сообщают, что с уровнем значимости $p < 0{,}001$ в июне 1986 г. было зафиксировано на 57,7 % больше абортов по сравнению с усредненным значением за 48 месяцев (1984, 1985, 1987 и 1988 гг.), и с уровнем значимости $p < 0{,}05$ на 15 % меньше живорождений по сравнению с «вековым трендом» (secular trend). Статья очень короткая (две страницы вместе со списком литературы), приводится только один график помесячной динамики абсолютного числа абортов (рис. 5), данных по рождаемости нет вообще. Кроме сакраментальных «$p < 0{,}05$» и «$p < 0{,}001$» никаких сведений о статобработке не дано.

В среднем в месяц в кантоне Тичино регистрируется порядка 100 абортов. В демографии статистика на уровне 100 событий считается ненадежной. На нее могут повлиять особые события, например, появление новой ставки врача в гинекологической клинике, крупные спортивные соревнования, на которые приезжает много мужчин-туристов или спортсменов и т.п. Естественно, помесячное число абортов в Тичино сильно флуктуирует. Рассчитанный нами по представленным на графике данным (рис. 5) коэффициент вариации для каждого месяца для Тичино в период 1984–1988 гг. (без 1986) оказался максимальным именно в июне (29 %). О размахе флуктуаций июньских и июльских данных можно судить по графику на рис. 6а.

Чтобы принять или отвергнуть гипотезу о случайном характере выброса вверх в июне 1986 г., нужно знать закон распределения июньских данных по годам. По 4 точкам о распределении судить невозможно, более того, на рис. 6а видно, что июньские данные в 1984, 1985, 1987 и 1988 годах имеют тенденцию к росту. Но мы, вслед за авторами [7], предположим, что июньские данные все-таки имеют нормальное распределение по годам, и зададимся принятым ими уровнем значимости ($p = 0{,}001$). Согласно правилу «3s» не менее чем с 99,7 % достоверностью значение нормально распределенной случайной величины лежит в указанном интервале трех стандартных отклонений (3σ) от среднего генеральной совокупности (уровень значимости $p < 0{,}03$). Число абортов в июне 1986 г. не выходит за пределы 3σ-коридора (рис. 5б). И это тем более справедливо при $p < 0{,}001$.

Перуччи и Доминигетти утверждают, что кроме искусственных абортов в кантоне Тичино «наблюдалось значительное снижение числа рождений в первые два месяца 1987 г. по отношению к долговремен-



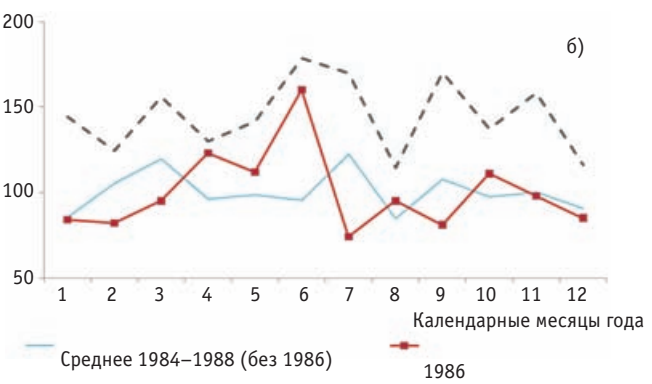


Рис. 6. Помесячное число искусственных абортов в кантоне Тичино в Швейцарии, построено по данным [7].
(а) Число абортов в июне (линия 1) и июле (линия 2) в период 1984–1988 гг., линейные тренды построены без учета 1986 г.
(б) Помесячное число абортов в 1986 г. и в среднем за 4 года (без 1986), пунктирная линия соответствует «правилу 3σ» (пояснения в тексте)

ному тренду, в основном в феврале (15 % снижение уровня рождаемости, $p < 0,05$)». Но никаких данных, демонстрирующих это, в статье не дают. В связи с этим процитируем В. Леонова, редактора электронного журнала «Биометрика», который с 1998 г. наблюдает за качеством научных публикаций российских биологов и медиков. В статье «Краткость – сестра таланта? Или признак незнаний?» В. Леонов пишет: «Следствием этого невежества и становится ... жонглирование в тексте статьи или диссертации выражениями вида «$p < 0,05$» или «$p < 0,05$». При этом в разделах «Материал и методы» такие авторы ничего не сообщают о том, в результате каких статистических манипуляций (методов, критериев и т.п.) были получены эти выражения. Причина этого умолчания тривиальна: боязнь написать что-то не так, и тем самым обнаружить собственную некомпетентность в данном вопросе» [36].

Таким образом, в работе [7] нет реальных доказательств высказанных авторами утверждений.

Дания. В [12] Кнудсен сообщает, что прирост годового числа абортов в 1986 г. в Дании в целом составил всего 0,7 %, но было зарегистрировано некоторое увеличение помесячной статистики легальных абортов в апреле (+13 %) и в декабре (+17 %) 1986 г. (рис. 7). Данные за апрель по определению не могли быть связаны с Чернобылем (слишком рано). Но менее значимый 7 % прирост июньских и июльских

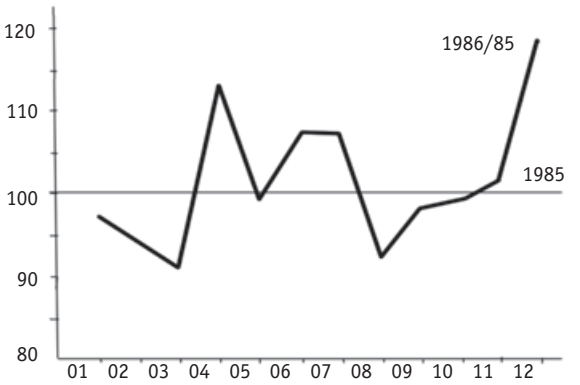


Рис. 7. Отношение помесячного числа абортов в 1986 г. к числу абортов в этом же месяце 1985 г. в Дании, %, цитируется по [12]

показателей Кнудсен связывает именно с чернобыльскими страхами (другие факторы вообще не рассматриваются), хотя и признает, что на фоне флуктуаций помесячных показателей в 1982–1986 гг. этот прирост выглядит несущественным.

Затем Кнудсен переходит на региональный уровень и сообщает, что прирост годового числа абортов по округам варьировал от отрицательных значений (–12,3 %) до положительных значений 5–7%. В округе Южная Ютландия, где годовой прирост числа абортов в 1986 г. был отрицательным (–3,7 %), май-

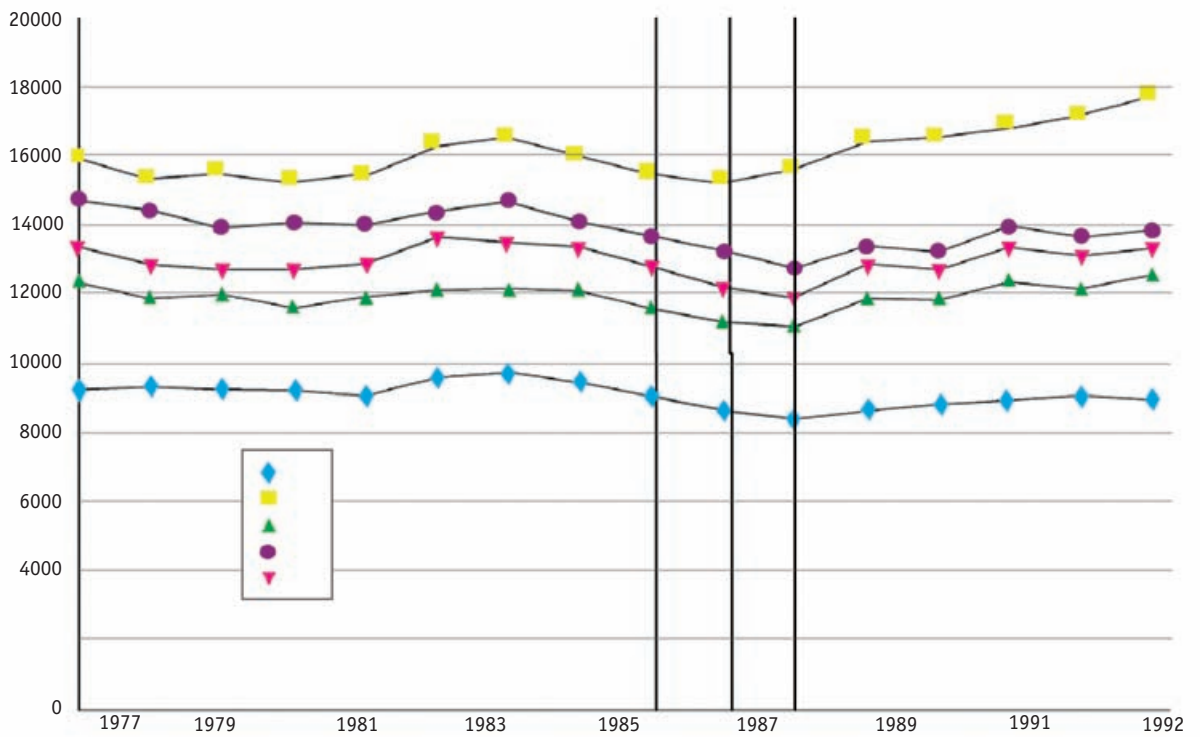


Рис. 8. Годовое число живорождений у женщин Финляндии, относящихся к разным дозовым группам, цитируется по [37]. Q1 — минимальная доза в мае 1986 г. (6,6 мкЗв), Q5 — максимальная доза в мае 1986 г. (138 мкЗв). Три вертикальные линии соответствуют 1985, 1986 и 1987 гг.

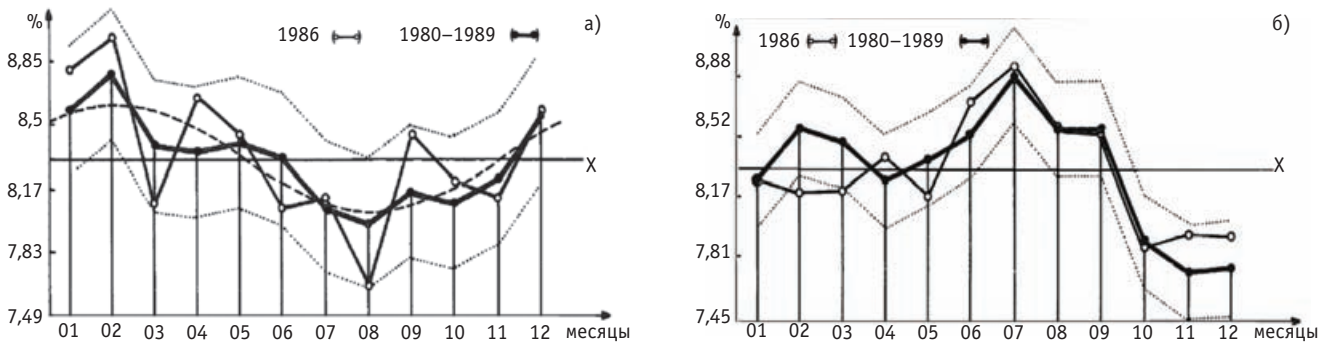


Рис. 9. Помесячное число абортов (а) и живорождений (б) в Венгрии, 1980–1989 гг., цитируется по [38]

ские, июньские и июльские данные в 1986 г. были на 22 % выше, чем в 1985 г. Видимо, 22 % – это суммарное отклонение за три месяца (в противном случае были бы приведены значения для каждого из трех месяцев). В соседнем округе, где годовой прирост тоже был отрицательным, в мае–июле прирост тоже был положительным по сравнению с тем же периодом 1985 г. (в сумме 5 %). Но помесячные данные по названным округам в работе не приводятся. В других округах прироста не было. В качестве причины увеличения числа абортов в двух округах в мае–июле 1986 г. Кнудсен указывает на обсуждение в датских СМИ повышенных значений радиационного риска при ранних сроках беременности, но не объясняет, почему на эти дебаты отреагировали женщины только в двух округах.

Прокомментируем результаты Кнудсена. В округе Южная Ютландия проживает порядка 250 тыс. человек, и в месяц делается не более 100 абортов, т.е. неизбежны значительные флуктуации. Поэтому без надлежащего обоснования статистической значимости (а его Кнудсен не дает) суммарное за три месяца (!) отклонение помесячных данных на 22 % (а тем более 5 %) от показателей предыдущего года в одном из округов не может рассматриваться как доказательство в пользу проверяемой гипотезы. Таким образом, работа [12] тоже не содержит сколько-нибудь надежных доказательств в пользу проверяемой гипотезы.

Финляндия. В [37] Аувинен с соавторами анализируют абсолютное годовое число искусственных абортов по социально-психологическим причинам в Финляндии и приходят к выводу, что Чернобыль на эти данные не повлиял. В то же время авторы указывают на 10 %-е снижение стандартизованного коэффициента рождаемости в течение 9 месяцев после Чернобыля, но данных в подтверждение этого не приводят. Вместо этого авторы визуально анализируют динамику числа живорождений в разных дозовых группах в 1977–1992 гг. (рис. 8), и, не приводя никаких других доказательств, пишут буквально следующее: «временное снижение показателя живорождений началось до 1986 г. и не имеет прямого отношения к уровню выброса. ...Снижение *рождаемости является, вероятно, не биологическ*им эффектом радиации, а скорее, относится к общественной обеспокоенности радиоактивными выпадениями». Где же логика? Если снижение показателя началось до 1986 г., то причем здесь общественная обеспокоенность радиоактивными выпадениями? Такую «аргументацию» серьезно критиковать невозможно.

Венгрия. В [38] Цейзель приводит данные помесячной статистики абортов в Венгрии в 1986 г. (рис. 9а), но не сообщает, какой именно относительный показатель (rate of induced abortions) представлен на графике. Догадаться непросто. Диапазон изменений показателя на графике 7,5÷9 %. По приведенным в статье табличным данным число абортов к числу всех исходов беременности в Венгрии в эти годы было на уровне 30÷40 %, а число абортов на 100 живорождений – на уровне 50÷80 %. Также неизвестно какой коридор ошибок показан на этом рисунке. Анализ этого загадочного показателя, видимо, проводился визуально, и, поскольку 1986 г. не вышел из коридора ошибок, вывода о повышении числа абортов в результате Чернобыля не последовало. Однако показатель помесячной рождаемости в феврале и марте 1987 г. немного вышел за пределы коридора ошибок (рис. 9б), из чего Цейзель сделал вывод о снижении рождаемости через 9 месяцев после пика общественного беспокойства относительно чернобыльской радиации. Какой показатель рождаемости рассматривался, в статье также не указано. Диапазон изменений этого показателя на графике от 7,4 до 9 %. Отношение числа живорождений к числу всех исходов беременности находится на уровне 50÷60 %. Обычно в медицинской статистике анализируют число живорождений за год на 1 тыс. населения, в Венгрии в 1980-х этот показатель составлял 12–14 живорожде-

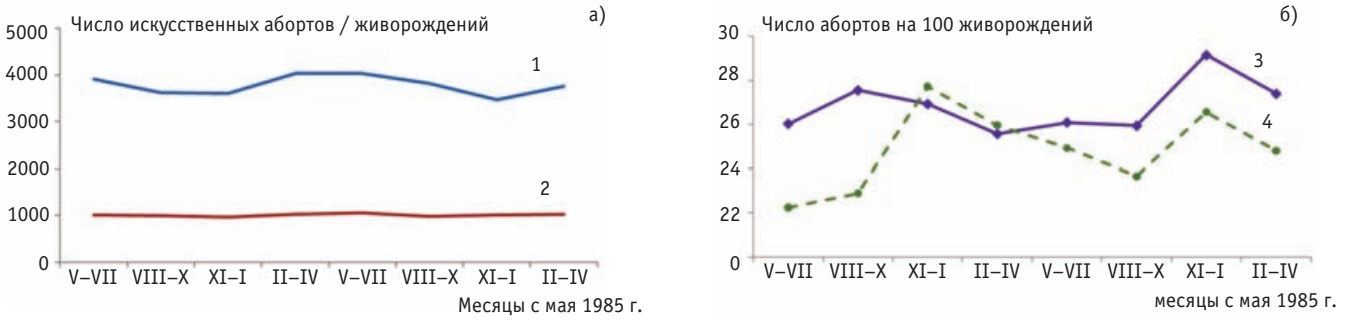


Рис. 10. Статистика абортов и живорождений в Норвегии, построено по данным [39]. (а) Абсолютное число живорождений (линия 1) и абортов (линия 2) по кварталам в течение года до и после аварии.
(б) Число абортов на 100 живорождений по кварталам в Норвегии в целом (линия 3) и в округе Берген (линия 4)

ний на 1 тыс. населения. За пределы какого коридора (1σ, 2σ или 3σ) вышел этот загадочный показатель рождаемости, тоже неизвестно. Таким образом, в [38] также нет убедительных доказательств в пользу проверяемой гипотезы.

Норвегия. В [39] Иргенс и соавторы проанализировали изменения в целом по Норвегии и в шести округах за восемь квартальных периодов (четыре квартала до аварии и четыре после) и не обнаружили специфических отклонений в мае–июле 1986 г. ни в числе живорождений, ни в числе искусственных абортов (рис. 10а). Ситуация по всем шести норвежским округам была аналогичной. Отсутствие чернобыльских эффектов подтверждается динамикой изменения частотного показателя абортов в Норвегии и в округе Берген (рис. 10б).

Швеция. В работе [40] Эриксон и Каллен приводят помесячные данные по числу абортов, агрегируют их по четырехмесячным периодам в 1986 и 1987 гг. и рассчитывают отношение полученных чисел к соответствующим периодам в 1985 г. для двух групп женщин – моложе и старше 30 лет. Для наглядности мы представили табличные данные [40] для женщин моложе 30 лет в виде гистограммы (рис. 11а). Авторы приходят к выводу, что Чернобыль, видимо, не оказал влияния на число искусственных абортов в мае–августе 1986 г., потому что в сентябре–декабре 1986 г. и в январе–апреле 1987 г. прирост по отношению к 1985 г. для женщин моложе 30 лет был еще выше. Но прирост в сентябре–декабре 1986 г., по их мнению, возможно, был связан с чернобыльскими страхами.

Еще один показатель, на который, по мнению Эриксона и Каллена, мог повлиять Чернобыль, – помесячное число зачатий. Этот показатель они определяли как сумму спонтанных и искусственных абортов и живорождений. Поскольку срок беременности при спонтанном аборте неизвестен, его оценивали по выборке (610 случаев) в одной из шведских гинекологических клиник. Репрезентативность выборки и погрешность полученных оценок Эриксон и Каллен не обсуждают, но утверждают, что в июле–августе 1986 г. прирост числа зачатий был всего 1 %, а они ожидали 2 %. Выводы авторы сформулировали так: «После аварии произошло снижение показателя зачатий, а также возможный рост числа искусственных абортов в осенние месяцы после аварии».

Прокомментируем результаты Эриксона и Каллена. Авторы не объясняют, почему превышение числа

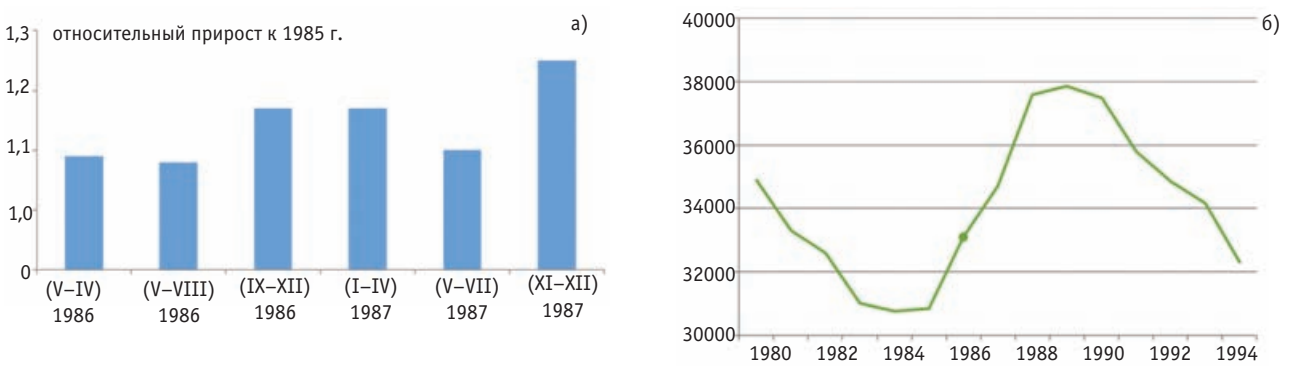


Рис. 11. Статистика абортов в Швеции. (а) Отношение суммарного числа абортов за четырехмесячный период в 1986 и 1987 гг. к соответствующему периоду 1985 г., для женщин моложе 30 лет, построено по данным [37].
(б) Абсолютное число абортов в Швеции в 1980–1994 гг., построено по данным INED [20]

абортов в сентябре–декабре 1986 г. над соответствующим периодом 1985 г. они связали с Чернобылем, если превышения не было зафиксировано в мае–июне 1986 г., когда наблюдалась пиковая обеспокоенность чернобыльской радиацией в Европе. На самом деле, выявленный осенью 1986 г. рост числа абортов отразил долговременную тенденцию роста (рис. 11б), которая продолжалась 3 г. и, очевидно, не была связана с Чернобылем. Почему Эриксон и Каллен в 1994 г. не включили в свой анализ данные за 3–4 послеаварийных года, непонятно. В медико-демографических исследованиях необходимость анализа долговременных тенденций общепризнанна.

