

**Научно-практический
журнал**

УЧРЕДИТЕЛЬ:
Федеральное бюджетное
учреждение науки
«Санкт-Петербургский
научно-исследовательский
институт радиационной гигиены
имени профессора П.В. Рамзаева»

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-28716 от 6 июля 2007 г.

В 2015 году журнал был зарегистрирован как сетевое издание Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации
ЭЛ № ФС77-63702 от 10 ноября 2015 г.

Издается ежеквартально.

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается с письменного разрешения редакции.

Ссылка на журнал «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» обязательна.

Журнал включен в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Журнал индексируется в мультидисциплинарной библиографической и реферативной базе SCOPUS, Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Корректор А.М. Плаксина
Компьютерная верстка
А.В. Гнездиловой

Адрес редакции:
197101, Санкт-Петербург,
ул. Мира, дом 8
Тел. (812) 233-4283, 233-5016
Тел./Факс (812) 233-4283
E-mail: journal@niirg.ru
Сайт: www.radhyg.ru

Тираж 300 экз.

ISSN 1998-426X



Индекс для подписки в агентстве
«Роспечать» – **57988**

© «Радиационная гигиена», 2017

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

RADIATIONNAYA GYGIENA

Председатель редакционного совета
Г.Г. Онищенко

Главный редактор
И.К. Романович



Том 11 № 1, 2018

Председатель редакционного совета

Онищенко Геннадий Григорьевич — Государственная Дума, д.м.н., профессор, академик РАН (Москва, Российская Федерация)

Главный редактор

Романович Иван Константинович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Заместитель главного редактора

Вишнякова Надежда Михайловна — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Редакционный совет

Алексанин Сергей Сергеевич — ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова» МЧС России, д.м.н. профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Алексахин Рудольф Михайлович — ГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и радиоэкологии», д.б.н. профессор, академик РАН (Обнинск, Российская Федерация)

Башкетова Наталия Семеновна — Управление Роспотребнадзора по г. Санкт-Петербургу (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Горбанев Сергей Анатольевич — ФБУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья», д.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Зарединов Дамир Арифович — Министерство здравоохранения Республики Узбекистан, д.м.н., профессор (Ташкент, Республика Узбекистан)

Иванов Виктор Константинович — Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба — филиал ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр имени П.А. Герцена» Минздрава России, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Обнинск, Российская Федерация)

Ильин Леонид Андреевич — ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, д.м.н., профессор, академик РАН (Москва, Российская Федерация)

Кашпаров Валерий Александрович — Украинский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии, д.б.н. (Киев, Украина)

Марченко Татьяна Андреевна — Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), д.м.н., профессор (Москва, Российская Федерация)

Мирсаидов Уламас Мирсаидович — Агентство по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан, д.х.н., профессор, академик АН РТ (Душанбе, Республика Таджикистан)

Надареишвили Давид Кназович — Центр экспериментальной биомедицины им. И. Бериташвили, PhD (Тбилиси, Грузия)

Рожко Александр Валентинович — ГУ «Республиканский научный центр радиационной медицины и экологии человека», д.м.н. (Гомель, Республика Беларусь)

Софронов Генрих Александрович — ФБНУ «Институт экспериментальной медицины», д.м.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Ушаков Игорь Борисович — ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, д.м.н., профессор, академик РАН (Москва, Российская Федерация).

Редакционная коллегия

Архангельская Генриэтта Владимировна — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Балонов Михаил Исаакович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н., профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Балтрукова Татьяна Борисовна — ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, д.м.н., профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Вакуловский Сергей Мстиславович — Институт проблем мониторинга окружающей среды (ИПМ) ФГУ НПО «Тайфун», д.т.н., профессор (Обнинск, Российская Федерация)

Гребеньков Сергей Васильевич — ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, д.м.н., профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Ермолина Елена Павловна — ГБОУ ДПО Российская медицинская академия последипломного образования Минздрава России, к.м.н. (Москва, Российская Федерация)

Звонова Ирина Александровна — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.т.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Кадука Марина Валерьевна — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», к.б.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Константинов Юрий Олегович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», к.т.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Маттссон Ларс Юхан Скорен — Лундский университет, профессор (Мальмё, Швеция)

Омельчук Василий Владимирович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Рамзаев Валерий Павлович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», к.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Репин Виктор Степанович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.б.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Рыбников Виктор Юрьевич — ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова» МЧС России, д.м.н., д-р психол. наук, профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Савкин Михаил Николаевич — ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, к.т.н. (Москва, Российская Федерация)

Шандала Наталья Константиновна — ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, д.м.н., профессор (Москва, Российская Федерация)

FOUNDER:
Federal Scientific Organization
«Saint-Petersburg Research Institute
of Radiation Hygiene
after Professor P.V. Ramzaev»

Quarterly published

Editorial office address:
Mira str., 8, 197101,
St.-Petersburg, Russia
Phone: (812) 233-42-83, 233-50-16
Phone/Fax: (812) 233-42-83
E-mail: journal@niirg.ru
Web: www.radhyg.ru

RADIATION HYGIENE

Chairman of Editorial Council
Gennadiy G. Onishchenko

Editor-in-Chief
Ivan K. Romanovich



RADIATION HYGIENE

Vol. 11 № 1, 2018

Chairman of Editorial Council

Gennadiy G. Onishchenko — the State Duma, Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, M.D. Professor (Moscow, Russian Federation)

Editor-in-Chief

Ivan K. Romanovich — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, M.D., Professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences (Saint Petersburg, Russian Federation)

Deputy Editor-in-Chief

Nadezhda M. Vishnyakova — Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, M.D. (Saint Petersburg, Russian Federation)

Members of Editorial Council

Sergey S. Aleksanin — Federal State Organization «A.M. Nikiforov All-Russia Center of Emergency and Radiation Medicine» of EMERCOM of Russia, M.D., Professor (Saint Petersburg, Russian Federation)