Что касается утверждения Эриксона и Каллена о более низком, чем они ожидали, числе зачатий после аварии, здесь ключевым является вопрос об ошибках в определении срока беременности при абортах и родах, но это Эриксон и Кален не обсуждают. Даже если мы предположим, что относительная погрешность в определении помесячного числа зачатий составляет ~2 % (на самом деле, она гораздо выше), то приращение показателя на уровне 1 % или 2 % будет незначимым.

Обратим внимание еще на один момент. Эриксон и Каллен в своей статье (1994 г.) ссылаются на отчет Каллена по Швеции [6] от 1988 г. и исследования других авторов, поддерживающих гипотезу о росте абортов, но почему-то не упоминают о вышедшей в 1991 г. статье Одлина и Эриксона [41], в которой высказываются сомнения в справедливости гипотезы по Швеции. Одлин и Эриксон проанализировали годовую и помесячную статистику абортов и живорождений в Швеции до и после Чернобыля с учетом долговременных доаварийных трендов и отметили, что имело место заметное увеличение числа живорождений, наблюдаемое летом и осенью 1986 г., а увеличение числа абортов в этот период отражает долговременную тенденцию, начавшуюся до апреля 1986 г. и продолжавшуюся еще долго после. В [41] говорится, что «женщины в роддомах высказывали определенную обеспокоенность о последствиях аварии, но врачи и акушерки не сообщали, что эта обеспокоенность могла играть роль в прерывании беременности во время аварии». Одлин и Эриксон в 1991 г. сделали осторожный, но вполне определенный вывод: «чрезвычайно мала вероятность того, что страх перед последствиями аварии привел к сколько-нибудь заметному росту числа искусственных абортов в Швеции». Умолчав в своей статье о результатах [41], Эриксона и Кален продемонстрировали явно тенденциозный подход к теме.

Греция. В 1987 г. в Британском медицинском журнале была опубликована небольшая (меньше одной страницы текста) заметка Трихопулоса и соавторов «Жертвы Чернобыля в Греции: вынужденные аборты после аварии» [10]. В ней сообщалось о снижении числа живорождений в Греции в 1986 г. на 3,4 % и еще на 5,3 % в 1987 г. Число родившихся снизилось в январе–мае 1987 г. на 10 % по сравнению со средними значениями для того же сезона в 1981–1986 гг. Снижение числа рождений в январе 1987 г. на 23 % авторы расценили как следствие того, что забеременевшие в мае 1986 г. женщины сделали аборты из-за страха перед радиацией (статистику абортов Трихопулос и соавторы не анализировали). Всего, по мнению Трихопулоса и его соавторов, по этой причине в начале 1987 г. в Греции не родились 2500 детей.

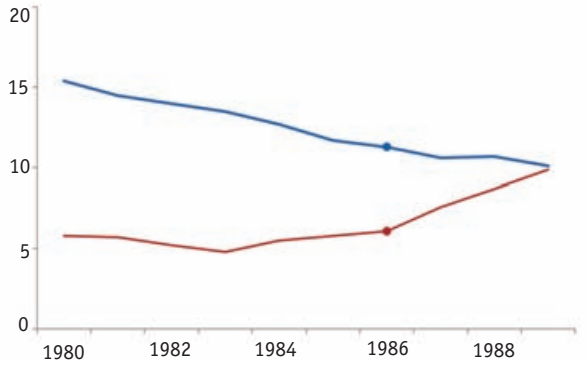


Рис. 12. Аборты и живорождения в 1980-е годы в Греции (а), построено по данным [24]. Абсолютное число родившихся за год на 1000 населения (линия 1) и число абортов за год на 100 живорождений за год (линия 2)

Действительно, в Греции и абсолютный и частотный показатели абортов выросли в 1986 г. Но Чернобыль тут не причем. В январе 1984 г. правящая социалистическая партия Греции представила в парламент законопроект, легализующий аборты в течение первых 12 недель беременности по желанию женщины. 28 июня 1986 г. закон был утвержден де юре [42, 43]. Согласно [44], частота абортов на 100 живорождений в Греции начала расти еще в 1984 г., когда произошла легализация абортов де факто. Несмотря на публичное обсуждение законопроекта, реклама медицинских услуг по прерыванию беременности оставалась уголовно наказуемым делом, и женщины еще не вполне поверили в новый закон [42]. Число женщин, решившихся на аборт в 1984 г., оказалось на 15 % больше, чем в предыдущем году. Большинство, как и ранее, предпочитали обращаться в частные клиники, где прерывание беременности проводилось в день обращения, в отличие от государственных медицинских учреждений с их бюрократическими проволочками [42]. В 1985 г. частота абортов выросла еще на 25 % , а к 1989 г. выросла в 1,7 раза по сравнению с 1985 г. (рис. 12). В 1986 г. не было никаких заметных всплесков показателя по отношению к этому тренду.

Число живорождений на 1 тыс. населения в Греции начало снижаться задолго до 1986 г., примерно на 4÷6 % в год [44]. В 1985 г. снижение было более резким (– 8 %), затем темп восстановился (–4 % в 1986 г. и – 6 % в 1987 г.). Повышение темпа падения рождаемости в 1985 г., в принципе, могло отражать рост числа абортов в 1984 г., но могло быть следствием и других процессов, в любом случае, это повышение не является статистически значимым. Отсутствие однозначной связи между повышением частоты абортов и снижением рождаемости видно по данным за 1987 и 1988 гг.: несмотря на то, что в 1987 г. частота абортов выросла на 25 %, уровень рождаемости в 1988 г. не уменьшился (рис. 12). Таким образом, нет никаких оснований говорить о значимом влиянии психологических последствий Чернобыля на частоту абортов и/или показатели рождаемости в Греции в первые два года после аварии.

Завершая анализ работ по европейским странам, можно констатировать, что мы не обнаружили в этих работах ни одного реального доказательства в пользу проверяемой гипотезы. В тех случаях, когда действительно происходил рост числа абортов, его причиной была проведенная незадолго до Чернобыля или вскоре после него легализация абортов.

Таким образом, ни вблизи, ни вдали от зоны аварии мы не нашли подтверждений того, что из-за чернобыльских страхов значимо выросло число (частота) искусственных абортов, а, тем более, того, что из-за этого снизились показатели рождаемости.

Не вызывает сомнения, что после аварии на ЧАЭС у беременных женщин повсеместно возникла серьезная обеспокоенность в отношении будущего своих детей. Вероятно, многие женщины обсуждали свои страхи с врачами. Могло быть и так, что, решившись на аборт по тем или иным личным причинам, женщина могла использовать радиационное загрязнение в месте своего проживания в качестве некоего морального оправдания своего поступка. Однако нет никаких сведений, что именно страх перед радиацией заставил женщин в массовом порядке прервать желанную беременность. Косвенно это подтверждают наблюдения экспертов Международного чернобыльского проекта: «Большинство людей в действительности испытывает обеспокоенность, но они не совершают неразумных поступков» [21]. К этому можно добавить, что после аварии на АЭС Три-Майл-Айленд и аварии на АЭС Фукусима сообщений об увеличения числа абортов из-за страха перед радиацией не было.

Выводы

Изменения в статистике искусственных абортов в 1986 г. не были связаны с психологическими последствиями Чернобыля. Если такие случаи имели место, то их число не вышло за пределы статистической погрешности данных.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что в ситуации радиационного загрязнения большинство людей, несмотря на серьезную обеспокоенность и стресс, не совершают неразумных поступков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lubin G.* Pregnant women are fleeing Fukushima and Tokyo for fear of radiation birth defects. // Business Insider. 27.03.2011, http://articles.businessinsider.com/2011-03-27/news/29985197_1_tokyo-water-supply-nuclear-plant#ixzz2NCsYsp6J.
2. *Peplow M.* Fukushima update: on pregnant women and radiation doses. // Nature News Blog. 31 Mar 2011, http://blogs.nature.com/news/2011/03/fukushima_update_on_pregnant_w.html.
3. Health effects of the Chernobyl accident and special health care programs. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Health". Ed. by *B. Bennett, M. Repacholi, Zh. Carr.* – Geneva: WHO. 2006, 85 pp.
4. *Little J.* The Chernobyl accident, congenital anomalies and other reproductive outcomes. // Paediatr. Perinat. Epidemiol., 1993, **7**, No.2, P. 121–151.
5. *Bertollini R., di Lallo D., Mastroiacovo P., Perucci C.A.* Reduction of births in Italy after the Chernobyl accident. // Scand. J. Work Environ. Health, 1990, **16**, P. 96–101.
6. *Kallen B.* Pregnancy outcome in Sweden after Chernobyl – a study with central health registers. Report 33621-348/88. Stockholm: National Board of Health, 1988.
7. *Perucchi M., Domenighetti G.* The Chernobyl accident and induced abortions: only one-way information. // Scand. J. Work Environ. Health, 1990, **16**, P. 443–444.
8. *Trichopoulos D., Zavitsanos X., Koutis C. et al.* The victims of Chernobyl in Greece: induced abortions after the accident. // Brit. Med. J., 1987, **295**, P. 1100.
9. *Ketchum L.* Lessons of Chernobyl: SNM members try to decontaminate world threatened by fallout. Part II. // *J. Nucl. Med.,* 1987, **28**, No. 6, P. 933–942.
10. *Johnston Wm. R.* Chernobyl reactor accident, 1986. Internet-resource, updated 11 June 2006, http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/radevents/1986USSR1.html.
11. *Spinelli A., Osborn J.F.* The effects of the Chernobyl explosion on induced abortions in Italy. // Biomed. Pharmacother, 1991, **45**, P. 243–247.

12. *Knudsen L.B.* Legally induced abortions in Denmark after Chernobyl. // Biomed. Pharmacother, 1991, **45**, P. 229–231.
13. http://www.japantimes.co.jp/news/2012/04/18/national/fukushima-miscarriage-rate-stable/#.UT3rCjdW7pQ.
14. *Bromet E. J.* Lessons learned from radiation disasters. // World Psychiatry, 2011, **10**, No. 2, P. 83–84.
15. *Авдеев А.* Искусственный аборт и контрацепция в 1990–2000-е гг. в зеркале публичной и частной статистики. // В сб. «Рождаемость и планирование семьи в России: История и перспективы». Под ред. *И.А. Троицкой, А. Авдеева*. – М.: Демографические исследования, 2011, **18**, С. 7–27.
16. *Денисов Б., Сакевич В.* Планирование семьи в трех славянских странах. // Демоскоп Weekly, 2012, № 505–506.
17. Письмо Минздравсоцразвития РФ от 02.07.2008 № 4627-РХ «Об абортах и материнской смертности после абортов в Российской Федерации в 2007 г.».
18. *Сакевич В.* Аборт – одна из основных причин материнской смертности в России. // Демоскоп Weekly, 2005, № 199–200.
19. *Мелихова Е.М., Бархударова И.Е.* Источники ошибок в интерпретации демографического развития радиационно-загрязненных территорий на примере Брянской области. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2012, **57**, № 6, С. 9–25.
20. Database on developed countries. Institute national d'etuds demographues, http://www.ined.fr/en/pop_figures/developed_countries/developed_countries_database/.
21. Международный чернобыльский проект. Технический доклад. Оценка радиологических последствий и защитных мер. Доклад международного консультативного комитета. –IAEA, 1992, 560 с.
22. Некоторые показатели демографических процессов и социального развития в РСФСР (по всесоюзной переписи населения 1989 г.). – М.: Госкомстат РСФСР. 1990
23. Центральный банк обобщенных данных УИС Госкомчернобыля РФ. – М. ИБРАЭ РАН. 1993 (из таблиц С-51 Госкомстата РСФСР "Распределение умерших по полу, возрастным группам и причинам смерти"<*>, шифры 135–141).
24. Historical abortion statistics. Compiled by Wm. Robert Johnston, last updated 11 March 2012, http://www.johnstonsarchive.net/policy/abortion/.
25. Медицинские последствия чернобыльской аварии. Результаты пилотных проектов АЙФЕКА и ответственных национальных программ. Научный отчет. – Женева: ВОЗ. 1996, 215 с.
26. Чернобыльская катастрофа. Под ред. *В.Г. Барьяхтара*. – Киев: Наукова Думка. 1995, 415 с.
27. *Архангельская Г.В., Либерман А.Н., Иванов Е.В. и соавт.* Социально-психологические последствия аварии на ЧАЭС и пути смягчения их влияния на здоровье населения. // В сб. «Проблемы смягчения последствий Чернобыльской катастрофы». Материалы международного семинара. Ч. I. – Россия, Брянск, 1993, С. 142–144.
28. *Ульянова О.С., Пономарев А.В.* Особенности в течении и исходе беременности у женщин города Новозыбков, находившихся во время Чернобыльской аварии на разных сроках беременности. // В сб. «Проблемы смягчения последствий Чернобыльской катастрофы». Материалы международного семинара. Ч. I. – Россия, Брянск, 1993, С.191–194.
29. *Халитов Р.И., Евдаков В.А., Якубович Н.Д. и соавт.* Основные показатели здоровья населения Брянской области и пути его улучшения. // В сб. «Проблемы смягчения последствий Чернобыльской катастрофы». Материалы международного семинара. Ч.I. – Россия, Брянск, 1993, С. 179–182.
30. Чернобыльская катастрофа: итоги и проблемы преодоления ее последствий в России 1986–2001. Российский национальный доклад, http://www.ibrae.ac.ru/content/view/235/285/.
31. Population of Slovakia 2002. Infostat – Institute of Informatics and Statistics. Demographic Research Centre. Bratislava, November 2003, http://www.infostat.sk/vdc/pdf/popul2002en.pdf
32. Recent Demographic Developments in Europe: Demographic Yearbook 2003, on line at COE, http://www.coe.int/t/e/social_cohesion/population.
33. *Magni P., Bellazzi R.,* Analysing Italian voluntary abortion data using a Bayesian approach to the time series decomposition. // Statistics in medicine, 2004, **23**, P. 105–123.
34. *Parazzini F., Repetto F., Formigaro M., Fasoli M., La Vecchia C.* Induced abortions after the Chernobyl accident. // Brit. Med. J., 1988, 296, P.136.
35. *Haeusler M.C., Berghold A., Schoell W. et al.* The influence of the post-Chernobyl fallout on birth defects and abortion rates in Austria. //Amer. J. Obstet. Gynecol., 1992, **167**, No. 4, P. 1025–1031.
36. *Леонов В.* Краткость – сестра таланта? Или признак незнания? // Электронный журнал Биометрика. http://www.biometrica.tomsk.ru/index.htm
37. *Auvinen A., Vahteristo M., Arvela H. et al.* Chernobyl fallout and outcome of pregnancy in Finland. // Environ. Health Perspectives, 2001, **109**, No. 2, P. 179–185.
38. *Czeizel A.E.* Incidence of legal abortions and congenital abnormalities in Hungary. // Biomed. Pharmacother, 1991, **45**, P. 249–254.

39. *Irgens L.M., Lie R.T., Ulstein M. et al.* Pregnancy outcome in Norway after Chernobyl. // Biomed. Pharmacother, 1991, **45**, P. 233–241.
40. *Ericson A., K ll n B.* Pregnancy outcome in Sweden after the Chernobyl accident. // Environ. Res., 1994, **67**, P. 149–159.
41. *Odlind V., Ericson A.* Incidence of legal abortion in Sweden after the Chernobyl accident. // Biomed. Pharmacother, 1991, **45**, P. 225–228.
42. Population Policy Data Bank maintained by the Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, http://www.un.org/esa/population/publications/abortion/
43. Abortion legislation in Europe. 8th edition (updated January 2009). IPPF European Network. Belgium, http://www.ippfen.org/NR/rdonlyres/DB347D31-0159-4C7D-BE5C-428623ABCA25/0/Pub_AbortionlegislationinEuropeIPPFEN_Feb2009.pdf
44. Abortion Policies: Gabon to Norway. United Nations Publication ST/ESA/SER.A/191. – New York, 2001, **2**, P. 32.
45. Online Databases of Hellenic Statistical Authority, http://www.statistics.gr/

Поступила: 30.04.2013.
Принята к публикации: 03.07.2013

А.П. Дмитренко, Н.А. Толмачева

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИЕЙ И ХИРУРГИЧЕСКИМ ЛЕЧЕНИЕМ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ БОЛЬНЫХ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

A.P. Dmitrenko, N.A. Tolmacheva

Influence of Time Intervals between Radiotherapy and Surgical Treatment on Survival Rate of the Breast Cancer Patients

РЕФЕРАТ

Цель: Оценить влияние на общую (ОВ) и безрецидивную (БРВ) выживаемость больных раком молочной железы (РМЖ) двух временных интервалов: 1) между неоадъювантной лучевой терапией (НАЛТ) и операцией (интервал НАЛТ→операция); 2) между операцией и адъювантной лучевой терапией (интервал операция АЛТ).

Материал и методы: Выборка больных РМЖ ($T_{1-4}N_{0-3}M_0$), наблюдавшихся в онкодиспансере Ростова-на-Дону в период 1990–2004 гг. (n = 2132). Всем больным выполнена радикальная мастэктомия. Только НАЛТ проведена 239 (11,2 %) больным, только АЛТ – 1155 (54,2 %) больным, НАЛТ в сочетании с АЛТ проведена 738 (34,6 %) больным. Оценка влияния временных интервалов на выживаемость больных РМЖ осуществлялась с учетом трех факторов: 1) вариант проведения лучевой терапии (только НАЛТ, только АЛТ, НАЛТ в сочетании с АЛТ); 2) распространенность опухолевого процесса ($T_{1-2}N-$, $T_{3-4}N-$, $T_{1-2}N+$, $T_{3-4}N+$); 3) возраст больных (49 лет и менее, 50–59 лет, 60 лет и старше). Влияние временных интервалов было исследовано и отдельно в группах больных правосторонним и левосторонним РМЖ (Statistica 8).

Результаты исследования: При условии сочетанного использования НАЛТ и АЛТ выявлено достоверно негативное влияние временных интервалов на выживаемость больных РМЖ: 1) интервала операция АЛТ у больных возрастной категории 50–59 лет при $T_{1-2}N-$ (ОВ: p = 0,005; БРВ: p = 0,018); 2) интервала НАЛТ операция у больных правосторонним раком возрастной категории 50–59 лет (ОВ: p = 0,017; БРВ: p = 0,08); 3) интервала НАЛТ операция у больных левосторонним раком возрастной категории 60 лет и старше (ОВ: p = 0,001; БРВ: p = 0,013); 4) интервала операция АЛТ у больных левосторонним раком возрастной категории 50–59 лет (ОВ: p = 0,01; БРВ: p = 0,004).

Заключение: При определенных условиях увеличение временных интервалов НАЛТ операция и операция АЛТ достоверно снижает выживаемость больных РМЖ. При сочетанном использовании НАЛТ и АЛТ латеральность опухолевого поражения определяет влияние временных интервалов на выживаемость больных РМЖ возрастной категории 50–59 лет.

Ключевые слова: *лучевая терапия, рак молочной железы, латеральность, временной интервал*

ABSTRACT

Purpose: To estimate influence of time intervals on the overal (OS) and recrudescence free (RFS) survival rate of breast cancer patients (BCP). Two time intervals were considered 1) between neoadjuvant radial therapy and operation (an interval NRT operation); 2) between operation and adjuvant radial therapy (an interval operation ART).

Material and methods: Sample of patients BC ($T_{1-4}N_{0-3}M_0$), observed in 1990–2004 (n = 2132). All patients executes radical mastectomy. Only NRT it is spent 239 (11.2 %) by the patient, only ART – 1155 (54.2 %) the patient, NRT in a combination with ART it is spent 738 (34.6 %) by the patient. The estimation of influence of time intervals on survival rate of BCP was carried out taking into account three factors: 1) a variant of carrying out radial therapy (only NRT, only ART, NRT in a combination with ART); 2) prevalence of tumor process ($T_{1-2}N-$, $T_{3-4}N-$, $T_{1-2}N+$, $T_{3-4}N+$); 3) age of patients (49 years and less, 50–59 years, 60 years also are more senior). Influence of time intervals has been investigated separately in groups of patients right-sided and left-sided BC (Statistica 8).

Results: Under a combination NRT and ART authentically negative influence of time intervals on survival rate of patients BC is revealed: 1) an interval operation ART at patients of an age category of 50–59 years at $T_{1-2}N-$ (OS: p = 0.005; BCP: p = 0.018); 2) an interval in patients with right-sided cancer of an age category of 50–59 years (OS: p = 0.017; DFS: p = 0.08); 3) an interval lNRT operation in patients with left-sided cancer of an age category of 60 years also is more senior (OS: p = 0.001; BCP: p = 0.013); 4) an interval operation ART a left-sided cancer of an age category of 50–59 years (OS: p = 0.01; DFS: p = 0.004).

Conclusion: Under certain conditions the increase in time intervals NRT operation and operation ART authentically reduces survival rate of patients BC. At combination NRT and ART a laterality of a tumor lesion defines influence of time intervals on survival rate of patients BC of an age category of 50–59 years.

Key words: *radial therapy, breast cancer, laterality, time interval*

Введение

Увеличение временного интервала между хирургическим лечением и лучевой терапией (ЛТ) является актуальной проблемой специализированной помощи онкобольным во многих странах, в том числе и экономически развитых. Основной причиной сложившейся ситуации считают недостаток оборудования и медицинского персонала, проявляющийся на фоне роста онкологической заболеваемости [1–3]. Хирургическое лечение и ЛТ относят к основным методам лечения рака молочной железы (РМЖ), что и определяет особый интерес к поднятой теме. Оценке влияния на прогноз временного интервала «операция – адъювантная ЛТ» посвящено относительно небольшое количество исследований. Так, публикации, в которых анализируется риск местных реци-

Областной онкологический диспансер, Ростов-на-Дону.
E-mail: Alex_Dmitrenko@mail.ru

Oncodispensary, Rostov-on-Don, Russia.
E-mail: Alex_Dmitrenko@mail.ru

дивов, сравнительно малочисленны. А работы, посвященные анализу отдаленных результатов, вообще единичны, но и они противоречивы [1, 4–7]. Ещё меньше внимания уделено временному интервалу «неоадъювантная ЛТ – операция». В целом, научные представления о прогностическом влиянии временных интервалов складываются преимущественно из ретроспективных исследований, так как считается, что для проведения проспективных исследований существуют ограничивающие этические аспекты.

На основании анализа литературы и, по мнению большинства исследователей, у больных с отсроченной ЛТ повышается риск местного рецидивирования после органосохраняющих операций [1, 2, 8]. Некоторыми специалистами проводятся поиски «порога» для безопасной отсрочки ЛТ. Но более распространена точка зрения, согласно которой никакого безопасного порога ожидания не существует, в связи с чем, рекомендовано проводить ЛТ как можно раньше [2]. Учитывая практическую важность вопроса, а также, принимая во внимание направление научной дискуссии, нами и был проведен анализ собственного клинического материала.

Цель работы – оценить влияние на общую (ОВ) и безрецидивную (БРВ) выживаемость больных РМЖ двух временных интервалов: 1) между неоадъювантной ЛТ и операцией; 2) между операцией и адъювантной ЛТ.

Материал и методы

Материалом для исследования послужила выборка больных РМЖ ($T_{1-4}N_{0-3}M_0$), наблюдавшихся в онкодиспансере г. Ростова-на-Дону в период 1990–2004 гг. (n = 2132). Всем больным выполнена операция в объеме радикальной мастэктомии. ЛТ проводилась на гамма-терапевтической установке «Агат – С» методом стандартного фракционирования дозы. Неоадъювантная ЛТ (НАЛТ) осуществлялась на молочную железу и регионарные зоны (РОД = 2 Гр, СОД = 36–42 Гр), адъювантная ЛТ (АЛТ) – на регионарные зоны и в ряде случаев на область послеоперационного рубца (РОД = 2 Гр, СОД = 38–42 Гр).

Проведен расчёт двух временных интервалов: 1) между НАЛТ и операцией (интервал НАЛТ→операция); 2) между операцией и АЛТ (интервал операция→АЛТ). В группе НАЛТ→операция (n = 977) медиана временного интервала между методами лечения составила 22 ($16{,}0_{25\,\%}$–$32{,}0_{75\,\%}$) суток, в группе операция→АЛТ (n = 1893) – 26 ($19{,}0_{25\,\%}$–$34{,}0_{75\,\%}$) суток. Только НАЛТ проведена 239 (11,2 %) больным, только АЛТ – 1155 (54,2 %) больным, НАЛТ в сочетании с АЛТ проведена 738 (34,6 %) больным.

В зависимости от распространенности опухолевого процесса выделено четыре группы: $T_{1-2}N-$, $T_{3-4}N-$, $T_{1-2}N+$, $T_{3-4}N+$. Возраст больных составлял от 19 до 86 лет, медиана – 55 ($46{,}0_{25\,\%}$–$65{,}0_{75\,\%}$) лет. Для анализа использована следующая возрастная градация: 1) 49 лет и менее; 2) 50–59 лет; 3) 60 лет и старше.

Таким образом, оценка влияния временных интервалов на выживаемость больных РМЖ осуществлялась с учетом трех факторов: 1) вариант проведения ЛТ (только НАЛТ, только АЛТ, НАЛТ в сочетании с АЛТ); 2) распространенность опухолевого процесса; 3) возраст больных. Влияние временных интервалов было исследовано и отдельно в группах больных правосторонним и левосторонним РМЖ. Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием пакета Statistica 8 (регрессионный анализ).

Результаты и обсуждение

При сочетанном использовании НАЛТ и АЛТ временной интервал НАЛТ→операция не влиял на выживаемость больных РМЖ. Т.е. ни в одной из сформированных групп при данном варианте использования ЛТ интервал времени от завершения НАЛТ до выполнения операции достоверно не влиял на ОВ и БРВ. При условии изолированного использования НАЛТ, в связи с малочисленностью сформированных групп, оценка влияния временного интервала НАЛТ→операция не проводилась.

При сочетанном использовании НАЛТ и АЛТ достоверное влияние временного интервала операция→АЛТ было зарегистрировано лишь у больных возрастной категории 50–59 лет при опухолевой распространенности $T_{1-2}N-$ (ОВ: p = 0,005; БРВ: p = 0,018); увеличение временного интервала приводило к снижению выживаемости. При изолированном использовании АЛТ достоверное влияние временного интервала операция→АЛТ на выживаемость больных РМЖ не было установлено ни в одной из групп.

Следующим этапом мы провели оценку влияния временных интервалов на выживаемость больных правосторонним и левосторонним РМЖ. Анализ проведен в тех же трех возрастных категориях. Группы правостороннего и левостороннего РМЖ в каждой возрастной категории были сопоставимы по критериям опухолевой распространенности. При условии использования только НАЛТ либо только АЛТ временные интервалы не влияли на выживаемость больных правосторонним и левосторонним РМЖ. Однако при сочетанном использовании НАЛТ и АЛТ были установлены следующие зависимости. Во-первых, оба временных интервала негативно влияли на выживаемость больных 50–59 лет. Только интервал НАЛТ→операция был значим для больных правосторонним раком (ОВ: p = 0,017; БРВ: p = 0,08), а интервал операция→АЛТ – для больных левосторонним раком (ОВ: p = 0,01; БРВ: p = 0,004). Во-вторых, отмечено негативное влияние интервала НАЛТ→операция на выживаемость больных лево-

сторонним раком возрастной категории 60 лет и старше (ОВ: $p = 0{,}001$; БРВ: $p = 0{,}013$).

Таким образом, следует отметить, что те немногочисленные ситуации, при которых отмечено достоверное влияние временных интервалов на выживаемость больных РМЖ, наблюдались лишь при условии сочетанного использования НАЛТ и АЛТ. В данном случае нельзя исключить участие системных эффектов ЛТ.

Латеральность РМЖ при проведении ЛТ рассматривается преимущественно в аспекте кардиальных осложнений. Однако результаты нашего анализа предлагают шире взглянуть на данное обстоятельство. Негативное влияние временных интервалов у больных левосторонним раком (НАЛТ→операция для больных 60 лет и старше; операция→АЛТ для больных 50–59 лет) отмечено не только в отношении ОВ, но и в отношении БРВ. Т.е. снижение выживаемости больных обусловлено не только возможным кардиотропным эффектом ЛТ. По данным литературы, латеральные отличия РМЖ могут выражаться как в различии гистологических и иммуногистохимических параметров опухолевых узлов правостороннего и левостороннего рака, так и в особенностях иммунного статуса опухоленосителей [9, 10, 11].

Выводы

1. При сочетанном использовании НАЛТ и АЛТ увеличение временного интервала операция→АЛТ достоверно снижает ОВ и БРВ больных РМЖ возрастной категории 50–59 лет при опухолевой распространенности $T_{1-2}N-$.
2. При сочетанном использовании НАЛТ и АЛТ увеличение временного интервала НАЛТ→операция достоверно снижает ОВ больных правосторонним РМЖ возрастной категории 50–59 лет.
3. При сочетанном использовании НАЛТ и АЛТ увеличение временного интервала НАЛТ→операция достоверно снижает ОВ и БРВ больных левосторонним РМЖ возрастной категории 60 лет.
4. При сочетанном использовании НАЛТ и АЛТ увеличение временного интервала операция→АЛТ достоверно снижает ОВ и БРВ больных левосторонним РМЖ возрастной категории 50–59 лет.
5. При сочетанном использовании НАЛТ и АЛТ латеральность опухолевого поражения определяет влияние временных интервалов на выживаемость больных РМЖ возрастной категории 50–59 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Huang J., Barbera L., Brouwers M. et al.* Does delay in starting treatment affect the outcomes of radiotherapy? A systematic review. // J. Clin. Oncol., 2003, **21**, No. 3, P. 555–563.
2. *Punglia R.S., Saito A.M., Neville B.A. et al.* Impact of interval from breast conserving surgery to radiotherapy on local recurrence in older women with breast cancer: retrospective cohort analysis. // BMJ, 2010, **340**, P. 845–853.
3. *Jack R.H., Davies E.A., Robinson D. et al.* Radiotherapy waiting times for women with breast cancer: a population-based cohort study. // BMC Cancer, 2007, **7**, No. 71 (http://www.biomedcentral.com/1471–2407/7/71/prepub).
4. *Stefoski Mikeljevic J., Haward R., Johnston C. et al.* Trends in postoperative radiotherapy delay and the effect on survival in breast cancer patients treated with conservation surgery. // Brit. J. Cancer, 2004, **90**, No. 7, P. 1343–1348.
5. *Livi L., Borghesi S., Saieva C. et al.* Radiotherapy timing in 4,820 patients with breast cancer: university of florence experience. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 2009, **73**, No. 2, P. 365–369.
6. *Recht A., Come S.E., Henderson I.C. et al.* The sequencing of chemotherapy and radiation therapy after conservative surgery for early-stage breast cancer. // N. Engl. J. Med., 1996, **334**, No. 21, P. 1356–1361.
7. *Benchalal M., Le Pris E., de Lafontan B. et al.* Influence of the time between surgery and radiotherapy on local recurrence in patients with lymph node-positive, early-stage, invasive breast carcinoma undergoing breast-conserving surgery: results of the French Adjuvant Study Group. // Cancer, 2005, **104**, No. 2, P. 240–250.
8. *Bellon J.R., Come S.E., Gelman R.S. et al.* Sequencing of chemotherapy and radiation therapy in early-stage breast cancer: updated results of a prospective randomized trial. // J. Clin. Oncol., 2005, **23**, P. 1934–1940.
9. *Завьялова М.В.* Особенности течения рака молочной железы в зависимости от морфологического варианта опухоли и фоновых диспластических процессов. – Томск: Автореф. дисс. канд. мед. наук, 2004, 26 с.
10. *Порошенко А.Б., Дмитренко А.П.* О разграничении luminal-семейства рака молочной железы. // Материалы IX Международной ежегодной конференции «Проблемы диагностики и лечения рака молочной железы» 18–20 июня 2012 г. – СПб., 2012, С. 104–105.
11. *Порошенко А.Б., Орловская Л.А., Златник Е.Ю., Дмитренко А.П.* Особенности иммунного статуса женщин с правосторонними локализациями рака молочной железы. // Материалы III съезда онкологов и радиологов СНГ. 25–28 мая, 2004 г. – Минск, 2004, Ч. 2, С. 69–70.

Поступила: 29.01.2013.
Принята к публикации: 03.07.2013

Д.К. Фомин, О.О. Люгай, О.Б. Тараруxина

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ОФЭКТ/КТ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОЦЕНКЕ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ЗАБОЛЕВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ТАКТИКИ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ РАКОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

D.K. Fomin, O.O. Lyugiy, O.B. Tararuchina

Experience of SPECT/CT Research in the Evaluation of Disease Prevalence in Patients with Differentiated Thyroid Cancer and Planning Further Tactics of Treatment

РЕФЕРАТ

Цель: Оценить распространенность заболевания у больных дифференцированным раком методом ОФЭКТ/КТ и определить дальнейшую тактику лечения на основании полученных данных.

Материал и методы: Методом комбинированной однофотонной эмиссионной и рентгеновской компьютерной томографии (ОФЭКТ/КТ) были обследованы 20 человек, оперированных по поводу рака щитовидной железы и проходивших лечение с ^{131}I. Всем больным была также проведена планарная сцинтиграфия всего тела. У 18 пациентов был диагностирован папиллярный рак и у 2 – фолликулярный рак щитовидной железы. Возраст пациентов варьировал от 20 до 73 лет, среди них было 5 мужчин и 15 женщин. Исследования выполнялись на комбинированной ОФЭКТ/КТ системе Philips Precedence с 16-срезовой конфигурацией КТ.

Результаты: Полностью совпали результаты планарной сцинтиграфии и ОФЭКТ/КТ у 11 пациентов из 20. В остальных 9 случаях имело место несовпадение результатов планарной сцинтиграфии и комбинированного исследования.

Выводы: Проведение контрольного радионуклидного исследования после радиойодтерапии является обязательным, т.к. позволяет оценить распространенность заболевания и выбрать адекватную тактику дальнейшего лечения. Проведение комбинированной ОФЭКТ/КТ приводит к изменению режима катамнестического наблюдения у 38 % больных. Показанием к проведению совмещенного исследования является визуализация очагов гиперфиксации РФП ниже анатомического маркера или не по срединной линии шеи.

Ключевые слова: *рак щитовидной железы, планарная сцинтиграфия всего тела ^{131}I, комбинированное ОФЭКТ/КТ исследование*

ABSTRACT

Purpose: To study the diagnostic efficiency of SPECT/CT in disease prevalence assessment in patients with differentiated thyroid cancer and planning further tactics of treatment.

Material and methods: 20 patients have been examined. All of them had been operated and have being treated with ^{131}I. 18 patients suffered with papillary cancer and 2 patients suffered with follicular thyroid cancer. The age of patients varied from 20 to 73, the group examined consisted of 5 men and 15 women. The research has been carried out on composite SPECT/CT Philips Precedence system.

Results: The results of SPECT/CT and planar scintiscanning revealed full coincidence in 11 cases. There were no such coincidence in other 9 cases.

Conclusion: Carrying out controlling radionuclide examination after ^{131}I treatment is absolutely obliged. It helps in disease prevalence assessment and chose adequate treatment tactics. Carrying out combined SPECT/CT examination leads to modification of treatment in 38 % of patients.

Key words: *combined SPECT/CT, differentiated thyroid cancer, whole body planar scintygraphy with ^{131}I*

Введение

Отдаленные метастазы значительно ухудшают прогноз и являются наиболее частой причиной смерти больных дифференцированным раком щитовидной железы (ДРЩЖ) [1–4] Наиболее часто отдаленные метастазы поражают легкие и кости [1, 5, 6]. Общая частота метастатического поражения шейных лимфатических узлов при дифференцированном РЩЖ составляет по разным данным от 17 до 70 % [7–9]

Наличие регионарных метастазов значительно повышает вероятность рецидива заболевания и, по данным ряда авторов, повышает процент смертности больных от прогрессирования РЩЖ [10–12]. Формирование четкого представления о распространенности заболевания является крайне важным для определения дальнейшей тактики лечения больного [13, 14].

Планарная сцинтиграфия всего тела с ^{131}I имеет важное значение в топической диагностике метаста-

Российский научный центр рентгенорадиологии Минздрава РФ, Москва. E-mail dkfomin@yandex.ru

Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology. Moscow, Russia. E-mail dkfomin@yandex.ru

зов дифференцированного рака щитовидной железы. Рентгеновская КТ применяется в диагностике отдаленных метастазов РЩЖ и загрудинного распространения опухолевого процесса [9, 15, 16].

В последние годы активно исследуются возможности новых лучевых методов диагностики РЩЖ, и в частности комбинированные ОФЭКТ/КТ исследования.

Суть упомянутой технологии заключается в одномоментном проведении рентгеновской компьютерной томографии и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, что позволяет получить совмещение функционального и анатомического изображения с минимальными пространственными искажениями.

Целью данной работы является оценка метода ОФЭКТ/КТ в определении распространенности заболевания и дальнейшей тактики лечения больных дифференцированным раком щитовидной железы.

Материал и методы

ОФЭКТ/КТ и планарная сцинтиграфия всего тела были выполнены 20 пациентам, оперированным по поводу рака щитовидной железы и проходивших лечение ^{131}I в связи с генерализацией процесса. Из них у 18 пациентов был диагностирован папиллярный рак щитовидной железы и у 2 – фолликулярный рак щитовидной железы. Объем оперативного лечения в 9 случаях включал в себя тиреоидэктомию с центральной лимфаденэктомией, в 6 случаях была выполнена тиреоидэктомия и футлярно-фасциальное иссечение клетчатки шеи, в 5 случаях объем операции ограничивался тиреоидэктомией. Возраст пациентов варьировал от 20 до 73 лет, среди них было 5 мужчин и 15 женщин.

Исследования выполнялись на комбинированной ОФЭКТ/КТ системе Philips Precedence с 16-срезовой конфигурацией КТ. Использовались следующие параметры КТ: коллимация – 16×0,75 мм,толщина среза 2 мм, шаг спирали – 1 мм. ОФЭКТ: матрица 128×128, 32 угловых позиции при вращении детекторов, время записи на один угол вращения составляет 30–40 с.

Комбинированное ОФЭКТ/КТ исследование проводилось в 2 этапа. Первым этапом являлось получение сцинтиграфического изображения всего тела посредством работы аппарата в режиме whole body. Планарная сцинтиграфия всего тела проводилась с использованием с анатомического маркера ^{153}Gd на правой ключице, что позволяло ориентироваться в отношении расположения ложа щитовидной железы и проверять качество совмещения рентгеновского и радионуклидного изображений.

Введение радиойода проводится в первый день поступления больного в стационар. В большинстве случаев ОФЭКТ/КТ исследование проводилось на 2–5 день после введения ^{131}I в зависимости от результатов дозиметрического контроля. Дозиметрический контроль обычно проводился на 2–3 сутки после получения пациентом ^{131}I. В день проведения исследования радиационный фон пациента должен составлять не более 20 мкЗв/час на расстоянии 1 м (НРБ 99/2009).

Расчет активности вводимого ^{131}I производился в зависимости от стадии заболевания, наличия регионарных и отдаленных метастазов, массы тела больного, а также наличия остаточной тиреоидной ткани, определяемой при планарной тиреосцинтиграфии с ^{99m}Tc-пертехнетатом. В целом, значения терапевтической активности вводимого ^{131}I для взрослых составляют 3–4,5 ГБк.

Для проведения радиойодтерапии пациенты поступали через 3 недели после хирургического лечения. В том случае, если пациент длительно находился на амбулаторном лечении, то его госпитализация на радиойодтерапию производилась через 3–4 недели после отмены L-тироксина в состоянии гипотиреоза.

Сцинтиграфия всего тела проводилась в положении больного лежа на спине с использованием двух коллиматоров для высоких энергий гамма-излучения (HEGP). Продолжительность исследования составляет 15–20 мин. После получения сцинтиграфического изображения всего тела производилась визуальная оценка полученного изображения с целью определения размеров и локализации очагов накопления РФП.

ОФЭКТ/КТ исследование проводилось в тех случаях, когда:

1) очаги гиперфиксации РФП располагались ниже анатомического маркера или не по срединной линии шеи;

2) в случаях, когда выявленные очаги имели большие размеры, и их сцинтиграфическое изображение включало в себя несколько анатомических структур, которые невозможно однозначно идентифицировать.

Перед ОФЭКТ/КТ-исследованием аппарат переводился в режим совмещения работы рентгеновского исследования и однофотонной эмиссионной томографии. При этом зона исследования выбиралась таким образом, чтобы в нее попадала близлежащая анатомическая область (например, шея и верхние отделы грудной клетки, или вся грудная клетка и т. д.) в зависимости от цели исследования. Сканирование проводилось так же, как при сцинтиграфии, в положении лежа на спине с использованием колли-

маторов высокой энергии (HEGP). Продолжительность КТ-сканирования составляет от 15 до 25 с, в зависимости от размера зоны интереса. Продолжительность однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) составляла 10–15 мин, а общая длительность – 20–25 мин. При этом основной задачей исследователя является совмещение ОФЭКТ-изображения с соответствующими анатомическими структурами, полученными в КТ-режиме. После этого производилась обработка полученных данных.

Реконструкцию изображений проводили с помощью пакета программного обеспечения AutoSpectPro по алгоритму OSEM с фильтром Butterworth. В дальнейшем КТ- и ОФЭКТ-сканы обрабатывались с применением пакета программного обеспечения Fusion Viewer, который дает возможность совмещать и одновременно визуализировать данные ОФЭКТ и КТ. Результаты ОФЭКТ/КТ-исследования оценивались во фронтальных, сагиттальных и трансаксиальных плоскостях. Оценка ОФЭКТ-данных проводилась как с использованием цветовой шкалы Thermal Scale, так и с использованием различных цветовых шкал с целью определения интенсивности очага гиперфиксации РФП и его локализации. Оценка КТ-данных проводилась в различных проекциях с использованием показателей плотности по шкале Хаундсфилда.