Rudolf M. Aleksakhin — Russian Institute of Radiology and Agroecology (Obninsk Russian Federation)

Nataliya S. Bashketova — Saint Petersburg Rospotrebnadzor Department (Saint Petersburg, Russian Federation)

Sergey A. Gorbanev — Northwest Public Health Research Center (Saint Petersburg, Russian Federation)

Damir A. Zaredinov — Uzbekistan Republic Healthcare Ministry, M.D., Professor (Tashkent, Uzbekistan Republic)

Valeriy A. Kashparov — Ukrainian Scientific Research Institute of Agricultural Radiology, Doctor of Biology (Kiev, Ukraine)

Ulmas M. Mirsaidov — Agency for Nuclear and Radiation Safety of the Academy of Sciences of Tajikistan Republic, Doctor of Chemistry, Professor, Academician of AS TR. (Dushanbe, Tajikistan Republic)

David K. Nadareshvili — Center of Experimental Biomedicine after I. Beritashvili, PhD (Tbilisi, Georgia)

Viktor K. Ivanov — Medical Radiological Center of Science after A.F. Tsyba — Branch of Federal State Organization «P.A. Herzen Federal Medical Research Center» of Healthcare Ministry», Doctor of Engineering, Professor, corresponding member of the Russian (Obninsk, Russian Federation)

Leonid A. Ilyin — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia after A.I. Burnasyan, M.D., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

Tat'yana A. Marchenko — All-Russian Research Institute on the Problems of Civil Defense and Emergency Situations of the Russian EMERCOM, Doctor of Medical Sciences, Professor (Moscow, Russian Federation)

Aleksandr V. Rozhko — Republican Scientific Center of Radiation Medicine and Human Ecology M.D. (Gomel, Belarus Republic)

Genrikh A. Sofronov — Federal State Scientific Organization «Institute of Experimental Medicine», Member of the Russian Sciences Academy, Professor, Doctor of Medical Sciences, (Saint Petersburg, Russian Federation)

Igor' B. Ushakov — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia after A.I. Burnasyan, Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Honoured Doctor of the Russian Federation, Medical Major General of the Reserve (Moscow, Russian Federation)

Editorial Board

Genrietta V. Arkhangelskaya — Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, M.D. (Saint Petersburg, Russian Federation)

Mikhail I. Balonov — Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Doctor of Biology, Professor (Saint Petersburg, Russian Federation)

Tat'yana B. Baltrukova — Northwest State Medical University after I.I. Mechnikov (Saint Petersburg, Russian Federation)

Sergey M. Vakulovsky — Federal State Budgetary Institution "Research and Production Association «Typhoon», Doctor of Engineering, Professor (Kaluga region, Russian Federation)

Sergey V. Grebenkov — Northwest State Medical University after I.I. Mechnikov, M.D., Professor (Saint Petersburg, Russian Federation)

Elena P. Ermolina — Russian Medical Academy of Postgraduate Education of Russian Healthcare Ministry, Candidate of Medicine (Moscow, Russian Federation)

Irina A. Zvonova — Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Doctor of Engineering (Saint Petersburg, Russian Federation)

Marina V. Kaduka — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Candidate of biological science (Saint Petersburg, Russian Federation)

Yuriy O. Konstantinov — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Candidate of Engineering (Saint Petersburg, Russian Federation)

Mattsson Lars Juhan Sören — Professor of medical radiation physics department of Lund University (Malmö, Sweden)

Vasiliy V. Omelchuk — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, M.D. (Saint Petersburg, Russian Federation)

Valeriy P. Ramzaev — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Candidate of Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation)

Victor S. Repin — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Doctor of Biology (Saint Petersburg, Russian Federation)

Victor Yu. Rybnikov — Federal State Organization «A.M. Nikiforov All-Russia Center of Emergency and Radiation Medicine» EMERCOM of Russia), M.D., Doctor of Psychology, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation (Saint Petersburg, Russian Federation)

Mikhail N. Savkin — All-Russia Scientific Research Institute of Railway Hygiene of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Candidate of Engineering (Moscow, Russian Federation)

Natal'ya K. Shandala — Federal Medical Biophysical Center after A.I. Burnasyan of Federal Medical Biological Agency of Russia, M.D., Professor (Moscow, Russian Federation)

СОДЕРЖАНИЕ

Том 11 № 1, 2018

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

А.В. Аклеев, С.А. Шалагинов

Сравнительный анализ результатов экспертизы состояния здоровья облучённых граждан в Челябинском МЭС за период с 1990 по 2015 г..... 6

В.С. Репин

Критерии защиты населения после радиационной аварии: структура потребления пищевых продуктов и особенности формирования доз внутреннего облучения различных возрастных групп населения Российской Федерации.... 18

V.P. Ramzaev, A.N. Barkovsky, A.V. Gromov, S.A. Ivanov, M.V. Kaduka

Fukushima fallout in Sakhalin Region, Russia, part 1: ^{137}Cs and ^{134}Cs in grassland soils 25

А.М. Библин, Р.Р. Ахматдинов, К.В. Варфоломеева, Л.В. Репин

Проблемы риск-коммуникации по вопросам радиационной безопасности: анализ материалов в сети Интернет после радиационной аварии на Электростальском заводе тяжелого машиностроения..... 43

А.А. Цапалов, С.М. Киселев, А.М. Маренный, К.Л. Ковлер, С.И. Кувшинников

Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля..... 53

А.А. Цапалов, С.М. Киселев, А.М. Маренный, К.Л. Ковлер, С.И. Кувшинников, А.С. Янкин

Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 2. Экспериментальная оценка неопределенности временных вариаций радона 64

А.В. Васильев, И.В. Ярмошенко, М.В. Жуковский

Радоновая безопасность современных многоэтажных зданий различных классов энергетической эффективности 80

М.В. Кадука, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекашева, С.А. Иванов, Н.В. Салазкина, В.В. Ступина, А.Н. Кадука