Результаты и обсуждение

Полностью совпали результаты планарной сцинтиграфии и ОФЭКТ/КТ исследования у 11 больных. Из них в 7 наблюдениях очаги гиперфиксации РФП соответствовали остаточной тиреоидной ткани в ложе щитовидной железы. В двух случаях, помимо накопления РФП в ложе щитовидной железы, наблюдались очаги гиперфиксации РФП в проекции лимфатических узлов: паратрахеальных узлах слева и шейных лимфатических узлах слева соответственно. В одном случае очаг накопления РФП визуализировался только в проекции лимфатического узла верхнего средостения, что было подтверждено при ОФЭКТ/КТ. У троих больных при проведении комбинированного исследования было выявлено поражение лимфатических узлов, легких и скелета, не распознанное на планарных сцинтиграммах (табл. 1). В двух наблюдениях по результатам ОФЭКТ/КТ изменено суждение о локализации пораженных лимфоузлов. У четырех пациентов подозрение на распространенный метастатический процесс в лимфатических путях не нашло подтверждения на совмещенных томограммах.

Таким образом, в результате проведения ОФЭКТ/КТ было установлено наличие отдаленных

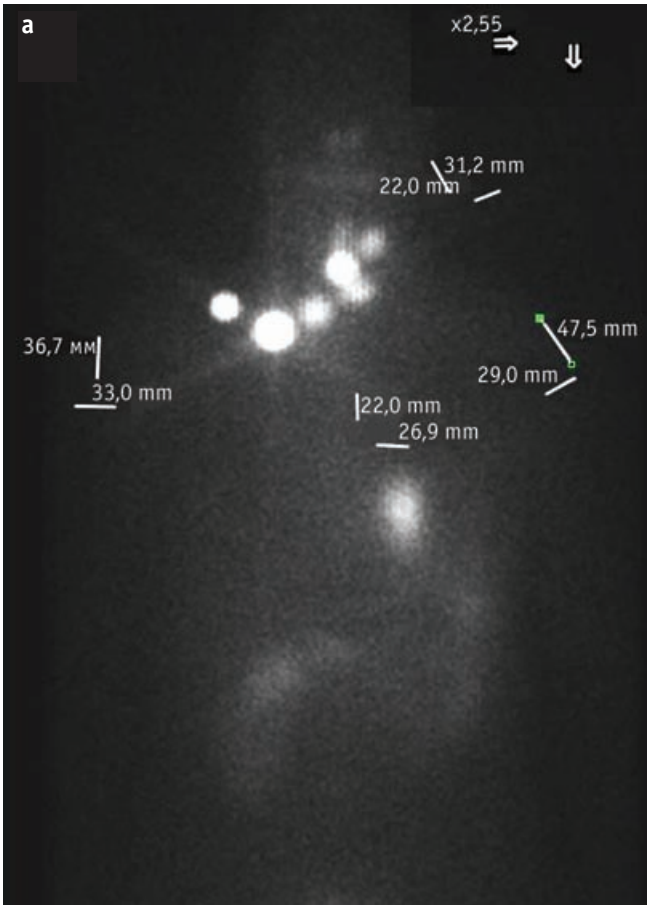
Таблица 1

Результаты планарной сцинтиграфии всего тела и ОФЭКТ/КТ исследования

Локализация	Сцинтиграфия всего тела	ОФЭКТ/КТ
Ложе щитовидной железы	10	7 1 – ложе щитовидной железы +шейный л/у слева 1 – ложе щитовидной железы +легкие 1 – ложе щитовидной железы+легкие+кости
Ложе щитовидной железы+шейные л/у справа	1	1
Ложе щитовидной железы +шейные л/у слева	2	1 1 – ложе щитовидной железы
Ложе щитовидной железы+л/у с 2-х сторон	2	0 1 – ложе щитовидной железы+шейный л/у справа 1 – ложе щитовидной железы+шейный л/у слева, надключичный л/у справа
Ложе щитовидной железы+л/у верхнего средостения	4	1 – ложе щитовидной железы +паратрахеальные узлы слева 3 – ложе щитовидной железы
Лимфатические узлы верхнего средостения	1	1

и регионарных метастазов, что позволило назначить или повторить курс радионуклидной терапии, без неоправданного в данной ситуации динамического наблюдения. Напротив, четырем пациентам с доказанным отсутствием отдаленного поражения было рекомендовано динамическое наблюдение. В целом после выполнения комбинированного исследования тактика лечения была изменена у 7 больных, что составило 38 % наблюдений.

Клинический пример 1. Больная В., 26 лет, с диагнозом рак щитовидной железы, $T_3N_1M_0$. В июле 2011 г. больной было выполнено оперативное лечение в объеме тиреоидэктомии и футлярно-фасциального иссечения клетчатки шеи слева. При гистологическом исследовании выявлен папиллярный рак щитовидной железы фолликулярного строения, с метастазами в 5 л/у. Уровень ТГ 1 нг/мл. На втором этапе лечения больной была назначена радиойодтерапия ^{131}I. После лечения ^{131}I в ноябре 2011 г. на планарных сцинтиграфиях всего тела определяются очаги гиперфиксации РФП в проекции ложа щитовидной железы и шейных лимфатических узлов с обеих сторон. Для уточнения локализации очагов проведено комбинированное ОФЭКТ/КТ исследование, по данным которого очаги гиперфиксации РФП соответствуют остаточной ткани в ложе щитовидной железы, шейным лимфатическим узлам слева, надключичному лимфатическому узлу справа (рис. 1).



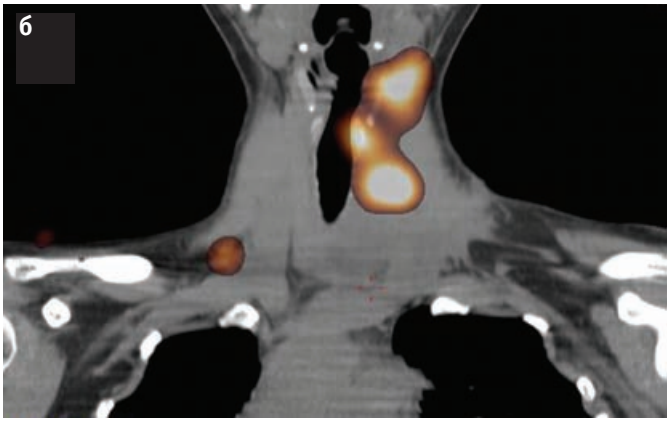


Рис. 1.
а – Планарная сцинтиграфия всего тела после радиойодтерапии ^{131}I. Очаги гиперфиксации РФП в проекции ложа щитовидной железы и шейных лимфатических узлов с обеих сторон.
б – Комбинированное ОФЭКТ/КТ исследование. Визуализируются очаги гиперфиксации РФП, которые соответствуют остаточной тиреоидной ткани в ложе щитовидной железы, шейным лимфатическим узлам слева, надключичному лимфатическому узлу справа

Клинический пример 2. Больной О., 62 лет, с диагнозом рак щитовидной железы, $T_1N_1M_x$. В сентябре 2011 г. больному была выполнена тиреоидэктомия, лимфоаденэктомия. По гистологическому заключению выявлен папиллярный рак щитовидной железы с метастазами в л/у аналогичного строения. Уровень ТГ 1785 нг/мл. На втором этапе лечения больному была назначена радиойодтерапия ^{131}I. После лечения ^{131}I в октябре 2011 г. на планарной сцинтиграфии всего тела определяется очаг гиперфиксации РФП в проекции лимфатических узлов верхнего средостения. Для уточнения локализации очагов проведено комбинированное ОФЭКТ/КТ исследование, по данным которого очаг гиперфиксации РФП соответствовал паратрахеальному лимфатическому узлу справа (рис. 2).

Выводы

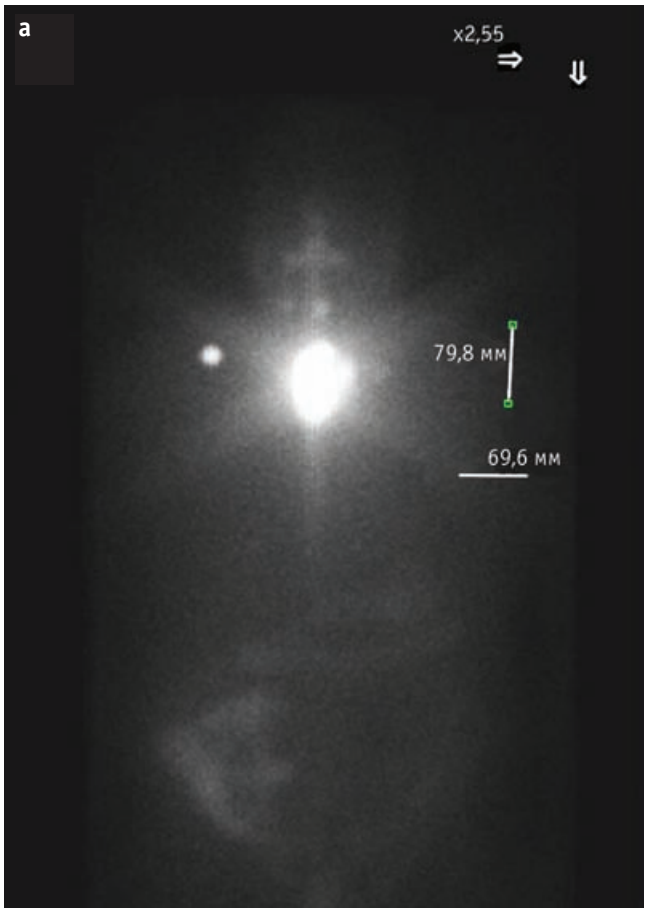
1. Проведение контрольного радионуклидного исследования после радиойодтерапии является обязательным, поскольку позволяет оценить распространенность заболевания и выбрать адекватную тактику дальнейшего лечения.

2. По нашим наблюдениям, проведение комбинированного ОФЭКТ/КТ привело к изменению режима катамнестического наблюдения у 38 % больных. Возможно, что этот показатель изменится при увеличении числа наблюдений.

3. Показанием к проведению комбинированного ОФЭКТ/КТ является визуализация очагов гиперфиксации РФП ниже анатомического маркера или не по срединной линии шеи при сцинтиграфии всего тела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Романчишен А.Ф., Колосюк В.А., Багатурия Г.О.* Рак щитовидной железы – проблемы эпидемиологии, этиопатогенеза и лечения. – М., 2003.
2. *Proye C., Carnaille B., Gontier A. et al.* Devenir a long terne des thyroidectomies moins que totals pour cancers papillaires. // Lyon Chir., 1997, **93**, No. 6, P. 339–344.
3. *Conzo G. et al.* Metastasi della teca cranica da carcinoma follicolare della tiroidea. // Minerva Chir, 1998, **53**, No. 9, P.751–756.



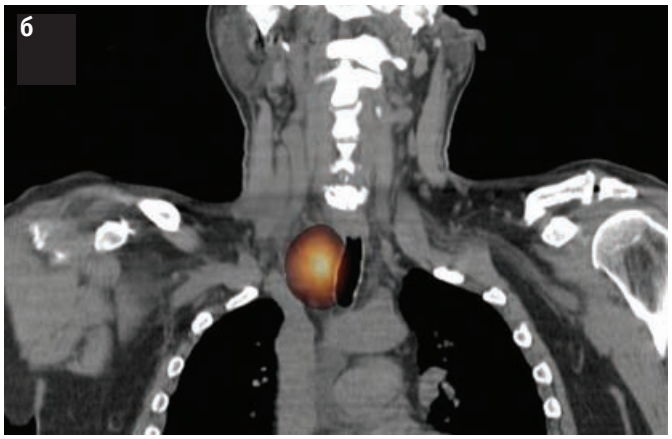


Рис. 2.
а – Планарная сцинтиграфия всего тела после радиойодтерапии ^{131}I. Очаг гиперфиксации РФП в проекции лимфатических узлов верхнего средостения.

б – Комбинированное ОФЭКТ/КТ исследование. Очаг гиперфиксации РФП, который соответствует паратрахеальному лимфатическому узлу справа

4. *Tsang R.W., Brierly J.D., Simpson W.J. et al.* The effect of surgery, radiodine, and external radiation therapy on the clinical outcome of patients with differentiated thyroid carcinoma . // Cancer, 1998, **82**, No. 2, P. 375–388.
5. *Schlumberger M.J.* Papillary and follicular thyroid carcinoma. // New Engl. J. Med., 1998, **338**, No. 5, P. 297–306.
6. *Румянцев П.О., Ильин А.А., Румянцева У.В., Саенко В.А.*. Рак щитовидной железы: современные подходы к диагностике и лечению. – М.: Гэотар – Медиа, 2009.
7. *Романчишен А.Ф.* Клинико-патогенетические варианты новообразований щитовидной железы. – СПб: Наука, 1992, 258 с.
8. *Schlumberger M., Pacini F.* Thyroid tumors. – Paris, Nucleon, 1999, 317 pp.
9. *Tzavara I., Vlassopoulou B., Alevizaki C. et al.* Differentiated thyroid cancer: A retrospective analysis of 832 cases from Greece. // Clin. Endocr., 1999, **50**, No. 5, P. 643–654.
10. *S. Sherman S.I., Brierly J.D., Sperling M. et al.* Prospective multicentric study of thyroid carcinoma treatment: Initial analysis of staging and outcome. // Cancer, 1998, **83**, No. 5, P. 1012–1021.
11. *Van den Brekel M.W., Hekkenberg R.J., Asa S.L. et al.* Prognostic features in tall cell papillary carcinoma and insular thyroid carcinoma. // Laryngoscope, 1997, **107**, No. 5, P. 254–259.
12. *S. Noguchi S., Murakami N., Yamashita H. et al.* Papillary thyroid carcinoma: Modified radical neck dissection improves prognosis. // Arch. Surg., 1998, **133**, No. 3, P. 276–280.
13. *Cady B.* Studying in thyroid carcinoma. // Cancer, 1998, **83**, No. 5, P 844–847.
14. *Gilliland F., Hunt W., Morris D., Fey C.* Prognostic factors for thyroid carcinoma. // Cancer, 1997, **79**, No. 3, P. 564–573.
15. *Дедов И.И., Трошина Е.А., Александрова Г.Ф.* Диагностика, лечение и профилактика узловых форм заболеваний щитовидной железы. – М., 1999, 48 с.
16. *Cases J.A., Surks M.I.* The changing role of scintigraphy in the evalution of thyroid nodules. // Semin. Nucl. Med., 2000, **30**, No. 2, P.81–87.

Поступила: 20.05.2012
Принята к публикации: 03.04.2013

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ У.Я. МАГУЛИСА «ВСПОМИНАЯ БЫЛОЕ. ШТРИХИ К БИОГРАФИИ». – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2012, 190 с.

Notice on the book by U.Ya. Margulis" Remembering the Past. Marks to Biography". – M.: FBU "STC NRS". 2012

Таким людям из прошлого атомная отрасль сегодня обязана своей безопасностью.

Создание дозиметрии ионизирующего излучения явилось одной из основных задач дозиметрической лаборатории Института биофизики МЗ СССР с самых первых шагов его создания. К этому времени не были разработаны как приборы, регистрирующие количественные параметры ионизирующего излучения, так и правила оценки выявленных показаний и возможность их использования для нормирования радиации для различных групп людей.

Первоначально это была единая лаборатория или, точнее, раздел работы с небольшим количеством сотрудников-физиков, возглавляемая заместителем директора Института биофизики профессором Б.М. Исаевым. В лаборатории работали или сотрудничали с ней такие физики, как В.В. Бочкарев, А.В. Бибергаль. В дальнейшем специальную лабораторию возглавил И.Б. Кеирим-Маркус – создатель как самих дозиметрических приборов, так и основных принципов использования количественных характеристик поглощенной энергии для интерпретации основных биологических эффектов.

Впоследствии объем работы и многообразие направлений привели к разделению лаборатории по преимущественной их связи с тем или иным аспектом исследований на ряд отдельных лабораторий. Таким образом, в отличие от лаборатории средств индивидуальной защиты, дозиметрическая лаборатория не сохранилась как самостоятельное подразделение.

С этой точки зрения весьма интересны воспоминания сотрудников Института биофизики, принимавших участие в работе лаборатории на первых этапах ее существования. Такие краткие сведения содержатся в рецензируемой книге. С согласия ее автора они будут приведены мною ниже как ярко характеризующие деятельность, столь значимой для Института лаборатории.

С целом же книга характеризует очень полно и в прекрасной литературной форме основные вехи жизни ее автора, начиная от детских и юношеских лет и до зрелого возраста, по-прежнему, в качестве одного из сотрудников Института биофизики, впоследствии преобразованного в Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна.

Книга ярко характеризует детские и юношеские годы автора в хорошо обеспеченной еврейской семье, позволившей предоставить У.Я. Маргулису очень качественное общее образование.

Значительное место в жизни автора, как и всего поколения его сверстников, заняла Великая Отечественная война. Вернувшиеся с фронта участники этой войны в 50-е годы стали очень важной высокоинтеллектуальной частью общества, разделившей со страной наиболее ответственные направления ее жизни и деятельности. Это в полной мере касается и атомной промышленности, в структуре которой было много ветеранов Великой Отечественной войны. Среди них был и Ушер Яковлевич Маргулис.

Этих людей отличала готовность к восприятию нового, критическое отношение к формированию принципов организационной работы. Практиковалось широкое доверительное обсуждение первых результатов с коллегами своего и других учреждений. Именно этими людьми были созданы первые дозиметрические приборы, подвергавшиеся постоянному усовершенствованию, наработано значительное количество таких приборов, подвергнутых испытанию как в самой лаборатории, так и на предприятиях атомной промышленности.

Дозиметристы, оперирующие количественными характеристиками радиации, были закономерными соавторами первых публикаций о действии атомной радиации на организм. Такова, например, совместная книга А.П. Егорова и В.В. Бочкарева о действии ионизирующего облучения на кроветворение. Были совместными и публикации посвященные анализу клинических эффектов при радиационных авариях и инцидентах (И.Б. Кеирим-Маркус, С.Н. Райтор, Д.П. Осанов).

Именно сотрудники ИБФ в июле 1986 г. доставили первые индивидуальные дозиметры в зоны аварии и явились создателями первоначального медико-до-

зиметрического регистра участников противоаварийных работ.

Деятельность этих людей сопровождали значительные трудности, обусловленные несовершенством технологических процессов, а также сложностями переноса сведений о дозах в окружающей среде на поглощенную организмом энергию ионизирующего излучения. Определенное неблагоприятное влияние оказывал и существовавший с те годы режим секретности. Приводим выписку из книги, посвященную начальным этапам становления лаборатории.

Начальным этапом работы являлось создание приборов индивидуального фотоконтроля доз гамма-излучения. «В основу метода ИФК была положена существующая в определенном интервале линейная зависимость между почернением рентгеновской пленки и количеством падающего излучения. В процессе создания метода были проведены широкие исследования чувствительности фотоэмульсии от энергии и интенсивности падающего излучения с целью выбора подходящих фотопленок. Были разработаны конструкции кассеты индивидуального фотодозиметра, а также метод градуировки фотодозиметра, аппаратура для одновременного проявления большого числа дозиметров и определения плотности почернения фотопленки и т.д. Производство кассет было налажено на Карачаровском заводе пластмасс. Большая заслуга по созданию фотопленки высокой чувствительности для метода ИФК принадлежала коллективу лаборатории ВНИКФИ, возглавляемой К.С. Богомоловым. Метод ИФК до чернобыльской катастрофы оставался одним из основных наиболее широко применяемых методов индивидуальной дозиметрии.

Для проведения дозиметрических исследований при первом испытании атомной бомбы метод ИФК был модифицирован, что позволило осуществить регистрацию экспозиционных доз гамма-излучения от единиц до тысячи рентген. Работы на полигоне по измерению доз гамма-излучения были выполнены В.П. Крыловым. Как указывалось выше, одновременно с разработкой метода ИФК в том же 1946 г. была начата разработка метода индивидуального дозиметрического контроля при помощи конденсаторных ионизационных камер (метод ИДК). Принцип действия наперстковых ионизационных камер основан на измерении потенциала собирающего электрода камер, которых пропорционален дозе гамма-излучения. При создании метода ИДК (Б.М. Исаев, Ю.М. Штукенберг) был решен ряд принципиальных вопросов, связанных с выбором материала стенок камер, не имеющего хода жесткости, разработкой конструкции камеры, позволяющей измерять дозы излучения в заданном диапазоне и метода измерения электрического заряда камер.

Создание академиком И.В. Петряновым специальных фильтрующих материалов, обладающих высоким коэффициентов задержки радиоактивных аэрозолей, позволило решить вопрос измерения концентрации радиоактивных аэрозолей в воздухе путем прокачки через фильтры из ткани Петрянова больших объемов воздуха с последующим определением активных веществ, осажденных на фильтрах (плутоний).