Потенциально возможные дозы облучения населения за счет потребления минеральной природной лечебной воды 85

A.V. Vodovатов, V.Yu. Golikov, I.G. Kamysanskaya, K.V. Zinkevich, Ch.Bernhardsson

Estimation of the conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for adult patients 93

А.М. Библин, Н.М. Вишнякова, К.В. Варфоломеева, С.А. Зеленцова, Е.В. Храмов, Р.Р. Ахматдинов

Проблемы риск – коммуникации: общественные организации и их роль в формировании общественного мнения по вопросам радиационной безопасности населения 101

ОБЗОРЫ

Э.П. Лисаченко, Н.А. Королева

Региональные особенности использования подземных вод как потенциального источника формирования радиационного фактора..... 113

ЮБИЛЕЙ..... 123

ХРОНИКА 125

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» 127

CONTENTS

Vol. 11 № 1, 2018

RESEARCH ARTICLES

A.V. Akleyev, S.A. Shalaginov

Comparative analysis of the results of expert examination of health status of the exposed people obtained at Chelyabinsk Interdepartmental Expert Council over the period 1990–2015..... 17

V.S. Repin

Criteria for the protection of population after radiation accident: food consumption structure and peculiarities of the internal doses formation of various age groups of the population of the Russian Federation 23

В.П. Рамзаев, А.Н. Барковский, А.В. Громов, С.А. Иванов, М.В. Кадука

Фукусимские выпадения в Сахалинской области России. Сообщение 1: ^{137}Cs и ^{134}Cs в луговых почвах..... 42

A.M. Biblin, R.R. Akhmatdinov, K.V. Varfolomeeva, L.V. Repin

Problems of risk communication on radiation safety. Analysis of materials on the Internet after the 2013 radiation accident at the Electrostal Heavy Engineering Works..... 51

A.A. Tsapalov, S.M. Kiselev, A.M. Marennyy, K.L. Kovler, S.I. Kuvshinnikov

Uncertainty of the results of the radon control in housings. Part 1. The problem of assessment of the radon concentration and modern control principles 61

A.A. Tsapalov, S.M. Kiselev, A.M. Marennyy, K.L. Kovler, S.I. Kuvshinnikov, A.S. Yankin

Uncertainty of the results of the radon control in housings. Part 2. Experimental assessment of the temporal variations of radon 77

A.V. Vasilyev, I.V. Yarmoshenko, M.V. Zhukovsky

Radon safety of modern multi-storey buildings with different energy efficiency classes..... 84

M.V. Kaduka, L.N. Basalaeva, T.A. Bekyasheva, S.A. Ivanov, N.V. Salazkina, V.V. Stupina, A.N. Kaduka

Potentially possible population exposure doses due to mineral natural medical water consumption..... 91

А.В. Водоватов, В.Ю. Голиков, И.Г. Камышанская, К.В. Зинкевич, К. Бернхардссон

Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для рентгеноскопических исследований желудка с бариевым контрастом для взрослых пациентов 100

A.M. Biblin, N.M. Vishnyakova, K.V. Varfolomeeva, S.A. Zelentsova, E.V. Khramtsov, R.R. Akhmatdinov

Problems of risk communication: non-governmental organizations and their role in the development of the public opinion on issues of population's radiation protection 110

REVIEWS

E.P. Lisachenko, N.A. Koroleva

Regional features of the use of groundwater as a potential source of the formation of the radiation factor..... 120

ANNIVERSARY 123

CHRONICLE 125

JOURNAL OF RADIATION HYGIENE – INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 127

Сравнительный анализ результатов экспертизы состояния здоровья облучённых граждан в Челябинском МЭС за период с 1990 по 2015 г.

А.В. Аклеев^{1,2}, С.А. Шалагинов^{1,2}

¹ Уральский научно-практический центр радиационной медицины
Федерального медико-биологического агентства России, Челябинск, Россия

² Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

Представлен сравнительный анализ основных показателей деятельности Челябинского регионального межведомственного экспертного совета по установлению причинной связи заболеваний с радиационным воздействием в период с 1990 по 2009 г. и в период с 2010 по 2015 г. Источниками информации являлись годовые отчёты о деятельности Челябинского межведомственного экспертного совета, стандартные протоколы заседаний и решения межведомственного экспертного совета. За рассматриваемый период произошло естественное постарение всех групп обслуживаемого населения, возросла доля дел, рассматриваемых повторно, в основном за счёт дел, рассматриваемых по поводу инвалидности или смерти облучённых лиц. В период 2010–2015 гг. причинная связь устанавливалась чаще, чем в более ранние сроки: 43,3% и 67,1% соответственно. Наиболее часто положительные решения принимались в отношении лиц со злокачественными новообразованиями (62,9% от общего числа принятых положительных решений). Связь инвалидности и смерти с радиационным воздействием в 2010–2015 гг. устанавливалась чаще, тогда как доля отложенных дел значительно уменьшилась.

Ключевые слова: ликвидаторы аварии на Чернобыльской АЭС, производственное объединение «Маяк», экспертиза, причинная связь, злокачественные новообразования, сердечно-сосудистые заболевания, инвалидность, смертность.

Введение

Со времени испытания ядерного оружия, сброса радиоактивных отходов в реку Теча, аварии 1957 г. на ПО «Маяк» и на ЧАЭС прошли десятки лет. К настоящему времени численность лиц, ранее вовлечённых в сферу влияния ионизирующего излучения, в любой из этих ситуаций в силу естественных причин сократилась, оставшиеся в живых достигли пожилого и старческого возраста [1]. Таким образом, на современном этапе система оказания медицинской и социальной помощи облучённому населению в основном затрагивает интересы людей, достигших пенсионного возраста, то есть одной из наименее материально обеспеченных и социально защищённых групп населения. Представляется обоснованным, что экспертиза состояния здоровья пожилых людей в отдалённом периоде после радиационного воздействия должна, с одной стороны, основываться на использовании геронтологических подходов, с другой – опираться на знания о повозрастной динамике формирования радиационно-обусловленных и радиационно-зависимых заболеваний. В этой связи всё большее значение приобретает анализ

закономерностей формирования инвалидности и наступления смерти облучённых лиц.