Значительно сложнее обстояло дело с контролем радиоактивных газов (в частности инертных), которые фильтрами не задерживаются. На первых порах для этих целей пытались использовать большие ионизационные камеры объемом до 70 литров. Однако не удавалось достичь необходимой точности и чувствительности. В этой связи большой интерес представляли исследования В.В. Бочкарева и Ю.С. Фролова (1948 г.), которые теоретически обосновали и разработали метод измерения концентрации радиоактивных газов при помощи газоразрядного счетчика, помещенного в замкнутый объем. Этот метод был впоследствии усовершенствован А.Д. Туркиным (1957 г.). В результате был создан прибор с малыми габаритами и весом, простой и надежный в работе, который нашел широкое практическое применение. Метод Бочкарева и Фролова был использован для определения в воздухе инертных радиоактивных газов на первых атомных заводах. Следует отметить, что Фролов стажировался в нашей лаборатории около года, проходил преддипломную практику. Впоследствии он был направлен на объект «Б» (радиохимический завод ПО «Маяк») в качестве начальника дозиметрической службы завода.

За успешное выполнение заданий по разработке в кратчайшие сроки необходимых для атомной промышленности приборов и методов дозиметрического контроля; подготовку кадров дозиметристов; создание и налаживание работы дозиметрических служб группа сотрудников института в 1960 г. была удостоена Премии Совета Министров СССР (А.В.Бибергаль, В.В. Бочкарев, К.С. Калугин, М.А. Львова, У.Я. Маргулис, В.Г. Хрущев, Ю.В. Штукенберг). Директору института Г.М. Франку и его заместителю Б.М. Исаеву было присвоено звание лауреатов Государственной премии СССР.

Из изложенного выше следует, что становление атомной промышленности потребовало решения ряда новых проблем физики, техники и биологии, которые бы позволили, с одной стороны, обеспечить безопасные условия труда в сфере воздействия ионизирующих излучений, а с другой – установить закономерность биологического действия ионизирующих излучений, и разработать методы средства

оценки лучевых поражений. Именно для решения указанных задач и была создана, как указывалось выше, радиационная лаборатория».

Опережающее значение проведенных в дозиметрической лаборатории Института исследований совершенно очевидно еще и потому, что при использовании источников ионизирующих излучений в медицинской практике, как уже говорилось выше, использовались биологические критерии. Несовершенство такой оценки было в практике лучевой терапии несомненно, однако использование дозиметров ИФК и ИДК пришло в медицинскую практику лишь позднее. Инициаторами их введения были С.Н. Ардашников и А.В. Козлова – сотрудники Института рентгенорадиологии в Москве. Только тогда и стала реальной оценка эффективности лучевой терапии при сопоставлении эффекта с поглощенной энергией ионизирующего излучения в том или ином органе или ткани.

Отсутствие прямых количественных характеристик поглощенной в тканях энергии излучения подменялось, иногда в связи с режимом секретности, малопонятными неинформативными терминами, затрудняющими интерпретацию этих ранних работ.

Многие положения последовательно пересматривались, что приводило к изменению как самой характеристики доз для человека, так и модификации принятых коэффициентов биологической эффективности отдельных видов излучения, соответственно к оценке риска для здоровья.

Постепенно количественный дозовый параметр выражений стал определяющим в оценке условий облучения и в выборе допустимых уровней доз.

Поэтому имеются все основания с глубоким уважением напомнить ныне работающим в области радиационной медицины людям имена создателей дозиметрии. К ним, безусловно, принадлежит и автор книги У.Я. Маргулис.

Член корр. РАМН, профессор А.К. Гуськова

Поступила: 03.06.2013.
Принята к публикации: 03.07.2013.

М.Ф. Киселев[1], Т.В. Азизова[2], А.В. Аклеев[3], Р.М. Алексахин[4], В.К. Иванов[5], А.Н. Котеров[6], И.И. Крышев[7], Б.К. Лобач[8], О.А. Павловский[9], С.А. Романов[2], А.В. Сажин[6], С.М. Шинкарев[6]

О РАБОТЕ 60-ой СЕССИИ НАУЧНОГО КОМИТЕТА ПО ДЕЙСТВИЮ АТОМНОЙ РАДИАЦИИ ООН (НКДАР ООН) (Вена, 27–31 мая 2013 г.)

M.Ph. Kiselev[1], T.V. Azizova[2], A.V. Akleyev[3], R.M. Aleksakhin[4], V.K. Ivanov[5], A.N. Koterov[6], I.I. Kryshev[7], B.K. Lobach[8], O.A. Pavlovsky[9], S.A. Romanov[2], A.V. Sazhin[6], S.M. Shinkarev[6]

On the 60th Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 27–31 May 2013)

СОДЕРЖАНИЕ

Обсуждение научных документов по семи проектам:
Документ R.695 «Уровни и эффекты облучения, обусловленного ядерной аварией после Великого восточно-японского землетрясения и цунами2011 года»
Документ R.696 «Эффекты облучения у детей»
Документ R.697 «Методология оценки дозы облучения человека от радиоактивных сбросов»
Документ R.698 «Дозы облучения при производстве электроэнергии»
Документ R.699 «Биологические эффекты облучения отдельных инкорпорированных радионуклидов»
Документ R.700 «Эпидемиологические исследования воздействия на население природного и техногенного облучения при низких мощностях доз»
Документ R.701 «Совершенствование оценок доз медицинского облучения»

Ключевые слова: *60-я сессия НКДАР ООН, авария на АЭС «Фукусима-1», дозы облучения населения, дозы облучения персонала, эффекты облучения у детей, облучение при производстве электроэнергии, радиоактивные выбросы и сбросы, эпидемиология малых доз и низких мощностей доз ионизирующего излучения*

CONTENTS

Introduction
Discussion of scientific reports on seven projects:
Report R.695 “Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami”
Report R.696 “Effects of radiation exposure on children”
Report R.697 “Methodology for estimating human exposures due to radioactive discharges”
Report R.698 “Radiation exposures from electricity generation”
Report R.699 “Biological effects of selected internal emitters”
Report R.700 “Epidemiology of low-dose-rate exposures of the public to natural and artificial environmental sources of radiation”
Report R.700 “Development of an evaluation of medical exposures”

Key words: *60th session of UNSCEAR, accident at the nuclear power plant “Fukushima-1”, doses to the public, doses to the workers, effects of radiation exposure on children, radiation exposures from electricity generation, radioactive releases and discharges, epidemiology of low doses and low dose rate of ionizing radiation*

Введение

В работе 60-ой сессии НКДАР ООН (27–31 мая 2013 г.) принимали участие 121 эксперт из 27 стран-членов НКДАР ООН (Российская Федерация, Аргентина, Австралия, Белоруссия, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Германия, Египет, Индия, Индонезия, Испания, Канада, Китай, Республика Корея, Мексика, Пакистан, Перу, Польша, Словакия, Судан, США, Украина, Финляндия, Франция, Швеция, Япония), а также представители 9 международных организаций:

[1] Федеральное медико-биологическое агентство России (ФМБА России), Москва
[2] Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озерск, Челябинская область
[3] Уральский научно практический центр радиационной медицины ФМБА России, Челябинск
[4] Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии Российской академии сельскохозяйственных наук, Обнинск
[5] Медицинский радиологический научный центр Министерства здравоохранения РФ, Обнинск
[6] Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва
[7] НПО «Тайфун» Росгидромета, Обнинск
[8] Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва
[9] Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

[1] Federal Medical-Biological Agency of Russia (FMBA of Russia), Moscow, Russia
[2] Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, Chelyabinsk Oblast, Russia
[3] Urals Research Center of Radiation Medicine, Chelyabinsk, Russia
[4] Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia
[5] Medical Radiological Research Centre, Obninsk, Russia
[6] Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, Russia
[7] Research & Production Association “Typhoon”, Obninsk, Russia
[8] Nuclear Energy State Corporation “Rosatom”, Moscow, Russia
[9] Nuclear Safety Institute, Moscow, Russia

– Международное агентство по атомной энергии МАГАТЭ (IAEA),
– Всемирная организация здравоохранения ВОЗ (WHO),
– Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO),
– Организация по подготовке договора о полном запрещении ядерных испытаний (СТВТО),
– Европейская Комиссия ЕК (ЕС),
– Международная комиссия по радиологической защите МКРЗ (ICRP),
– Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям МКРЕ (ICRU)
– Международное агентство по изучению рака МАИР (IARC),
– Всемирная метеорологическая организация ВМО (WMO).

Российская делегация включала 12 специалистов: М.Ф. Киселев (руководитель делегации, официальный представитель Российской Федерации в НКДАР ООН, заместитель Руководителя ФМБА России), А.В. Аклеев (УНПЦ РМ ФМБА России), Т.В. Азизова, С.А. Романов (ЮУрИБФ ФМБА России), А.Н. Котеров, А.В. Сажин, С.М. Шинкарев (ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России), Р.М. Алексахин (ВНИИСХРАЭ РАСХН), В.К. Иванов (МРНЦ Минздрава РФ), О.А. Павловский (ИБРАЭ РАН), И.И. Крышев (НПО «Тайфун» Росгидромета), Б.К. Лобач (ГК «Росатом»).

Председателем 60-ой сессии НКДАР ООН являлся представитель Австралии Карл-Магнус Ларсон (Carl-Magnus Larsson), заместителем председателя – представитель Словакии Эмиль Беди (Emil Bedi). Обязанности ученого секретаря НКДАР ООН выполнял Малькольм Крик (Malcolm Crick).

В рамках работы 60-ой сессии НКДАР ООН рассмотрены и обсуждены семь научных документов:
- R.695 «Уровни и эффекты облучения, обусловленного ядерной аварией после Великого восточно-японского землетрясения и цунами 2011 года».
- R.696 «Эффекты облучения у детей».
- R.697 «Методология оценки дозы облучения человека от радиоактивных сбросов».
- R.698 «Дозы облучения при производстве электроэнергии».
- R.699 «Биологические эффекты облучения отдельных инкорпорированных радионуклидов».
- R.700 «Эпидемиологические исследования воздействия на население природного и техногенного облучения при низких мощностях доз».
- R.701 «Совершенствование оценок доз медицинского облучения».

Необходимо отметить, что основное внимание в работе сессии НКДАР ООН сосредоточилось на подробном рассмотрении и обсуждении первых двух документов R.695 и R.696 из приведенного выше списка. Впервые на сессиях НКДАР ООН рассмотрение и обсуждение одного из документов (R.695) проходило в течение четырех дней, а документ R.696 рассматривался в течение трех дней.

На сессии принято решение, что основные положения этих двух документов должны быть представлены в отчете НКДАР ООН Генеральной ассамблее (ГА) ООН на осенней сессии ГА ООН 2013 г. Кроме того, в отчете НКДАР ООН для ГА ООН будут представлены основные положения двух других документов, принятых в целом год назад на 59-ой сессии НКДАР и доработанных в последующий период:
- R.686 «Возможность приписать риски и эффекты облучению».
- R.687 «Неопределенности в оценках риска возникновения рака, обусловленного облучением».

Ход выполнения работ по пяти другим проектам (R.697, R.698, R.699, R.700 и R.701), которые разрабатываются НКДАР ООН согласно принятому стратегическому плану деятельности на 2008–2013 гг., был рассмотрен очень кратко в течение одного трех часового пленарного заседания.

Состоялось также обсуждение стратегического плана деятельности НКДАР на 2014–2019 гг. и соответствующей ему программы работ.

Обсуждение научных документов

Документ R.695 «Уровни и эффекты облучения, обусловленного ядерной аварией после Великого восточно-японского землетрясения и цунами 2011 года». Этот документ готовился в течение двух лет. Решение о его подготовке было принято на 58-ой сессии НКДАР ООН, проходившей в мае 2011 г. спустя чуть более двух месяцев после землетрясения 11 марта 2011 г. в Японии, приведшего к радиационной аварии на АЭС «Фукусима-1». Впервые в практике НКДАР ООН в рамках подготовки одного документа была создана рабочая группа в составе 85 экспертов из 18 стран-участниц, включая 5 представителей из России. В свою очередь, все эксперты распределились по пяти тематическим группам, каждая из которых готовила соответствующий раздел итогового документа:
- Группа А – сбор данных, касающихся оценки радиационных последствий аварии, обобщение публикаций в научных журналах, их критический анализ, оценка качества полученных результатов и распределение всей собранной информации по категориям достоверности.
- Группа В – оценка динамики выброса радионуклидов из поврежденных блоков, описание распространения радиоактивных материалов в атмосфере и водной среде с учетом имеющихся метеорологи-

ческих данных, оценка динамики выпадения радионуклидов на подстилающую поверхность.

- Группа C – оценка уровней и эффектов облучения населения и биоты.
- Группа D – оценка уровней и эффектов облучения персонала и ликвидаторов.
- Группа HITG – оценка медицинских эффектов и радиационного риска облучения персонала, ликвидаторов и населения.

По итогам интенсивной работы всех групп на обсуждение участников 60-ой сессии НКДАР ООН были представлены краткий отчет с изложением основных результатов и выводов, научный отчет с более подробным представлением материалов и шесть научных приложений с детальным описанием имеющихся исходных данных, методов оценки параметров радиационной обстановки и расчета доз облучения персонала и населения, а также результатов медицинского наблюдения за лицами, подвергшимися воздействию ионизирующего излучения в результате аварии, и прогнозом отдаленных последствий для здоровья.

В документе отмечено, что японское правительство на раннем этапе развития аварии организовало эвакуацию 78 тыс. жителей из 20-километровой зоны вокруг АЭС «Фукусима-1» и рекомендовало 62 тыс. лиц из населения, проживавшим на расстоянии от 20 до 30 км до АЭС, находиться в укрытии в период аварийных выбросов. Месяц спустя, уже в апреле 2011 г., японское правительство рекомендовало эвакуацию еще примерно 10 тыс. жителей из населенных пунктов, расположенных в северо-западном направлении от станции.

Аварии на АЭС «Фукусима-1» присвоен максимальный 7-ой уровень по международной шкале ИНЕС. Согласно проведенным оценкам, выброс из аварийных реакторов АЭС «Фукусима-1» таких радиационно-значимых радионуклидов, как ^{131}I и ^{137}Cs составил 100–500 ПБк и 6–20 ПБк соответственно, что примерно на порядок меньше выброса после аварии на ЧАЭС. Выброс ^{131}I и ^{137}Cs в атмосферу оценивается приблизительно (2–8) % и (1–3) % соответственно от их накопленной в реакторах АЭС «Фукусима-1» активности. Относительный выход других радионуклидов, таких как изотопы стронция, плутония и др. оказался многократно меньшим, чем изотопов йода и цезия, а также значительно меньшим, чем относительный выход этих изотопов в результате аварии на ЧАЭС. В документе отмечается, что основной выброс радионуклидов из реакторов АЭС «Фукусима-1» был направлен в сторону океана. Неопределенность оценки значения самого выброса очень высока и оценивается не менее чем 10 раз.

Загрязнение вод Тихого океана радионуклидами происходило по двум путям: (а) в результате аварийного поступления, а также преднамеренного сброса радиоактивно загрязненной воды из поврежденных реакторов и хранилищ и (б) осаждения радионуклидов, выброшенных в атмосферу, на водную поверхность океана, а также на земную поверхность, откуда через речную систему радионуклиды попадали в океан. При этом согласно выполненным оценкам, в океан поступило по первому пути (3–6) ПБк ^{137}Cs и втрое больше ^{131}I, а по второму пути – 5 ПБк ^{137}Cs и 60 ПБк ^{131}I.

В документе подчеркивается, что каждый человек постоянно подвергается воздействию природного радиационного фона. Для большей части населения Японии эффективная годовая доза такого облучения в среднем составляет 2,1 мЗв, что несколько меньше усредненного по населению всего земного шара значения природного радиационного фона, который равен 2,4 мЗв в год.

Отмечено, что в результате аварийных выбросов АЭС «Фукусима-1», наибольшие дозы облучения получили жители, которые проживали в 20-километровой зоне (Футаба, Хироно, Намие, Нараха, Окума и Томоика) и в зоне добровольной эвакуации (Иитате, Кавамата и Катцуаро). Суммарные эффективные дозы от внутреннего и внешнего излучения для взрослого населения, эвакуированного 12 марта 2011 г., в среднем не превысили 5 мЗв за период времени до эвакуации, а для тех жителей, которые эвакуировались в более позднее время, оценки средних доз были ниже 10 мЗв. Оценки средних поглощенных доз в щитовидной железе (ЩЖ) у детей в возрасте до 1 года (для этой возрастной группы дозы в ЩЖ достигали наибольших значений) в рассматриваемом контингенте жителей не превысили 50 мГр. Необходимо подчеркнуть, что в целом население следовало рекомендованным контрмерам (эвакуация и укрытие), а также ограничивало потребление продуктов питания, которые могли содержать радионуклиды, выброшенные из аварийных реакторов. Проведенные оценки показали высокую эффективность перечисленных выше мер, принятых японскими регулирующими органами, в результате чего реализованные дозы оказались до 10 раз меньше тех, которые могли быть получены населением в отсутствии контрмер.

Для населения, проживающего в городах Фукусима, Корияма, Иваки, Нихонматсу и ряде других в префектуре Фукусима, оценки средних эффективных доз за первый год облучения составили около 4 мЗв для взрослых и 8 мЗв для детей в возрасте до 1 года. Если в будущем не будет принято никаких мер по ограничению облучения от выпавших радионуклидов, то средние эффективные дозы для жителей

упомянутых городов могут достигать 15 мЗв за всю жизнь. Средние эффективные дозы за первый год для других населенных пунктов в префектуре Фукусима оценивались 3 мЗв для взрослых и 5 мЗв для детей в возрасте 1 года.

Средние значения суммарных эффективных доз облучения за первый год после аварии жителей шести соседних префектур (Чиба, Гунма, Ибараки, Ивате, Мияги, Точиги) составили менее 1,5 мЗв для взрослых, и меньше 2,7 мЗв для детей в возрасте до 1 года. Для 40 остальных префектур Японии средние значения суммарных эффективных доз облучения за первый год не превысили 0,3 мЗв для взрослых и 0,5 мЗв для детей в возрасте до 1 года.

Суммарные эффективные дозы облучения населения соседних стран и остального мира за первый год облучения оказались не более 0,01 мЗв.

Важно отметить, что рабочая группа, готовившая документ, проводила расчеты доз внутреннего облучения населения, проживающего в префектуре Фукусима и соседних с ней префектурах, по моделям, предполагающим значимую пероральную компоненту поступления радионуклидов в организм. По-видимому, принятое предположение оказалось весьма консервативным, поскольку сравнение доз для одних и тех же жителей, рассчитанных по моделям миграции радионуклидов во внешней среде и полученных на основе результатов измерения содержания радионуклидов в организме, показало значительное завышение оценок доз, рассчитанных по моделям миграции: в 3–5 раз по дозам облучения ЩЖ от ^{131}I и до 10 раз по дозам облучения всего тела от инкорпорированных радиоактивных изотопов цезия.

К концу октября 2012 г. число лиц, привлеченных к ликвидации последствий аварии на АЭС «Фукусима-1», насчитывало 24575 чел., при этом около 15 % из них составили работники ТЕПКО, а остальные привлекались по контрактам. Распределение числа участников ликвидации аварии в зависимости от эффективных доз облучения, обусловленных выбросами из аварийных реакторов, приведено в табл. 1. Как следует из этой таблицы, превышение предела эффективной дозы облучения 250 мЗв, установленного японскими регулирующими органами для ограничения облучения участников работ, зафиксировано только у 6 работников (0,024 % от общего числа), в то время как абсолютное большинство работников (свыше 66 %) получили эффективные дозы облучения, не превышающие 10 мЗв. В документе отмечается, что у 6 работников с оценками доз свыше 250 мЗв основной вклад в суммарную дозу обусловлен внутренним облучением, прежде всего, излучением инкорпорированного ^{131}I. Согласно проведенным расчетам, у 12 работников поглощенная доза в щитовидной железе превысила 2 Гр, а максимальная оценка поглощенной дозы составила 12 Гр.

К сожалению, в документе фактически не были рассмотрены вопросы реабилитации загрязненных после аварии территорий. В Японии разработана и начала реализовываться программа реабилитации загрязненных угодий, прежде всего за счет дезактивации почвенно-растительного покрова (снятие и удаление верхнего слоя почвы толщиной 0–5 см). По расчетам специалистов МАГАТЭ, внедрение этого способа реабилитации должно привести (в масштабах дезактивации всей аварийной зоны) к образованию 5–29 млн тонн отходов. Это примерно равно объему твердых бытовых отходов, производимых в Японии в целом за год. Реализация таких принципов вызывает серьезные критические замечания, так как очевидны экологические и экономические проблемы обращения с указанными количествами загрязненной почвы (по существу, радиоактивных отходов).