В сложившихся реалиях оказание социальной поддержки облучённому населению сохраняет свою высокую актуальность. С другой стороны, не менее актуальной становится необходимость разработки современных научно обоснованных критериев оценки влияния ионизирующего излучения на состояние здоровья людей и на этой основе – совершенствование работы экспертных советов по установлению причинной связи заболеваний, случаев инвалидности и смерти граждан с радиационным воздействием.

До 2016 г. экспертиза здоровья лиц, подвергшихся радиационному воздействию, являлась важной задачей федеральных целевых программ, направленных на социальную защиту граждан, пострадавших от радиационного воздействия. Несмотря на завершение сроков реализации программ и прекращение их финансирования, облучённым гражданам по-прежнему предоставляются гарантированные государством персонализированные компенсации и льготы, характер и размеры которых

Шалагинов Сергей Александрович

Уральский научно-практический центр радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России
Адрес для переписки: 454076, Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 68-А; E-mail: shalaginov@urcrm.ru

определены в базовом федеральном законе ФЗ 1241-1 от 15.05. 1991 г. «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». В Законе прописаны основные меры социальной поддержки и способы их реализации, в частности – установление причинной связи заболеваний, инвалидности и смерти с радиационным воздействием. Для решения этой задачи в Российской Федерации была создана и сохраняется сеть межведомственных экспертных советов. Одним из 6 советов, существующих к настоящему времени, является Челябинский МЭС.

Экспертиза состояния здоровья облученных лиц и установление связи с радиационным фактором нередко представляют значительные трудности. Это вызвано тем, что заболевания, которые, по данным современной радиобиологии, могут быть связаны с облучением (злокачественные опухоли, лейкозы, сосудистые заболевания и др.), во-первых, имеют достаточно длительный латентный период и могут манифестировать через много лет после облучения; во-вторых, относятся к мультифакториальной патологии, которая в ряде случаев имеет достаточно высокую спонтанную частоту (особенно в пожилом возрасте) и часто обусловлены влиянием конкурирующих нерадиационных факторов риска (курение, употребление алкоголя, профессиональные вредности, отягощенная наследственность и др.). Наибольшие объективные трудности представляет экспертиза здоровья у потомков облученных лиц (особенно второго и третьего поколений), так как оценка радиационного риска наследственных заболеваний (менделирующие, хромосомные и мультифакториальные хронические болезни, а также врожденные пороки развития) в настоящее время сталкивается с большими неопределенностями [2].

Вышесказанное предполагает необходимость обобщения опыта работы экспертных советов, совершенствования методов проведения экспертизы, максимальной объективизации принятия решений и, в конечном счёте, повышения эффективности работы МЭС.

Цель исследования – оценить динамику основных показателей деятельности Челябинского МЭС за период с 1990 по 2015 г. и дать сравнительную характеристику результатов экспертизы состояния здоровья облученных лиц и их потомков за период с 1990 по 2009 г. и с 2010 по 2015 г.

Организация Челябинского МЭС

Исторически первым в 1988 г. был создан Центральный межведомственный экспертный совет по установлению причинной связи заболеваний и инвалидности граждан с работами по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Приказом министра здравоохранения СССР № 731 от 28.09.1988 г. было принято положение об экспертном совете, определены принципы и инструкция по его работе. В 1990 г. в Российской Федерации была создана система из нескольких МЭС, в том числе в г. Челябинске. В состав Челябинского МЭС вошли сотрудники областной клинической больницы №1, а также специалисты Уральского научно-практического центра радиационной медицины (УНПЦ РМ ФМБА России). Первое заседание Челябинского МЭС состоялось 11 декабря 1990 г.

В период с 1990 по 1992 г. Челябинский МЭС рассматривал только дела ликвидаторов аварии на ЧАЭС. С 1993 г. МЭС приступил к рассмотрению заявлений от жителей прибрежных сел реки Течи и лиц, переселённых с территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа), а также ликвидаторов аварий на ПО «Маяк». С 2005 г. Челябинский МЭС начал рассматривать заявления от лиц из подразделений особого риска. При этом в период с 1997 по 2004 г. Челябинский МЭС не рассматривал дела ликвидаторов аварии на ЧАЭС.

Начиная с 2009 г., Челябинский региональный МЭС обеспечивает экспертизу здоровья всех категорий облученных граждан, проживающих в Уральском федеральном округе (Свердловская, Челябинская, Курганская и Тюменская области, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа).

Источниками информации, которые использовались для анализа в настоящем исследовании, были статистические отчёты о деятельности Челябинского МЭС, протоколы заседаний МЭС, заключения о вынесенных МЭС решениях. Формы отчётности, установленные приказами Министерства здравоохранения, с течением времени претерпевали некоторые изменения, поэтому в ряде случаев для согласования данных и приведения их к единым стандартам использовались первичные медицинские документы из архива Челябинского МЭС: направления лечебных учреждений в Челябинский МЭС, выписки из амбулаторных карт и больничных стационаров и копии направлений на ВТЭК (МСЭК, МСЭ). Статистическая обработка проводилась с использованием критерия достоверности χ^2 [3].