На загрязненных угодьях, к сожалению, были предприняты попытки применить некоторые сельскохозяйственные защитные меры, низкая эффективность которых убедительно доказана при ликвидации последствий аварии на Южном Урале в 1957 г. (ПО «Маяк», Восточно-Уральский радиоактивный след) и аварии на ЧАЭС. Такими неэффективными

Таблица 1

Распределение числа участников ликвидации аварии в зависимости от эффективных доз облучения, обусловленных выбросами из аварийных реакторов.

Эффективная доза облучения, мЗв	Участники работ по ликвидации аварии		
	ТЕПКО	По контракту	Всего
>250	6 (0,17 %)	0	6 (0,024 %)
>100–250	140 (3,88 %)	21 (0,10 %)	161 (0,66 %)
>50–100	504 (13,98 %)	461 (2,20 %)	965 (3,93 %)
>10–50	1097 (30,44 %)	6051 (28,85 %)	7148 (29,08 %)
≤10	1857 (51,53 %)	14438 (68,85 %)	16295 (66,31 %)
Всего работников	3604 (100 %)	20971 (100 %)	24575 (100 %)
Средняя доза, мЗв	25	9,7	12
Максимальная доза, мЗв	680	240	680

приемами оказались фитомелиорация (отчуждение фитомассы), удаление лесной подстилки, обмывание стволов деревьев, удаление старых листьев и т.п. При обсуждении документа на 60-ой сессии НКДАР ООН члены российской делегации рекомендовали японским специалистам учесть опыт реабилитации сельскохозяйственных угодий в СССР (России).

В отношении возможных эффектов воздействия радиоактивных выбросов на биоту в документе отмечается, что на отдельных территориях в течение нескольких первых месяцев после аварии не исключена возможность превышения уровня мощности дозы, составляющего 100 мкГр $ч^{-1}$. Считается, что при значениях мощности дозы менее 100 мкГр $ч^{-1}$ какие-нибудь существенные эффекты у большинства видов наземной биоты маловероятны. Тем не менее, хотя и не ожидается популяционных эффектов облучения, нельзя исключить отдельных изменений у некоторых видов млекопитающих, но значимость таких изменений в целом для популяции не вполне ясна. Рассчитанные значения доз облучения представителей морской биоты также не дают оснований ожидать у них возможных популяционных эффектов.

В документе отмечается, что до 31 октября 2012 г. не зафиксировано ни одного случая смерти среди лиц, принимавших участие в ликвидации последствий аварии, которое бы связывалось с радиационным воздействием. Не ожидается никаких детерминированных эффектов в будущем, поскольку полученные дозы облучения находятся в диапазонах существенно ниже пороговых уровней для детерминированных эффектов.

Поскольку расчеты показывают, что дозы облучения населения за первый год и за всю жизнь либо низкие, либо очень низкие, то не ожидается выявления каких-то последствий для здоровья среди населения и его потомства. Наиболее значимые последствия для здоровья – психологическая травма, обусловленная последствиями землетрясения, цунами и радиационной аварией, а также страхи вследствие аварии. Уже наблюдаются такие симптомы, как депрессия и посттравматический стресс.

Дозы облучения у абсолютного числа участников ликвидации аварии не превышают 100 мЗв и только для 167 человек эти оценки более 100 мЗв. Однако возможные дополнительные риски стохастических эффектов для здоровья у этих лиц очень малы и находятся в пределах статистической флуктуации риска рака, что не позволит достоверно установить реализацию таких рисков.

В июне 2011 г. в префектуре Фукусима началось длительное 30-летнее наблюдение за состоянием здоровья всего населения (2,05 млн человек), которое проживало в период аварии в этой префектуре. Одним из компонентов такого наблюдения является проведение ультразвукового обследования ЩЖ у 360 тыс. детей, которые были в возрасте до 18 лет на момент аварии. Ожидается, что число выявленных случаев рака ЩЖ будет значительно выше, чем ранее обнаруженное, благодаря использованию высокоэффективного современного диагностического оборудования, позволяющего определять малые по размеру образования в ЩЖ. Уже в течение первого скрининга установлено повышенное число узелков, цист и раков, что является прямым подтверждением высокой эффективности используемого оборудования и не имеет никакого отношения к последствиям облучения. Проведение такого обследования является крайне важным для оценки «фонового» уровня заболеваемости и распространенности заболеваний ЩЖ.

Документ R.696 «Эффекты облучения у детей». В данном документе термин «дети» относится к лицам моложе 20 лет (младенцы, дети и подростки) и не рассматриваются эффекты внутриутробного облучения, детальное обсуждение которых дано ранее в других документах НКДАР ООН. Представлен подробный анализ последствий воздействия на детей в сопоставлении со взрослыми аварийного облучения, повышенного уровня радиационного фона, диагностических и терапевтических процедур. Представлены эффекты облучения, охватывающие широкий диапазон доз, мощностей доз облучения, как отдельных частей тела, так и всего организма в целом, а также детей разного возраста.

Одним из наиболее важных разделов документа является глава IV «Рак щитовидной железы у детей». Рак ЩЖ в детском возрасте – один из двух наиболее важных аргументов для эпидемиологического подкрепления теоретического положения НКДАР ООН и МКРЗ, что даже малые дозы редкоионизирующего излучения способны вызывать стохастические эффекты (второй аргумент в этом плане – это раки и лейкозы у детей, облученных *in utero*). Регистрация раков ЩЖ у детей, как полагают, в том числе при облучении в диапазоне малых доз, позволяет НКДАР ООН включать в свои документы следующее утверждение (R686. «Возможность приписать риски и эффекты облучению», 2012):

«В ситуациях облучения популяции в малых дозах любое увеличение частоты стохастических эффектов является настолько малым, что эпидемиологический анализ не может быть использован для определения увеличения такой частоты. Однако, если спонтанная частота стохастического эффекта чрезвычайно мала, а радиочувствительность соответствующего эффекта велика, то увеличение частоты этого стохастического

эффекта может быть реально установлено даже тогда, когда число случаев в популяции мало».

Раздел IV документа R.696, посвященный ракам ЩЖ у детей, несмотря на достаточно углубленный и квалифицированный анализ, все же не является столь же полным в этом плане, как некоторые предыдущие документы НКДАР (НКДАР-2000; НКДАР-2006; НКДАР-2008 [1–4]). В связи с этим российской делегацией были внесены многочисленные дополнения и уточнения, поданные в секретариат сессии.

Основные выводы документа R696 включают в себя:

– Как правило, для одной и той же дозы облучения у детей отмечается более высокий риск индукции опухоли, чем у взрослых. Рак, вызванный воздействием ионизирующего излучения на человека в детском возрасте, может возникнуть спустя как несколько лет, так и нескольких десятилетий после облучения. В докладе НКДАР ООН, подготовленном в 2006 г. и представленном на Генеральной Ассамблее ООН, отмечено, что оценки радиационного риска рака в течение всей жизни человека, облученного в детском возрасте, весьма неопределенны и могут быть в 2–3 раза выше, чем для населения в целом. Это заключение было основано на рассмотрении прогностической модели, охватывающей все виды опухолей.
– По итогам проведенного углубленного научного анализа отмечается, что образование опухолей у детей в сопоставлении со взрослыми варьирует и зависит от типа опухоли, возраста на момент облучения и пола. Термин «радиационная чувствительность» в отношении индукции рака применяется для оценки частоты образования радиогенных опухолей. В целом, для примерно 25 % всех типов опухолей дети имеют более высокую радиационную чувствительность, чем взрослые. Эти виды злокачественных новообразований включают лейкозы, рак ЩЖ, кожи, молочной железы, мозга.
– Для примерно 15 % видов опухолей (например, рак толстой кишки) у детей и взрослых выявлена приблизительно одинаковая радиационная чувствительность. Для приблизительно 10 % видов опухолей (например, рак легкого) дети демонстрируют меньшую чувствительность к внешнему ионизирующему излучению, чем взрослые. Для 20 % видов опухолей (например, рак пищевода) недостаточно данных, чтобы сделать достоверное заключение о сравнительной радиационной чувствительности. Наконец, для 30 % видов опухолей (например, болезнь Ходжкина, рак простаты, прямой кишки, матки) либо не выявлено наличие радиационного риска, либо наблюдается весьма слабая связь между дозой облучения и риском.
– До сих пор отсутствует статистически достоверная модель прогноза риска развития опухолей в течение жизни человека при облучении отдельных органов и тканей человека в детском возрасте. Используемые в настоящее время оценки не обеспечивают корректного описания известных зависимостей, и требуется проведение дополнительных исследований.

В документе R.696 подчеркивается, что в отношении детерминированных эффектов при больших дозах различия в последствиях облучения в детском и взрослом возрасте достаточно сложны, и могут быть объяснены взаимодействием различных тканей и путей облучения. Такие эффекты обнаруживаются после аварийного облучения или терапевтической процедуры. Радиационная чувствительность детей по сравнению со взрослыми к детерминированным эффектам в отдельных органах очень часто отличается от таковой при облучении в небольших дозах и образовании опухолей. В ряде случаев облучение в детском возрасте имеет более высокий риск, чем во взрослом возрасте (например, нарушение познавательных способностей, катаракты, узловые образования и рак ЩЖ). Для других случаев наблюдается приблизительно одинаковый риск (например, нейроэндокринная система), а в отдельных случаях ткани детей обладают меньшей радиационной чувствительностью, чем у взрослых (например, нарушение функционирования легочной системы, овуляции).

С учетом изложенного выше в отношении обсуждения сравнительного сопоставления радиационной чувствительности детей и взрослых Комитет рекомендует избегать обобщения и конкретизировать тип облучения, возраст на момент облучения, поглощенную дозу в рассматриваемой ткани и конкретный рассматриваемый эффект.

Проведено довольно много исследований, направленных на изучение возможных наследственных эффектов в результате облучения. Обобщение таких исследований дано в документе, подготовленном НКДАР ООН в 2001 г. Сделан общий вывод, что у человека не выявлено наследственных эффектов при облучении (прежде всего в исследованиях потомков лиц, подвергшихся атомной бомбардировке). За последнее десятилетие получены результаты исследований выживших после терапевтического вмешательства в детском возрасте по поводу рака, сопровождавшегося большими дозами на область гонад. Не выявлено существенного увеличения хромосомной нестабильности, минисателлитных мутаций, трансгенерационной геномной нестабильности, изменений в соотношении полов потомства, врожденных аномалий или повышенного риска развития рака у потомков облученных родителей.

В отношении внешнего облучения необходимо отметить, что из-за меньших размеров тела ребенка и меньшей толщины мягких тканей, покрывающих внутренние органы, при одних и тех же уровнях внешнего ионизирующего излучения поглощенные дозы во внутренних органах у детей будут больше, чем у взрослых. При радиоактивном загрязнении территории дозы внешнего облучения у детей будут больше, чем у взрослых вследствие меньшего роста. В случае медицинского облучения при одинаковых процедурах дети могут получать значительно большие дозы, чем взрослые, если технические параметры облучения специально не корректируются.

В отношении внутреннего облучения, наоборот, меньшие размеры тела ребенка и более близкое расположение органов друг к другу приводят к тому, что инкорпорированные радионуклиды, концентрирующиеся в отдельных органах и тканях, создают более высокие дозы, чем в организме взрослого человека. Вместе с тем, имеется большое число других факторов, зависящих от возраста, связанных с метаболизмом и физиологией и приводящих к существенным различиям в дозах внутреннего облучения в зависимости от возраста. Наибольшее внимание привлекают биологически значимые радионуклиды, такие как ^{131}I и ^{137}Cs. При поступлении в организм одинакового количества ^{131}I дозы в ЩЖ у младенцев в 8–9 раз превышают соответствующие дозы у взрослых, а в случае поступления ^{137}Cs дозы облучения мягких тканей у детей и взрослых будут близки.

Комитет отмечает, что требуется продолжение исследований по сравнительному анализу медицинских эффектов у детей и взрослых, выявлению механизмов действия ионизирующего излучения и радиационного риска при различных видах облучения. Актуальность этой проблемы по-прежнему сохраняется, поскольку в ряде проведенных эпидемиологических исследований (население, выжившее после атомной бомбардировки, дети, подвергшиеся облучению инкорпорированным радиойодом после аварии на ЧАЭС, пациенты, обследованные с помощью компьютерной томографии) еще не завершены наблюдения на протяжении всей жизни облученных лиц.

Документ R.697 «Методология оценки дозы облучения человека от радиоактивных сбросов». Основной целью разрабатываемого документа является обновление методологии оценки дозы облучения человека от выбросов и сбросов радиоактивных веществ ядерных объектов с учетом прошлых оценок НКДАР ООН и международной практики. Планируется расширить сферу применения методологии на оценки дозы от сбросов других (неядерных) источников производства электроэнергии. При этом оцениваются дозы от сбросов в штатных условиях эксплуатации объектов производства электроэнергии. Случаи аварийных выбросов и сбросов в данном документе не рассматриваются.

Проект документа включает следующие разделы: введение, основные положения, краткое описание проведенной работы по подготовке документа после 59-ой сессии НКДАР ООН, технические аспекты, план по завершению подготовки документа к 61 сессии НКДАР ООН, комментарии экспертов. В дополнение к проекту документа представлены рабочие материалы, в которых более детально рассмотрены некоторые технические аспекты.

В проекте документа изложены такие важные методические вопросы, как: примеры анализа чувствительности, список анализируемых радионуклидов, временной период интегрирования в оценке ожидаемой дозы, особенности рационов, распределение населения и др.

Среди некоторых аспектов разрабатываемого документа можно отметить следующие. Предлагаемая методология оценки принимает во внимание рекомендации МКРЗ (МКРЗ-101 [5] и МКРЗ-103 [6]), позволяющие осуществлять определенную дифференциацию коллективных доз на интервалы индивидуальных доз в зависимости от расстояния от источника и времени экспозиции. Кроме того, предполагается, что разрабатываемая методика будет универсальной, т.е., потенциально применимой ко всем качественно различным объектам, которых объединяет только одно свойство – загрязнение среды радиоактивными веществами. Важным также является то, что предусматривается оценка воздействий от объектов топливного цикла (как ядерных, так и неядерных) на всех этапах создания и функционирования, включая потери при добыче, транспортировке и при остановках систем. В этом плане необходимо отметить, что радиоактивные выбросы от АЭС в процессе работы несоизмеримо меньше, чем от станций, работающих на любом неядерном топливе (этот факт не раз использовался в качестве аргумента об относительной безопасности ядерной энергетики). Тем не менее, оценка потенциальной суммарной дозы от выбросов *на всех стадиях* функционирования объектов (начиная от добычи руды и ее транспортировки и заканчивая складированием отходов вкупе с окончательной остановкой и демонтажем объекта) демонстрирует, все же, обратную зависимость [7, 8].

Последний момент актуален также и для близкого по теме документа R.698 «Дозы облучения при производстве электроэнергии».

Предложено унифицировать форму представления названия радионуклидов, включить в анализ чувствительности в оценке дозы ^{14}C, упростить представление данных по параметрам рациона, устранить

повторы в изложении технических деталей, проверить оценку вклада в дозу облучения населения атмосферных выбросов ^{14}C для некоторых АЭС и др. Отмечалась важность гармонизации данного документа с другим документом R.698 «Дозы облучения при производстве электроэнергии».

Документ R.698 «Дозы облучения при производстве электроэнергии». Решение о целесообразности рассмотрения различных технологий производства электроэнергии (ядерная, тепловая (уголь, газ, нефть, биомасса), геотермальная, солнечная и ветровая) с точки зрения возможных радиационных воздействий на всем жизненном цикле каждой технологии было принято секретариатом Комитета в ноябре 2009 г.

В процессе обсуждения документа на 60-ой сессии НКДАР ООН высказаны замечания и предложения по его доработке. В частности, предложено унифицировать выбор высоты источников выбросов в документах R.697 и R.698, объяснить причины значительной неопределенности оценки дозы от угольных ТЭС, унифицировать способы представления дозы и размерности величин электроэнергии и др.

Документ R.699 «Биологические эффекты облучения отдельных инкорпорированных радионуклидов». В документе R.699 планируется представить биологические эффекты, обусловленные внутренним облучением ряда инкорпорированных радионуклидов, в первую очередь, трития и урана (в 2014 г.), затем цезия и стронция (в 2015 г.).

В разделе по тритию представлены результаты экспериментальных исследований и отдельные сведения о биологических эффектах, опубликованные, в том числе, и российскими исследователями. Представляют несомненный интерес результаты последних зарубежных исследований. В этом плане полезно отметить не всегда принимаемый во внимание факт значительно большей (в 3–4 раза для опытов *in vitro*) ОБЭ для -излучения трития по сравнению с -излучением (^{60}Co и -излучение с энергией в 2–5 МэВ) [9]. О данном факте говорилось и участниками 60-сессии НКДАР ООН. Так, N. Harley из США отметила, что, хотя в разрабатываемом документе имеется относительно слабое освещение воздействий от трития в окружающей среде, принятие НКДАР ООН значения «2» для ОБЭ трития уже является значительным прогрессом.

В связи с изложенным выше выводы, сделанные Комитетом в отношении биологических эффектов внутреннего облучения от трития, следует рассматривать как весьма важные для принятия управленческих решений, касающихся радиационной защиты персонала и населения.

Российская делегация поддержала включение в документ разделов по цезию и стронцию, как наиболее приоритетных радионуклидов для населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях. Сравнение собственных оценок с другими оценками, представленными в документе, имеет важное значение для принятия управленческих решений по радиационной безопасности и защите на основе научно-доказанной базы, подготовленной Комитетом.

Документ R.700 «Эпидемиологические исследования воздействия на население природного и техногенного облучения при низких мощностях доз». Этот проект продолжает выполняться исследователями Японии, России, Индии и Китая. Проводится сравнительный анализ канцерогенного риска (солидные опухоли и лейкозы) в нескольких когортах, члены которых подвергались длительному радиационному воздействию (река Теча, жители регионов Индии и Китая с повышенным естественным радиационным фоном, а также население, проживавшее на Тайване в зданиях, железобетонные конструкции которых были в начале 1980-х гг. загрязнены ^{60}Co).

Данные, рассматриваемые в документе R.700, свидетельствуют, что применительно к когортам, подвергавшимся воздействию повышенного естественного радиационного фона, за в последнее время были выявлены эффекты, принципиально отличающиеся от полученных ранее закономерностей. Так, для лиц, проживающих при повышенном естественном радиационном фоне, ранее не удавалось зарегистрировать увеличение частоты каких-либо стохастических эффектов, что отмечалось в большом числе публикаций, например, в [10–13]. Однако недавно было показано достоверное учащение лейкозов при естественной радиационном фоне в штате Керала (Индия) [14] и в китайской провинции Янцзян (Yangjitang) [15]. Равным образом, для упомянутого выше населения, проживающего на Тайване (средняя накопленная доза 48 мГр), в последние годы сообщалось об учащении, по крайней мере, лейкозов (информация же для раков различна в двух работах 2006 и 2008 гг.) [16, 17].

Эти публикации анализируются в R.700, в то же время оценка атрибутивности названных эффектов именно радиационным факторам еще ожидает, вероятно, своего углубленного исследования.

В документе R700 представлены результаты исследований в бассейне реки Течи. Результаты дозиметрических исследований в Японии и Индии рекомендовано представить более полно.

Документ R.701 «Совершенствование оценок доз медицинского облучения». Дозы медицинского облучения населения постоянно растут в связи с прогрессом в методах медицины и стоматологии, поэтому данная проблема является весьма важной в плане обеспечения радиационной защиты. Действительно, в настоящее время дозы медицинского облучения вносят

существенный вклад в суммарную годовую дозу облучения населения. К примеру, в США при средней годовой дозе облучения, равной 6 мЗв, половина этой дозы (3 мЗв) формируется за счет медицинского облучения [18, 19]. Равным образом, оцененные дозы от рентгенодиагностики и ядерной медицины на Западе составляют порядка 3 мЗв на человека в год, что сопоставимо с риском 150-ти рентгенографий грудной клетки [20].

Семикратный рост коллективной дозы за счет медицинского облучения в США в течение относительно короткого периода времени вызван, преимущественно, все большим применением компьютерной томографии [21]. Хотя органные дозы однократного сканирования и находятся в пределах нескольких миллигрей, многие пациенты подвергаются многократным процедурам. В результате органные дозы варьируют в диапазоне от 5 до 100 мЗв, что перекрывает диапазон доз, полученных в Хиросиме и Нагасаки теми пострадавшими, для которых был выявлен хотя и слабый, но значимый риск учащения раков [21, 22].

Помимо западных стран, тренд увеличения частоты медицинской рентгенодиагностики показан, к примеру, для Тайваня, где этот показатель в период с 1997 по 2008 гг. увеличился в 1,5–2,3 раза для разных процедур [23]. По оценкам, данным в 2010 г., ежегодно в мире проводится порядка 3,6 миллиардов рентгенодиагностических исследований (включая медицинские и стоматологические) [24].