Результаты деятельности Челябинского МЭС

За период с 1990 по 2015 г. в Челябинском МЭС была проведена экспертиза 10 143 дел на облученных лиц и их потомков. Динамика рассмотрения дел Челябинским МЭС за первые 20 лет его работы была подробно проанализирована ранее [4] на примере 8050 экспертных дел, поступивших в Челябинский МЭС с 1990 по 2009 г. За период с 2010 по 2015 г. дополнительно поступило 2093 дела, что составило 20,6% от их общего числа за весь период работы Челябинского МЭС. В период с 1990 по 2009 г. Челябинский МЭС в среднем за календарный год рассматривал по 402,5 дела, в то время как в своей «новой» истории – по 299,0. Некоторое снижение интенсивности работы связано с сокращением численности всех категорий облученного населения за счёт процессов старения и естественного вымирания, а также с проведённым ранее большим объёмом работы (рассмотренные ранее дела, как правило, не потребовали повторного рассмотрения). Среднее число рассмотренных дел было максимальным в 1994–2001 гг., составляя 508,0 дел за календарный год. В этот период Челябинский МЭС имел наиболее широкую зону охвата облученных лиц, рассматривая дела ликвидаторов аварии на ЧАЭС, проживающих в Уральском регионе, а также ликвидаторов аварий на ПО «Маяк», жителей прибрежных сел реки Теча и ВУРСа вне зависимости от их проживания на время подачи документов в МЭС.

Как видно из рисунка 1, отмечался тренд к снижению числа рассмотренных дел с годами, которое за рассматриваемый период колебалось от 640 в 1995 г. до 245

в 2004 г. На фоне тренда к повышению общего числа дел, по которым была установлена связь заболевания, причины инвалидности или смерти, максимальное число дел с установленной связью (287) было отмечено в 1991 г., минимальное (88) – в 1997 г.

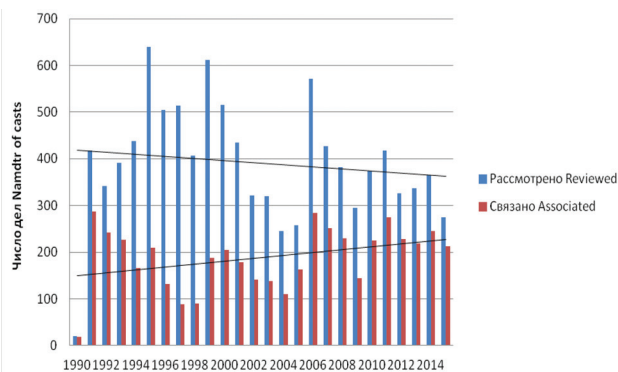


Рис. 1. Динамика изменения числа рассмотренных и связанных с радиацией дел в Челябинском МЭС за период 1990–2015 гг.

[Fig. 1. Dynamics of the change of the number of the reviewed and associated cases in Chelyabinsk IEC in 1990–2015]

В структуре дел, рассмотренных в 1990–2015 гг. (рис. 2), преобладали лица, облучённые в связи с деятельностью ПО «Маяк» (облучённые на реке Тече и ВУРСе, ликвидаторы аварии на ПО «Маяк»). На их долю приходится 58,7% всех рассмотренных дел, значительным является представительство ликвидаторов аварии на ЧАЭС (33,9%). Относительно небольшой является доля участников подразделений особого риска (ПОР) – только 3,2%.

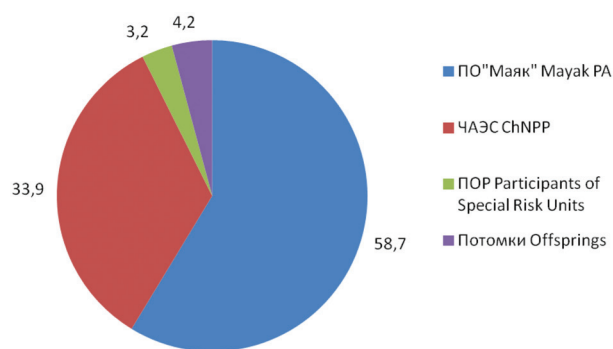


Рис. 2. Распределение контингентов лиц, дела которых рассмотрены Челябинским МЭС за период с 1990 по 2015 г.

[Fig. 2. Distribution of populations which cases were reviewed by Chelyabinsk IEC in 1990–2015]

Среди облучённых в результате деятельности ПО «Маяк» преобладали ликвидаторы аварии (52,7%) и жители побережья реки Течи (41,6%); меньшей была доля облучённых в зоне ВУРСа (3,4%) и работников ПО «Маяк» (2,3%). Среди ликвидаторов аварии на ЧАЭС преобладали ликвидаторы 1986 г. (43,3%) и 1987 г. (36,4%), на долю ликвидаторов 1988–1990 гг. в сумме приходилось 20,3% рассмотренных дел.

Дела на потомков облучённого населения составили 4,2% от общего числа рассмотренных за период с 1990 по 2015 г. дел, при этом 7 из 430 (1,6%) являлись потомками ликвидаторов на ЧАЭС, остальные – потомками лиц, облучённых вследствие деятельности ПО «Маяк».

За период с 1990 по 2015 г. (табл. 1) общее число дел с установленной связью составило 4891 из 10 143 рассмотренных (48,2%). Наиболее высокий процент связанных с радиационным воздействием дел (56,5%) отмечен для ликвидаторов аварии на ЧАЭС. Для лиц, облучённых в зоне влияния ПО «Маяк», этот показатель был ниже и составил 45,6%, для участников подразделений особого риска – 44,1%. Самый низкий уровень (22,1%) дел, по которым было принято положительное решение, зафиксирован для потомков.

Наиболее высокая доля отложенных дел, достигающая 9,0%, была отмечена у ликвидаторов аварии на ЧАЭС. Минимальная доля зафиксирована у облучённых в результате деятельности ПО «Маяк», она составляла 3,8% (см. табл. 1). Различия могут быть связаны с лучшим качеством медицинских документов на лиц, облучённых в зоне влияния ПО «Маяк», которые в большинстве случаев оформляются в специализированной клинике ФГБУН УНПЦ РМ, а также МСЧ-71 г. Озёрск. В то же время документы на участников ликвидации аварии на ЧАЭС во многих случаях направляются из городских поликлиник и ЦРБ субъектов федерации УрФО.

За период 2010–2015 гг. произошло увеличение доли рассмотренных дел с установленной причинной связью по сравнению с начальным периодом работы от 43,3% до 67,1% (табл. 2). Увеличение дел с установленной причинной связью, главным образом, определяется двумя причинами: увеличением доли дел на онкологических больных и увеличением доли повторных дел, направленных по поводу установления причины связи инвалидности в тех случаях, когда ранее уже была установлена связь заболевания, приведшего на определённом этапе к инвалидизации пациента, а также необходимости установить связь ранее связанного с радиационным воздействием заболевания, приведшего в конце концов к смерти пациента.

Значительная доля положительных решений в первые годы деятельности Челябинского МЭС была обусловлена отсутствием необходимого опыта экспертной работы у членов Совета и недостаточным уровнем знаний в области радиационной медицины у ряда экспертов, привлечённых из местных органов здравоохранения. Другой важной причиной являлся перечень заболеваний, рекомендуемых для связи (Приложение 2 к распоряжению № 42-06/388 от 08.08.1990 г. Главного Государственного санитарного врача РСФСР). Данный перечень заболеваний рекомендовал экспертам связывать с радиационным воздействием широкий круг самых разнообразных заболеваний, таких как гипертоническая болезнь, ИБС, хронические пневмонии и бронхиты, гастриты, язвенная болезнь и другие соматические заболевания. Появление этого перечня, по-видимому, определялось либеральными социально-психологическими запросами и ожиданиями общества в постперестроечный период и в значительной мере было связано с психологическим влиянием последствий аварии на ЧАЭС.

В то же время (см. табл. 2) можно наблюдать существенное сокращение доли дел, по которым не удалось принять решение при первичном рассмотрении. Уменьшение доли таких дел связано с повышением квалификации экспертов, а также с улучшением качества направляемых в МЭС документов.

Распределение рассмотренных дел по категориям облучённых лиц за период 1990–2015 гг.

Таблица 1

[Table 1]

Distribution of the reviewed cases by groups of the exposed individuals in 1990–2015]

Категории облучённых лиц [Groups of exposed persons]	Всего рассмо- тreno дел [Total reviewed cases]	Установлена связь [Associated disease]		Дело отложено [Postponed cases]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
Облучённые в результате деятельности ПО «Маяк» [Exposed due to the «Mayak» PA activity]	5954	2713	45,6	228	3,8**
Ликвидаторы аварии на ЧАЭС [Cleanup workers of ChNPP accident]	3439	1942	56,5*	308	9,0
Участники подразделений особого риска [Participants of Special Risk Units]	320	141	44,1	15	4,7***
Потомки всех категорий облучённых [Offspring of all the groups of exposed persons]	430	95	22,1*	27	6,3**
Всего [Total]	10143	4891	48,2	578	5,7

* – $p < 0,001$ при сравнении с другими категориями облучённых [$p < 0,001$, when compared with other groups of the exposed individuals];

** – $p < 0,001$ при сравнении с ликвидаторами аварии на ЧАЭС [$p < 0,001$, when compared with cleanup workers of ChNPP accident];

*** – $p < 0,025$ при сравнении с ликвидаторами аварии на ЧАЭС [$p < 0,025$, when compared with cleanup workers of ChNPP accident].

Сопоставление результатов экспертизы облучённых лиц за два периода

Таблица 2

[Table 2]

Comparison of the results of expert examination over the two periods]

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Заболевание связано [Associated disease]		Дело отложено [Postponed case]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	8050	3487	43,3*	552	6,9*
2010–2015	2093	1404	67,1	26	1,2
Всего [Total]	10143	4891	48,2	578	5,7

* – $p < 0,001$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,001$, when compared with the group 2010–2015].

Как можно видеть из таблицы 3, значительное увеличе-
ние доли связанных дел отмечено у лиц, облучённых в ре-
зультате деятельности ПО «Маяк». Так, за период с 2010 по

2015 г. связь заболеваний, случаев инвалидности и смерти
граждан, относящихся к данной категории, была установ-
лена в 70,7% случаев против 40,9% в 1990–2009 гг.

Распределение рассмотренных дел облучённых в результате деятельности ПО «Маяк» за период 1990–2009 гг. и период 2010–2015 гг.

Таблица 3

[Table 3]

Distribution of the reviewed cases of the exposed persons due to the «Mayak» PA activity over the period 1990–2009 and the period 2010–2015]

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Заболевание связано [Associated disease]		Дело отложено [Postponed case]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	4979	2037	40,9*	215	4,3*
2010–2015	973	688	70,7	13	1,3
Всего [Total]	5952	2725	45,8	218	3,7

* – $p < 0,001$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,001$, when compared with the group 2010–2015].

Существенным такое увеличение было также и для группы ликвидаторов аварии на ЧАЭС (табл. 4) от 51,5% до 70,7%. Вместе с тем, для участников подразделений особого риска (табл. 5) разница была не столь выраженной – 34,2% и 53,0% соответственно.

Доля потомков облучённого населения (табл. 6) с установленной связью заболевания имела тенденцию к сокращению – с 22,7% до 18,5%.

Таблица 4

Распределение рассмотренных дел ликвидаторов аварии на ЧАЭС за период 1990–2009 гг. и период 2010–2015 гг.

[Table 4]

Distribution of the reviewed cases of the cleanup workers of ChNPP accident during the period 1990–2009 and the period 2010–2015]

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Заболевание связано [Associated disease]		Дело отложено [Postponed case]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	2554	1315	51,5*	299	11,7*
2010–2015	887	627	70,7	9	1,0
Всего [Total]	3441	1942	56,4	308	9,0

* – $p < 0,001$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,001$, when compared with the group 2010–2015].

Таблица 5

Распределение рассмотренных дел участников подразделений особого риска за период 1990–2009 гг. и период 2010–2015 гг.

[Table 5]

Distribution of the reviewed cases of the participants of Special Risk Units over the period 1990–2009 and the period 2010–2015]

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Заболевание связано [Associated disease]		Дело отложено [Postponed case]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	152	52	34,2*	11	7,2
2010–2015	168	89	53,0	4	2,4
Всего [Total]	320	141	44,1	15	4,7

* – $p < 0,005$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,005$, when compared with the group 2010–2015].

Таблица 6

Распределение рассмотренных дел потомков за период 1990–2009 гг. и период 2010–2015 гг.

[Table 6]

Distribution of the reviewed cases of the offspring during the period 1990–2009 and 2010–2015]

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Заболевание связано [Associated disease]		Дело отложено [Postponed case]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	365	83	22,7	27	7,4
2010–2015	65	12	18,5	0	0
Всего [Total]	430	95	22,1	27	6,3

За весь период работы связь заболевания с фактом радиационного воздействия установлена у 95 потомков, что составляет 22,1% от общего числа рассмотренных у потомков дел, родившихся от различных категорий облучённых лиц. Существенно более редкая частота положительных решений, принятых Челябинским МЭС, по сравнению с положительными решениями в отношении облучённых лиц (49,4%) объясняется тем, что при принятии решений экспертами учитывался невысокий, по данным МКРЗ, риск возникновения радиационно-индуцированных наследственных заболеваний [2].

Наибольшая доля дел по поводу инвалидности, достигающая 65,6% от общего числа рассмотренных дел, отмечена для участников подразделений особого риска, наименьшая составляющая (31,4%) – для ликвидаторов аварии на ЧАЭС (табл. 7). Полученные различия могут быть связаны с более высоким средним возрастом участников подразделений особого риска по сравнению с другими категориями облучённых лиц. Дела на участников подразделений особого риска в Челябинский МЭС стали поступать только начиная с 2005 г., то есть в то время, когда эти лица достигли преклонного возраста. В то же

время дела на участников аварии на ЧАЭС рассматриваются, начиная с 1990 г., а на облучённых в результате деятельности ПО «Маяк» – начиная с 1993 г. Более высокая доля умерших лиц среди ликвидаторов аварии на ЧАЭС и участников подразделений особого риска по сравнению с облучёнными в результате деятельности ПО «Маяк» (см. табл. 7) может быть связана с преобладанием в первой группе лиц мужского пола (99,9%), а в последней группе – женского (57,6%). Поскольку в Российской Федерации, так же, как и в Уральском федеральном округе, отмечены значительные различия в средней продолжительности жизни между мужчинами и женщинами [5–7], доля умерших лиц среди облучённых лиц мужского пола также является более высокой. Низкая доля умерших потомков, составляющая только 1,2%, объясняется низким средним возрастом лиц данной группы.

Обращает на себя внимание (табл. 8) увеличение доли дел, рассмотренных по поводу установления причинной связи случаев инвалидности с 33,7% в период с 1990 по 2009 г. до 52,2% в период с 2010 по 2015 гг. Аналогичным образом увеличивается доля дел, рассмотренных по случаю установления причинной связи смерти с 12,6% до 28,1%.

Таблица 7

Распределение рассмотренных дел инвалидов и умерших лиц, относящихся к различным категориям облучённых лиц

[Table 7]

Distribution of the reviewed cases of disabled and deceased persons belonging to different groups of exposed persons]

Категории облучённых лиц [Groups of exposed persons]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Инвалиды [Disabled]		Умершие [Deceased]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
Облучённые в результате деятельности ПО «Маяк» [Exposed due to the «Mayak» PA activity]	5952	2341	39,3*	684	11,5*
Ликвидаторы аварии на ЧАЭС [Cleanup workers of ChNPP accident]	3441	1082	31,4**	844	24,5
Участники подразделений особого риска [Participants of Special Risk Units]	320	210	65,6	73	22,8
Потомки всех категорий облучённых [Offspring of all groups of exposed persons]	430	173	40,2	5	1,2
Всего [Total]	10143	3806	37,5	1606	15,8

* – $p < 0,001$ при сравнении с ликвидаторами на ПО «Маяк» и участниками подразделений особого риска [when compared with cleanup workers of the «Mayak» PA and participants of Special Risk Units];

** – $p < 0,001$ при сравнении с участниками подразделений особого риска [when compared with participants of Special Risk Units].

Таблица 8

Распределение рассмотренных дел инвалидов и умерших лиц за два рассматриваемых периода

[Table 8]

Distribution of the reviewed cases of disabled and deceased persons during two reviewed periods]

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Инвалиды [Disabled]		Умершие [Deceased]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	8050	2714	33,7*	1018	12,6*
2010–2015	2093	1092	52,2	588	28,1
Всего [Total]	10143	3806	37,5	1606	15,8

* – $p < 0,001$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,001$, when compared with group 2010–2015].

Для лиц, облучившихся в зоне влияния ПО «Маяк» (табл. 9), доля инвалидов в начальном периоде составила 36,0%, в то время как в период с 2010 по 2016 гг. –

56,5%. Доля дел, рассмотренных по поводу смерти, составила в начальном периоде 10,2%, в период с 2010 по 2015 гг. – 17,9%.

Таблица 9

Распределение инвалидов и умерших лиц из зоны влияния ПО «Маяк» за период 1990–2009 гг. и период 2010–2015 гг.

[Table 9]

Distribution of disabled and deceased persons from the «Mayak» PA area of influence during the period 1990–2009 and the period 2010–2015]

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Инвалиды [Disabled]		Умершие [Deceased]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	4979	1791	36,0*	510	10,2*
2010–2015	973	550	56,5	174	17,9
Всего [Total]	5952	2341	39,3	684	11,5

* – $p < 0,001$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,001$, when compared with group 2010–2015].

Аналогичные показатели для ликвидаторов аварии на ЧАЭС для инвалидов составили 26,1% и 46,9% соответственно (табл.10). Для умерших лиц различия

были ещё большими, доля умерших в начальном периоде составила 18,7%, в то время как в период с 2010 по 2015 гг. – 41,3%.