Перечисленное выше свидетельствует о несомненной актуальности разрабатываемого документа R.701. Конечно, данное сообщение не является исключительным. Вопросу о медицинском облучении посвящены разделы во многих международных документах, связанных с воздействием в малых дозах и/или при низких мощностях доз. Так, в Публикацию 99 МКРЗ включена обширная таблица с дозами медицинского диагностического воздействия для различных процедур в США [25]; Публикация 103 МКРЗ [6] содержит целый раздел по медицинскому облучению. Такая же картина наблюдается для BEIR-VII [26]. НКДАР ООН за десять с небольшим лет издал обширные, на сотни страниц, приложения по различным аспектам медицинского облучения [23, 27], в последнем из которых (2010) представлена историческая сводка для таких документов. Всего НКДАР ООН рассматривал проблемы медицинского облучения не менее семи раз, начиная с 1977 г. и заканчивая 2010-м г. (см. в [23]). Во всех таких документах НКДАР ООН была установлена годовая частота медицинских радиологических процедур и оценены соответствующие накопленные дозы. Таким образом, настоящий разрабатываемый документ R.701 продолжает начатые задолго до этого экспертные обобщения НКДАР и будет являться уже восьмым подобным сообщением.

В этой ситуации, когда объем соответствующей информации растет, вероятно, в геометрической прогрессии, особую актуальность приобретает создание медицинских баз данных об уровнях медицинского облучения. В документе рассмотрены электронные носители информации и обоснована необходимость создания рабочей группы экспертов. Проработан вопрос о формализованном опроснике, который должен заполняться на национальном уровне.

На заключительном пленарном заседании 60-ой сессии НКДАР ООН были подведены итоги обсуждения представленных научных документов и принят за основу проект доклада Комитета, который планируется представить на сессии Генеральной Ассамблеи ООН осенью 2013 г. Председатель НКДАР ООН Карл-Магнус Ларсон объявил, что следующая 61-я сессия НКДАР ООН состоится в Вене с 26 по 30 мая 2014 г.

Заключение

В работе 60-ой сессии НКДАР ООН (27–31 мая 2013 г.) принимали участие делегации из 27 стран-членов НКДАР ООН и представители 9 международных организаций. Российская делегация включала 12 специалистов. Повестка дня предусматривала работу с семью документами, но только два из них рассматривались подробно в течение всей сессии. Это документы R.695 «Уровни и эффекты облучения, обусловленного ядерной аварией после Великого восточно-японского землетрясения и цунами 2011 года» и R.696 «Эффекты облучения у детей».

В документе R.695 «Уровни и эффекты облучения, обусловленного ядерной аварией после Великого восточно-японского землетрясения и цунами 2011 года» отмечено, что аварии на АЭС «Фукусима-1» присвоен максимальный 7-ой уровень по международной шкале ИНЕ С. Согласно проведенным оценкам, выброс из аварийных реакторов АЭС «Фукусима-1» таких радиационно-значимых радионуклидов как ^{131}I и ^{137}Cs составил 100–500 ПБк и 6–20 ПБк, соответственно, что примерно в 10 раз меньше выброса после аварии на ЧАЭС.

Согласно проведенным расчетам, наибольшие дозы облучения получили жители, которые проживали в 20-километровой зоне АЭС «Фукусима-1» и в зоне добровольной эвакуации. Суммарные эффективные дозы от внутреннего и внешнего излучения для взрослого населения, эвакуированного 12 марта 2011 г., в среднем не превысили 5 мЗв за период времени до эвакуации, а для тех жителей, которые эвакуировались в более позднее время, оценки средних доз были ниже 10 мЗв. Оценки средних поглощенных

доз в ЩЖ у детей в возрасте до 1 года (для этой возрастной группы дозы в ЩЖ достигали наибольших значений) в этом контингенте жителей не превысили 50 мГр.

К концу октября 2012 г. число лиц, привлеченных к ликвидации последствий аварии на АЭС «Фукусима-1», насчитывало 24575 человек. Превышение предела эффективной дозы облучения 250 мЗв, установленного японскими регулирующими органами для ограничения облучения участников работ, зафиксировано только у 6 работников (0,024 % от общего числа), в то время как абсолютное большинство работников (свыше 66 %) получили эффективные дозы облучения, не превышающие 10 мЗв. В документе отмечается, что у 6 работников с оценками доз свыше 250 мЗв основной вклад в суммарную дозу обусловлен внутренним облучением, прежде всего, излучением инкорпорированного ^{131}I. Согласно проведенным расчетам у 12 работников поглощенная доза в щитовидной железе превысила 2 Гр, а максимальная оценка поглощенной дозы составила 12 Гр.

Не ожидается выявления каких-то последствий для здоровья среди населения и его потомства. Наиболее значимые последствия для здоровья – психологическая травма, обусловленная последствиями землетрясения, цунами и радиационной аварией, а также страхи вследствие аварии. Уже наблюдаются такие симптомы, как депрессия и посттравматический стресс. Не обнаружено и не ожидается никаких детерминированных эффектов ни у участников ликвидации аварии ни у лиц из населения. Возможные дополнительные риски стохастических эффектов для здоровья участников ликвидации аварии очень малы и находятся в пределах статистической флуктуации риска рака, что не позволит достоверно установить реализацию таких рисков.

Для документа R696 «Эффекты облучения у детей» основным направлением являлась оценка радиационной чувствительности детей в сопоставлении со взрослыми. Отмечалось, что риск индукции опухолей у детей, как правило, более высок, чем у всего населения в целом. Объемный документ R696 подготовлен на академическом уровне и включает практически все эффекты радиационного воздействия, как стохастические, так и детерминированные. Материал представлен в аспекте воздействия на детский организм.

Следующая, 61-я сессия НКДАР ООН, состоится в Вене с 26 по 30 мая 2014 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Annex I. Epidemiological evaluation of radiation-induced cancer. United Nations. – New York, 2000, P. 297–450.
2. United Nations. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Annex J. Exposures and Effects of the Chernobyl Accident, New York, 2000, P. 451–566.
3. United Nations. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex A. Epidemiological studies of radiation and cancer. United Nations. New York, 2008, P. 17–322.
4. United Nations. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Annex D. Health effects due to radiation from the Chernobyl accident. United Nations. New York, 2011, P. 47–219.
5. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 101. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and the optimisation of radiological protection: broadening the process // Annals of the ICRP. Elsevier, Oxford, 2006, 36, No. 3.
6. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Annals of the ICRP. Elsevier, Oxford, 2007, **37**, No. 2–4.
7. *Киселев М.Ф., Азизова Т.В., Аклеев А.В. и соавт.* О работе 59-й сессии Научного комитета по действию атомной радиации ООН (НКДАР ООН) (Вена, 21–25 мая 2012 г.) // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2012, 57, No. 5, С. 11–19.
8. *Алексахин Р.М.* О 59-й сессии Научного комитета ООН по действию атомной радиации. // Радиац. биология. Радиоэкология, 2012, 52, No. 5, С. 557–560.
9. *Hunter N., Muirhead C.R.* Review of relative biological effectiveness dependence on linear energy transfer for low-LET radiations. // J. Radiol. Prot., 2009, **29**, No. 1, P. 5–21.
10. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 99. Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk. Annals of the ICRP. Ed. by *J. Valentin*. Amsterdam — New-York: Elsevier, 2006, 147 p.
11. *Кузин А.М.* Радиационный гормезис. // В кн.: Радиационная медицина. Под ред. *Л.А. Ильина*. Т. 1. Теоретические основы радиационной медицины. – М.: Изд. АТ, 2004, С. 861–871.
12. *Булдаков Л.А., Калистратова В.С.* Радиационное воздействие на организм положительные эффекты. – М.: Информ-Атом, 2005, 246 с.
13. *Boice J.D., Jr., Hendry J.H., Nakamura N. et al.* Low-dose-rate epidemiology of high background radiation areas. // Radiat. Res., 2010, **173**, No. 6, P. 849–854.

14. *Nair R.R., Rajan B., Akiba S.et al.* Background radiation and cancer incidence in Kerala, India-Karanagappally cohort study. // Health Phys., 2009, **96**, No. 1, P. 55–66.
15. *Tao Z., Akiba S., Zha Y. et al.* Cancer and non-cancer mortality among inhabitants in the high background radiation area of Yangjiang, China (1979–1998). // Health Phys., 2012, **102**, No. 2, P. 173–181.
16. *Hwang S.L., Guo H.R., Hsieh W.A. et al.* Cancer risks in a population with prolonged low dose-rate gamma-radiation exposure in radiocontaminated buildings, 1983–2002. // Int. J. Radiat. Biol., 2006, **82**, No. 12, P. 849–858.
17. *Hwang S.L., Hwang J.S., Yang Y.T. et al.* Estimates of relative risks for cancers in a population after prolonged low-dose-rate radiation exposure: a follow-up assessment from 1983 to 2005. // Radiat. Res., 2008, **170**, No. 2, P. 143–148.
18. *McDonald J.C.* Too much of a good thing? // Radiat. Prot. Dosimetry, 2009, **134**, No. 1, P. 1–2.
19. *Martin C.J., Sutton D.G., West C.M., Wright E.G.* The radiobiology/radiation protection interface in healthcare // J. Radiol. Prot., 2009, **29**, No. 2A, P. A1–A20.
20. *Latini G., Dipaola L., Mantovani A., Picano E.* Reproductive effects of low-to-moderate medical radiation exposure. // Curr. Med. Chem., 2012, **19**, No. 36, P. 6171–6177.
21. *Hall E.J., Metting N., Puskin J., Ron E.* Low dose radiation epidemiology: What can it tell us? // Radiat. Res., 2009, **172**, No. 1, P. 134–138.
22. *Preston D.L, Ron E., Tokuoka S. et al.* Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. // Radiat. Res., 2007, **168**, No. 1, P. 1–64.
23. *Chen T.R., Tyan Y.S., Teng P.S. et al.* Population dose from medical exposure in Taiwan for 2008. // Med. Phys., 2011, **38**, No. 6, P. 3139–3148.
24. United Nations. UNSCEAR 2010. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Volume I. Annex A. Medical radiation exposures. United Nations. New York, 2010, P. 23–220.
25. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 99. Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk. Annals of the ICRP. Ed. by *J. Valentin*. – Amsterdam–New-York: Elsevier, 2006, 147 pp.
26. BEIR VII Report 2006. Phase 2. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council. (http://www.nap.edu/catalog/11340.html).
27. United Nations. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Annex D. Medical radiation exposures. United Nations. New York, 2000, P. 295–495.

Поступила: 02.07.2013.
Принята к публикации: 03.07.2013.

СОВЕЩАНИЕ, ПОСВЯЩЕННОЕ ПЕРСПЕКТИВАМ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ. Майнц, Германия, 1–4 июля 2013 г.

IAEA TM on Research Reactor Users Networks(RRUNs): advances in neutron therapy, 1–4 July 2013, Mainz, Germany

Под эгидой секретариата Международного Агентства по Атомной энергетике (МАГАТЭ) состоялся Технический форум, в котором приняли участие исследователи из стран Европы, Азии и Америки. Совещание проходило в университете имени Иоганна Гутенберга в г. Майнце.

Цель совещания – представить на форуме материалы по исследованиям в области применения нейтронной терапии злокачественных новообразований по разделам: настоящий статус, обсуждение существующих проблем, обмен практическим опытом в использовании нейтронного излучения в терапии рака как на ускорителях, так и на исследовательских реакторах, а также планы будущих разработок в области применения нейтронного излучения.

Особое внимание на совещании решено было уделить следующим вопросам: оценке технических характеристик исследовательских реакторов и циклотронов для проведения Бор – нейтрон – захватной терапии (БНЗТ) и терапии быстрыми нейтронами. В совещании принимали участие исследователи из 14 стран, членов МАГАТЭ, которые представили 29 докладов. От Австрии, Англии, Аргентины, Чехии, Индонезии и Польши участники совещания сделали по одному докладу. Исследователи из Бразилии – два доклада, немецкие ученые – 9 сообщений из различных научных учреждений Германии: Майнца, Марбурга, Ессена, Мюнхена. Из Италии было два доклада, из Японии – 3, от России и США по два сообщения.

Россию представляли: А.А. Липенгольц сотрудника Национального исследовательского Ядерного Университета (МИФИ) Москва, а из Томска В.М. Головков с сотрудниками Национально-Исследовательского Политехнического Университета и Научно-исследовательского института онкологии Сибирского отделения Академии медицинских наук. За 4 дня форума состоялось 6 заседаний, на которых были представлены 29 докладов. В последний день форума состоялась дискуссия, было выработано резюме и рекомендации по материалам совещания.

Заседание форума открыл представитель IAEA – Danas Ridikas (отделение физических и химических наук), который осветил деятельность МАГАТЭ, связанную с использованием исследовательских реакторов и цели настоящего совещания. Наибольшее число докладов – 20 из 29, заслушанных на совещании, было посвящено различным вопросам, связанным с БЗНТ.

В докладе W. Sauerwein, Германия, обоснованы четкие показания для назначения нейтрон – захватной терапии, а также необходимость точной регистрации и составления отчетности в условиях её проведения. Автором отмечено, что существует срочная необходимость введения стандартизации всех этапов при использовании БНЗТ. Во втором докладе шла речь об усилении терапевтического воздействия быстрых нейтронов путем введения в область опухоли препаратов B-10 или Li-6, которые поглощают тепловые нейтроны, возникающие в ткани опухоли после замедления быстрых нейтронов. Выполнены эксперименты на культуре клеток.

В докладах A. Matsumura и O. Koji – исследователей из Японии – БНЗТ проводится в первом случае на нейтронном источнике, основанного на ускорителе, во втором – начаты клинические исследования БНЗТ на нейтронном генераторе, основанного на малогабаритном циклотроне в Киотском Университете.

Доклад А.А Липенгольц (Россия) по нейтрон-захватной терапии на исследовательском реакторе МИФИ был посвящен доклиническим результатам и будущим перспективам в условиях применения этого метода в клинической практике.

Сообщение T. Kroc и сотрудников (США) было посвящено чрезвычайно важной проблеме – прогрессу радиобиологических исследований в области нейтронной терапии.

Из клинических докладов следует отметить сообщение из Германии B.Al-Nawas, который осветил проблему применения комбинированных методов в лечении рака головы и шеи.

Привлек к себе внимание доклад исследователей из Томска В.М. Головкова, В.А. Лисина, Л.И. Му-

сабаевой и соавторов, в котором был представлен 30-летний опыт применения нейтронной терапии на циклотроне U-120 Томского Политехнического Университета. На конкретных примерах отдельных онкологических больных, наблюдавшихся в течение 7–10 летнего периода после проведения нейтронной терапии, была показана возможность эффективного лечения быстрыми нейтронами энергией 6,3 МэВ на циклотроне, что позволяет проводить клинические исследования в избранном направлении.

В резюме совещания рекомендовано продолжать научные исследования и разработки как в области БНЗТ, так и в области применения быстрых нейтронов с целью получения новых данных, которые послужат успешному применению нейтронного излучения на практике. В своих выступлениях участники совещания отметили большую пользу проведенного форума для научных исследований по обсуждаемой проблеме, а организаторы, в свою очередь, выразили глубокую благодарность всем ее участникам за высокий уровень подготовки и проведения этого важного мероприятия.

В.А.Головков, Л.И. Мусабаева

Поступила: 02.07.2013.
Принята к публикации: 03.07.2013.

К ШЕСТИДЕСЯТИЛЕТИЮ ЛАБОРАТОРИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

60-th Anniversary of the Laboratory of Individual Protective Means for Personnel of Hazardous Enterprises

Направление работ по созданию и развитию системы и средств индивидуальной защиты (СИЗ) персонала опасных производств развивается в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (ранее – Институт биофизики) более 60 лет. Из созданной в начале 1950-х годов небольшой группы средств индивидуальной защиты под руководством Семена Михайловича Городинского выросла лаборатория, а затем и крупный научно-исследовательский отдел средств индивидуальной защиты. На первом этапе в становлении этого научно-практического направления активную роль сыграл академик АМН СССР Август Андреевич Летавет, в то время директор НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний. В дальнейшем лаборатория тесно сотрудничала с академиком Игорем Васильевичем Петряновым-Соколовым и возглавляемой им в НИФХИ им. Л.Я. Карпова лабораторией.

С самого основания главной особенностью работы лаборатории явился тесный союз науки и практики. Специалисты лаборатории постоянно взаимодействуют с различными научно-исследовательскими организациями, предприятиями – производителями СИЗ, а также с предприятиями атомной промышленности и энергетики – первыми и основными заказчиками и потребителями СИЗ, разработанных лабораторией.

При активном участии специалистов лаборатории в СССР была создана достаточно стройная система обеспечения безопасности и качества СИЗ. Первым крупным достижением лаборатории явилось создание в первой половине 1950-х годов в содружестве с НИФХИ им. Л.Я. Карпова легкого респиратора «ШБ-1 Лепесток». Название этого изделия составлено из первых букв фамилий основных разработчиков: Шатского Сергея Николаевича (Институт биофизики) и Басманова Петра Иосифовича (НИФХИ им. Л.Я. Карпова). За разработку и внедрение респиратора «ШБ-1 Лепесток» коллектив ученых во главе с И.В Петряновым-Соколовым. и С.М. Городинским был удостоен Ленинской премии.

С начала промышленного выпуска этого респиратора до настоящего времени выпущено около 6 миллиардов экземпляров. Сейчас респиратор «ШБ-1 Лепесток» применяется практически во всех отраслях промышленности, в энергетике, сельском хозяйстве, в медицине и других отраслях. Для промышленного выпуска респираторов уже более 50 лет успешно используется полуавтомат «КГ-1», названный по первым буквам фамилий его создателей: Кобылкина Артемия Федоровича и Городинского Семена Михайловича.

Рис. 1. Основатель лаборатории средств индивидуальной защиты Семен Михайлович Городинский (1923–1981)

Рис. 2. Первые сотрудники лаборатории СИЗ: Шатский С.Н., Сарычев В.С., Щербаков В.Л., Носова Л.М., Городинский С.М., Четверикова З.С.

Рис. 3. Создатели респиратора «ШБ-1 Лепесток» (слева направо): Шатский Сергей Николаевич, Басманов Петр Иосифович, Петрянов-Соколов Игорь Васильевич, Городинский Семен Михайлович

Очень важным достижением лаборатории явилось создание материалов, конструкций, технологии изготовления и внедрения в практику многоразовых, дезактивируемых, физиологически приемлемых изолирующих костюмов, шланговых СИЗ органов дыхания, а также дезактивируемой основной и дополнительной спецодежды и спецобуви для персонала атомной промышленности и энергетики. До настоящего времени широко применяются в атомной отрасли пневмокостюмы типа ЛГ (названные в честь руководителей разработки – А.А. Летавета и С.М. Городинского). В названии других СИЗ: пневмошлема ЛИЗ-4 и пневмомаски ЛИЗ-5, использовано название лаборатории-разработчика «Лаборатория индивидуальной защиты» Института биофизики.

Специалисты лабораторий отдела СИЗ принимали активное участие в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, обеспечивали решение сложных научно-практических проблем по организации системы индивидуальной защиты ликвидаторов, производства в нужном количестве СИЗ, соответствующих условиям труда, а также решали вопросы проведения дезактивационных работ.

С началом политических и экономических реформ в России система индивидуальной радиационной защиты персонала потребовала коренного реформирования. С развитием различных форм собственности стали невозможными разработка, производство и внедрение СИЗ по решению директивных органов. Значительная часть промышленных пред-

Рис. 4. Пневмокостюм ЛГ-5Б

Рис. 5. Пневмошлем ЛИЗ-4

Рис. 6. Пневмомаска ЛИЗ-5

Рис. 7. Изолирующий костюм КЗ-УЛ

Рис. 8. Комбинезон из нетканого ламинированного материала

Рис. 9. Противогаз АВИ

приятий, производивших материалы и комплектующие для производства СИЗ, осталась за пределами России в бывших советских республиках, и во многих случаях они прекратили свою деятельность или изменили ассортимент выпускаемой продукции. Российские производители СИЗ также переживали большие трудности, обусловленные прекращением государственного финансирования производства СИЗ, акционированием предприятий и недостаточными объемами заказов предприятий – потребителей СИЗ. В результате стихийных реорганизаций была утрачена значительная часть научного потенциала в области индивидуальной защиты.

Возрождение лаборатории СИЗ было начато в 1996 году благодаря активной позиции директора Института биофизики Л.А. Ильина, его заместителя О.А. Кочеткова и при значительной финансовой помощи Министерства (позднее – Агентства и Государственной корпорации) Российской Федерации по атомной энергии. Решению накопившихся проблем в области обеспечения персонала атомной отрасли качественными и высокоэффективными средствами индивидуальной защиты в апреле 2001 года было посвящено заседание коллегии Минатома России. Коллегия одобрила подготовленный специалистами лаборатории проект «Отраслевой программы работ по средствам индивидуальной защиты персонала всех предприятий и АСФ Минатома» и рекомендовала обеспечить ее финансирование. Программа была утверждена приказом Министра от 30.10.2001 № 588.

Выполнение программы дало большие научные и практические результаты. На новой нормативно-правовой основе, соответствующей реалиям рыночной экономики, была создана современная нормативно-методическая база – санитарные правила, методические указания, руководства, национальные и межгосударственные стандарты, типовые отраслевые нормы выдачи СИЗ, табели оснащения аварийно-спасательных формирований и др.