Таблица 10

Распределение инвалидов и умерших лиц – ликвидаторов аварии на ЧАЭС за период 1990–2009 гг. и период 2010–2015 гг.

[Table 10]

Distribution of disabled and deceased persons – cleanup workers of ChNPP accident during 1990–2009 and 2010–2015]

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Инвалиды [Disabled]		Умершие [Deceased]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	2554	666	26,1*	478	18,7*
2010–2015	887	416	46,9	366	41,3
Всего [Total]	3441	1082	31,4	844	24,5

* – $p < 0,001$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,001$, when compared with group 2010–2015].

Для периода с 1990 по 2009 г. наиболее высокая доля лиц, имеющих группу инвалидности, была зафиксирована среди участников подразделений особого риска (77,6%). В данной категории облучённых лиц в период с 2010 по 2015 г. (табл. 11) отмечено снижение доли инвалидов среди лиц, направленных в Челябинский МЭС, до 54,8%. Таким образом, в период с 2010 по 2015 г. доля инвали-

дов – участников подразделений особого риска становится сопоставимой с соответствующими показателями для облучённых в результате деятельности ПО «Маяк» (56,5%) и ликвидаторов аварии на ЧАЭС (46,9%). Доля умерших лиц, в отличие от доли инвалидов, повышалась от 17,1% до 28,0%, что соответствует общей закономерности, выявленной для других категорий облучённых лиц.

Таблица 11

Распределение инвалидов и умерших лиц – участников подразделений особого риска за период 1990–2009 гг. и период 2010–2015 гг.

[Table 11]

Distribution of disabled and deceased persons – participants of special Risk Units during 1990–2009 and 2010–2015]

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Инвалиды [Disabled]		Умершие [Deceased]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	152	118	77,6*	26	17,1**

Окончание таблицы 11

Период [Period]	Всего рассмотрено дел [Total reviewed cases]	Инвалиды [Disabled]		Умершие [Deceased]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
2010–2015	168	92	54,8	47	28,0
Всего [Total]	320	210	65,6	73	22,8

* – $p < 0,001$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,001$, when compared with group 2010–2015];

** – $p < 0,05$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,05$, when compared with group 2010–2015].

Несмотря на то, что потомки в среднем на 20–25 лет моложе родительского поколения облучённых лиц, доля документов, направленных в Челябинский МЭС по поводу инвалидности, у них как в первом, так и во втором рассматриваемых периодах была сопоставима с аналогичными показателями, выявленными у облучённых лиц. Так же, как

и для облучённых на ПО «Маяк» и ликвидаторов аварии на ЧАЭС, у потомков в период с 2010 по 2015 г. (табл. 12) отмечено увеличение доли случаев инвалидности по сравнению с начальным периодом от 38,1% до 52,3%. Доля умерших потомков как в начальном периоде, так и в период с 2010 по 2015 г. была низкой, составляя 1,1% и 1,5% соответственно.

Таблица 12

Распределение инвалидов и умерших потомков всех категорий облучённых лиц за период 1990–2009 гг. и период 2010–2015 гг.

[Table 12]

Distribution of disabled and deceased offspring of all groups of exposed persons during the period 1990–2009 and 2010–2015

Период [Period]	Всего поступило дел [Total cases]	Инвалиды [Disabled]		Умершие [Deceased]	
		Случаи [Cases]	%	Случаи [Cases]	%
1990–2009	365	139	38,1*	4	1,1
2010–2015	65	34	52,3	1	1,5
Всего [Total]	430	173	40,2	5	1,2

* – $p < 0,05$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,05$, when compared with group 2010–2015].

На протяжении всего периода деятельности Челябинского МЭС доля дел по отношению ко всем делам, поступившим по поводу установления причинной связи с радиационным воздействием случаев инвалидности (рис. 3), имела тенденцию к повышению. Исключение составили периоды с 2006 по 2009 г. и период с 2010 по 2013 г. Аналогичным образом распределялась доля дел с установленной связью инвалидности с радиационным воздействием по отношению к всем делам с установленной связью. Динамика доли дел, рассмотренных по поводу смерти, и динамика доли случаев смерти, связанных с радиационным воздействием, по отношению ко всем делам с установленной связью, обнаруживала выраженную тенденцию к росту.

При рассмотрении доли случаев инвалидности, связанных с радиационным воздействием (табл. 13.), можно видеть, что в период с 2010 по 2015 г. по сравнению с начальным периодом работы Челябинского МЭС происходит повышение данного показателя с 40,1% до 47,8%.

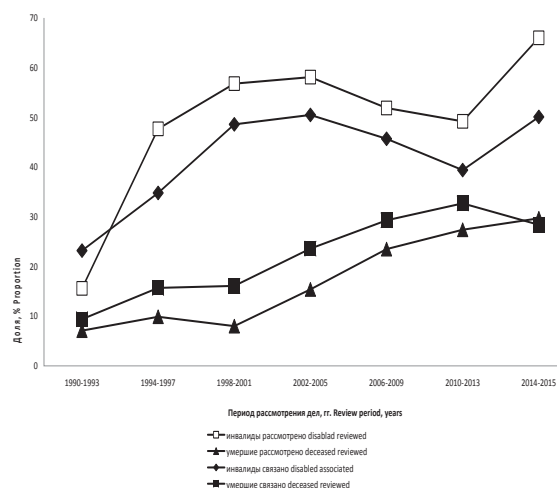


Рис. 3. Распределение по годам поступавших дел инвалидов и умерших лиц (в % от общего числа заявлений) и доли установленной причинной связи с радиацией (% от общего числа дел с установленной связью в каждый период)
[Fig. 3. Distribution (%) of incoming cases and those with ascertained causal relationship for disabled and deceased]

Ещё более значительным является повышение доли связанных случаев смерти граждан в период с 2010 по 2015 г. по сравнению с периодом 1990–2009 гг. с 19,2% до 31,3%, соответственно. Вместе с тем, доля дел с установленной связью