Специалистами лаборатории под руководством В.И. Рубцова в содружестве с различными научными и производственными организациями были разработаны и внедрены в производство новые высокоэффективные СИЗ – изолирующий костюм КЗ различных модификаций, защитная одежда из ламинированных материалов, высокоэффективные СИЗ органов дыхания, в т.ч. с принудительной подачей очищенного воздуха.

Одним из важнейших практических направлений деятельности лаборатории является обеспечение функционирования сертификационного испытательного центра «Индивидуальная защита». Впервые этот центр был аккредитован в 1993 г. В настоящее время сертификационный испытательный центр аккредитован на новой нормативно-методической и приборной базе (Аттестат аккредитации испытательной лаборатории (центра) № РОСС RU.0001.21СЩ11, действителен до 17 мая 2015 г.).

С 1953 г. лаборатория СИЗ обеспечивала функционирование Института биофизики в качестве головной организации по средствам индивидуальной защиты в Минсредмаше СССР. Последняя редакция Положения о головной организации была утверждена руководством ФУМБЭП и Минатома России в 1997 г. В 2009 г. в связи с ликвидацией в законодательстве понятия «головная организация» и изменением

статуса и названия ряда федеральных органов управления на базе лаборатории создан Научно-экспертный испытательный центр технической поддержки «Индивидуальная защита». Положение о НЭИЦТП утверждено приказом ФМБА России от 09.02.2009 г. № 60 и согласовано Госкорпорацией «Росатом». Научные сотрудники лаборатории аккредитованы ФМБА России в качестве экспертов.

С учетом признанного авторитета специалистов ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в основных дивизионах ГК «Росатом» установлен порядок, в соответствии с которым к участию в конкурсах на поставку СИЗ допускаются только производители, продукция которых получила положительное экспертное заключение ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

Специалисты лаборатории принимали активное участие в разработке технических регламентов «О безопасности средств индивидуальной защиты». Вначале был разработан и в 2009 г. утвержден российский технический регламент, однако он так и не вступил в действие, поскольку в этот момент началось формирование нормативно-правовой базы Таможенного союза. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты» ТР ТС 019/2011 утвержден Решением комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 878 и вступил в действие с 1 июня 2012 г. При участии специалистов лаборатории разработаны также «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» (утверждены Решением комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 года № 299) и еще целый ряд нормативных документов Таможенного союза.

Следует иметь ввиду, что технический регламент ТС 019/2011 в принципе не может обеспечить правильный выбор средств индивидуальной защиты персонала опасных производств с учетом специфики присутствующих на них вредных и опасных факторов. Дело в том, что технический регламент – это общий документ, определяющий только основные минимальные требования к СИЗ для персонала производств всех отраслей, поэтому он не содержит детализации этих требований к СИЗ персонала отдельных особо опасных производств. Но СИЗ, пригодные для персонала предприятий, на которых нет особо опасных вредных и опасных факторов (например, цементная или мукомольная промышленность), непригодны для особо опасных объектов атомной промышленности и энергетики, на которых нужна защита от воздействия высокотоксичных радиоактивных веществ и ионизирующих излучений, а также аварийно-химически опасных веществ.

Существенную роль при разработке и утверждении Технического регламента ТС 019/2011 сыграло то, что это осуществлялось методом консенсуса трех государств, часто на основе европейских норм, принимаемых также методом консенсуса, поэтому в него не могли быть включены многие действовавшие в России подходы к осуществлению контроля и надзо-

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

№ 004257

АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ (ЦЕНТРА)

№ РОСС RU.0001.21СЩ11

НАСТОЯЩИЙ АТТЕСТАТ ВЫДАН ФЕДЕРАЛЬНОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ УЧРЕЖДЕНИЮ

«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ БИОФИЗИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ИМЕНИ А.И. БУРНАЗЯНА» ОГРН 1087746355498

Российская Федерация, 123182, город Москва, улица Живописная, д. 46

И УДОСТОВЕРЯЕТ, ЧТО ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ЗАЩИТА»

Российская Федерация, 123182, город Москва, улица Живописная, д. 46

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025–2006 (ИСО/МЭК 17025:2005)

АККРЕДИТОВАН(А) НА ТЕХНИЧЕСКУЮ КОМПЕТЕНТНОСТЬ И НЕЗАВИСИМОСТЬ

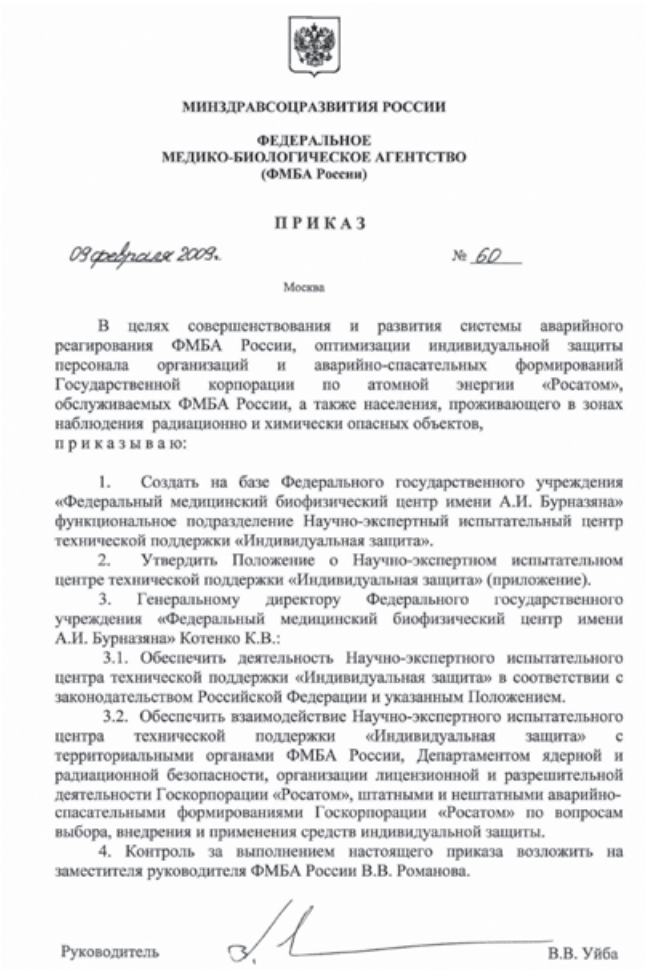
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ИСПЫТАНИЯМ В СООТВЕТСТВИИ С ОБЛАСТЬЮ АККРЕДИТАЦИИ.
ОБЛАСТЬ АККРЕДИТАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНА В ПРИЛОЖЕНИИ К НАСТОЯЩЕМУ АТТЕСТАТУ И ЯВЛЯЕТСЯ ЕГО НЕОТЪЕМЛЕМОЙ ЧАСТЬЮ.

СРОК ДЕЙСТВИЯ АТТЕСТАТА АККРЕДИТАЦИИ с 17 мая 2010 г. по 17 мая 2015 г.

М.П.

Руководитель (заместитель Руководителя) органа по аккредитации Е.Р. Петросян

Рис. 10. Аттестат аккредитации сертифицированного испытательного центра «Индивидуальная защита»



МИНЗДРАВСОЦРАЗВИТИЯ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО
(ФМБА России)

ПРИКАЗ

09 февраля 2009. № 60

Москва

В целях совершенствования и развития системы аварийного реагирования ФМБА России, оптимизации индивидуальной защиты персонала организаций и аварийно-спасательных формирований Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», обслуживаемых ФМБА России, а также населения, проживающего в зонах наблюдения радиационно и химически опасных объектов,
п р и к а з ы в а ю:

1. Создать на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» функциональное подразделение Научно-экспертный испытательный центр технической поддержки «Индивидуальная защита».
2. Утвердить Положение о Научно-экспертном испытательном центре технической поддержки «Индивидуальная защита» (приложение).
3. Генеральному директору Федерального государственного учреждения «Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Котенко К.В.:
3.1. Обеспечить деятельность Научно-экспертного испытательного центра технической поддержки «Индивидуальная защита» в соответствии с законодательством Российской Федерации и указанным Положением.
3.2. Обеспечить взаимодействие Научно-экспертного испытательного центра технической поддержки «Индивидуальная защита» с территориальными органами ФМБА России, Департаментом ядерной и радиационной безопасности, организации лицензионной и разрешительной деятельности Госкорпорации «Росатом», штатными и нештатными аварийно-спасательными формированиями Госкорпорации «Росатом» по вопросам выбора, внедрения и применения средств индивидуальной защиты.
4. Контроль за выполнением настоящего приказа возложить на заместителя руководителя ФМБА России В.В. Романова.

Руководитель В.В. Уйба

Рис. 11. Приказ ФМБА России о создании научно-экспертного испытательного центра «Индивидуальная защита»

ра за качеством, эффективностью СИЗ, за проверкой соответствия СИЗ условиям труда как при нормальной эксплуатации, так и при возможных авариях. Поэтому можно констатировать, что многие СИЗ, прошедшие сертификацию на соответствие требований технического регламента ТС 019/2011, не могут применяться на особо опасных производствах.

Выходом из сложившейся ситуации является разработка стандартов организации для особо опасных производств, что соответствует положениям Федерального закона «О техническом регулировании». Если говорить о СИЗ персонала, работающего с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, то наилучшим вариантом является создание Стандарта организации Госкорпорации «Росатом». Но это – задача на ближайшее будущее, в настоящее время она частично реализована в виде Стандарта организации ОАО «Концерн Росэнергоатом» – СТО 1.1.1.04.008.0790-2009. Комплекс средств индивидуальной защиты персонала. Общие медико-технические требования (утвержден Приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 14.05.2009 № 500). Требования к СИЗ, установленные данным стандартом организации, превышают требования технического регламента ТС 019/2011 и многих международных и межгосударственных стандартов.

Лаборатория постоянно ведет и пополняет базу данных по различным аспектам системы индивидуальной защиты персонала, содержащую актуальную информацию из российских и зарубежных источников и результаты собственных испытаний СИЗ. Специалистами лаборатории подготовлены два издания Каталога-справочника «Средства индивидуаль-

Рис. 12. Испытание СИЗ органов дыхания с применением плазменного фотометра

Рис. 13. Лаборатория средств индивидуальной защиты персонала опасных производств, 2013 г.

ной защиты персонала атомной промышленности и энергетики». Только в последние годы опубликованы десятки статей, докладов, более 60 национальных и межгосударственных стандартов, санитарные правила и нормативы, руководства, методические указания и другие публикации.

В настоящее время подготовлен проект Программы работ по совершенствованию индивидуальной защиты персонала ГК «Росатом» на 2014–2018 гг. В результате ее выполнения намечено достичь следующих результатов:

– Создание современной, гармонизированной с международными требованиями нормативной и методической базы для регулирования отраслевого рынка СИЗ.

– Создание новых высокоэффективных СИЗ для персонала опасных производств, новых материалов для производства СИЗ.

– Улучшение качества СИЗ, закупаемых для организаций и аварийно-спасательных формирований ГК «Росатом» и ФМБА России.

– Создание новых рабочих мест на предприятиях атомной отрасли и в ЗАТО.

– Современное информационное обеспечение организаций ФМБА России и ГК «Росатом» по вопросам индивидуальной защиты.

– Повышение имиджа государственной корпорации (глобальной компании) «Росатом».

Государственный научный центр « Федеральный медицинский биофизический центр им, А.И. Бурназяна ФМБА России
Редакционная коллегия журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность»

Поступила: 04.06.2013.
Принята к публикации: 03.07.2013

Рис. 14. С.К. Шойгу знакомится с новыми разработками лаборатории

К 50-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ А.В. ВАЖЕНИНА

Видному Российскому онкорадиологу, члену-корреспонденту РАМН, профессору, доктору медицинских наук, заслуженному врачу РФ, главному врачу Челябинского окружного клинического диспансера, заведующему кафедрой онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии Южно-Уральского государственного медицинского университета А.В. Важенину исполнилось 55 лет

Андрей Владимирович Важенин родился в семье врачей 18 марта 1958 г. в Челябинске. В 1975 г. он поступил на лечебный факультет Челябинского государственного медицинского института. Во время учебы активно занимался в студенческом научном обществе: неоднократно выступал с докладами на институтских и всесоюзных научных студенческих конференциях. После окончания института в 1981 г. с отличием был оставлен в клинической ординатуре на кафедре онкологии. После окончания ординатуры в 1983 г. начал работу в Челябинском областном онкологическом диспансере в качестве радиационного онколога. Неоднократно проходил подготовку в ведущих онкологических и радиологических центрах России, США и Европы.

А.В. Важенин за годы работы стал высококвалифицированным специалистом, пройдя все ступени профессионального роста врача: клинический ординатор, врач-радиолог, заведующий радиологическим отделением (с 1992 г.), заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ЧГМА (1996), главный радиолог (1992), главный онколог области (2000), главный врач Челябинского областного онкологического центра (1998).

В 1986 г. А.В. Важенин в Сибирском филиале ОНЦ РАМН (Томск) защитил кандидатскую диссертацию («Особенности иммунитета и гормональной секреции при первично-множественности злокачественных опухолей») под руководством профессоров Л.Я. Эберта и Е.И. Бехтеревой, в 1993 г. – в Московском научно-исследовательском рентгено-радиологическом институте МЗ РФ – докторскую диссертацию («Методические аспекты лучевого лечения рака орофарингеальной зоны и губы») под руководством академика РАМН, профессора В.П. Харченко.

В 1997 г. А.В. Важенину присвоено учёное звание профессора.

В 2001 г. Андрей Владимирович получил второе высшее образование, закончив Академию народного хозяйства при Правительстве РФ.

В 2002 г. по инициативе профессора А.В. Важенина создана Ассоциация онкологов УрФО, председателем которой он был избран.

А.В. Важенин является инициатором, автором, разработчиком и участником целого ряда масштабных и уникальных научно-практических конверсионных работ, проводимых Челябинским областным онкологическим центром и его кафедрами совместно с Федеральным ядерным центром – ВНИИТФ Росатома и Правительством Челябинской области. Их результатом стали эффективно работающий Уральский центр нейтронной терапии и Уральский центр позитронно-эмиссионной томографии.

Под его руководством созданы на Урале такие новые для российского здравоохранения и получившие признание в стране структуры и научные направле-

ния и центры: офтальмоонкологии, пластической и реконструктивной онкологии, паллиативной онкологии, термотерапии и фотодинамической терапии.

Основные научные интересы А.В. Важенина лежат в области разработки схем комбинированного, органосохранного лечения злокачественных новообразований и радиационной онкологии, а именно применения плотноионизирующих излучений, радиохирургии, радиомодификации, исследования первичной множественности злокачественных опухолей.

А.В. Важенин много внимания уделяет научно-практической работе и подготовке специалистов. Он автор большого числа научных работ опубликованных в отечественной и зарубежной печати, в том числе монографий, получивших широкую известность.

А.В. Важенин – автор 36 патентов и изобретений.

Им создана оригинальная научная онкорадиологическая школа на Урале. Под его руководством врачами из Челябинска, Москвы, Кургана, Тюмени, Златоуста, Магнитогорска, Казахстана, Франции и Палестины защищена 121 диссертация, в том числе 106 кандидатских и 15 докторских.

А.В. Важенин является председателем областных ассоциаций радиологов и онкологов, председателем Ассоциации онкологов Уральского Федерального округа, членом правления всероссийских ассоциаций онкологов и радиологов, вице-президентом Российской ассоциации рентгенорадиологов. С 1999 г. является членом Европейской ассоциации радиологов и онкологов.

О высоком авторитете центров, кафедр и диспансера, возглавляемых А.В. Важениным, говорит факт проведения на этих базах целого ряда Всероссийских и региональных конференций и симпозиумов, съездов.

Закономерным результатом его работы является избрание А.В. Важенина в феврале 2004 г. членом-корреспондентом РАМН по отделению клинической медицины.

Член-корреспондент РАМН А.В. Важенин является членом редакционных коллегий журналов: «Вестник хирургии им. И.И. Грекова», «Российского онкологического журнала», «Украинского радиологического журнала», «Сибирского онкологического журнала», «Паллиативная медицина и реабилитация», «Медицинская физика», «Проблемы клинической медицины», «Креативная онкология и хирургия».

В 2000 г. указом Президента РФ № 590 от 28.03.2000 г. ему присвоено звание «Заслуженный врач РФ». Он является лауреатом губернаторской премии и грамоты 2005 и 2006 гг., в 2003 г. награжден благодарственным письмом Законодательного собрания Челябинской области, в 2006 г. награжден президиумом Ассоциации космонавтики РФ медалью академика В.П. Макеева за успехи в совместной деятельности, в 2004 и 2006 гг. награжден медалями Ассоциации онкологов РФ за разработку новых методов диагностики и лечения опухолей, в 2006 г. он избран членом общественной палаты Челябинской области и вошел в состав ее президиума.

Указом Президента РФ № 895 от 10 августа 2006 г. А.В. Важенин награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.

В 2013 г. Ассоциацией онкологов России награжден знаком «За верность профессии».

С 2008 г. А.В. Важенин активно участвует в реализации федеральной целевой программы «Онкология», руководимый им диспансер становится первым в РФ окружным.

Под его руководством построен и запущен первый вне Москвы и Санкт-Петербурга центр позитронно-эмиссионной томографии. В 2011 г. освоена работа на комплексе «Кибернож».

В апреле 2012 г. волюнтаристическим решением А.В. Важенин был отстранен от руководства диспансером. Однако 1 июля 2013 г. по приглашению губернатора области вновь возглавил Челябинский окружной клинический онкологический диспансер.

Андрея Владимировича отличают оптимизм, высокая работоспособность и эффективность высокая обучаемость, трудолюбие, великолепное чувство юмора и надежность.

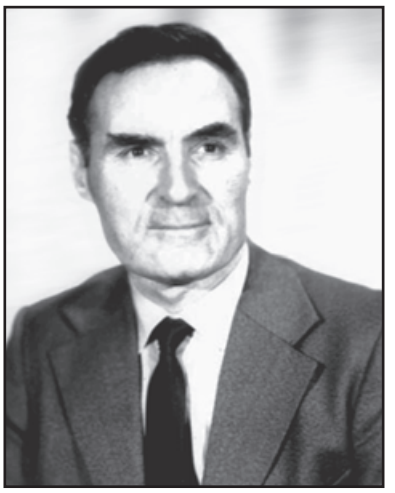
Дети А.В. Важенина продолжают его дело и трудятся врачами, специализируются в области лучевой терапии и диагностической радиологии. Дочь – доктор медицинских наук, доцент, сын – аспирант.

Члены Ассоциации онкологов УрФО, коллектив Челябинского окружного клинического онкологического диспансера желают Андрею Владимировичу здоровья и дальнейших творческих успехов.

Члены Ассоциации онкологов УрФО, коллектив Челябинского окружного клинического онкологического диспансера

Редакция журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность»

Памяти М.Б. Алиева



19 июня 2013 г. умер Багатыр Мамедович Алиев – доктор медицинских наук, профессор.

Багатыр Мамедович в 1952 г. окончил Дагестанский медицинский институт и далее работал по 1957 г. главным врачом районной больницы Хивского района Дагестанской АССР.

С 1957 по 1962 г. обучался в ординатуре, клинической аспирантуре под руководством профессора С.А. Рейнберга на кафедре рентгенологии и радиологии Центрального ордена Ленина Института усовершенствования врачей в Москве.

Багатыр Мамедович защитил в 1962 г. диссертацию на соискание учёной степени кандидата медицинских наук на тему: «Интегральная поглощённая доза в организме при рентгенологических исследованиях лёгких и желудка», а в 1973 г. успешно была защищена докторская диссертация на тему: «Неравномерное облучение злокачественных опухолей (физико-дозиметрическое, экспериментальное и клиническое исследование)».

С 1962 по 2007 г. Багатыр Мамедович Алиев работал в отделе радиационной онкологии Российского онкологического научного центра им. Н.Н.Блохина РАМН, где в течение многих лет руководил радиологической клиникой, а затем работал ведущим научным сотрудником в радиологическом отделении.

Багатыр Мамедович Алиев разработал ряд определяющих направлений в лучевой терапии, в том числе касающихся применения неравномерного облучения при лечении онкологических больных, изучения возможностей использования комбинированного и комплексного методов лечения с включением радиомодификаторов и различных режимов фракционирования дозы облучения.

Под руководством Багатыра Мамедовича блестяще было защищено 19 кандидатских диссертаций. Все ученики Багатыра Мамедовича в настоящее время являются ведущими специалистами в области радиационной онкологии, руководят радиологическими отделениями крупных научно-исследовательских центров и институтов РФ и СНГ.

Багатыр Мамедович – автор монографий, атласов, руководств по лучевой терапии злокачественных опухолей, 400 печатных работ, опубликованных в ведущих отечественных и зарубежных журналах по онкологии, радиологии, медицинской физике.

Багатыр Мамедович до последних дней оставался наставником для своих учеников, примером служения науке.

Отечественная радиология понесла невосполнимую утрату.

Приносим глубокие соболезнования родным, близким и друзьям Багатыра Мамедовича Алиева.

Сотрудники ФГБУ
Российского онкологического научного центра
им. Н.Н.Блохина РАМН
Редколлегия журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность»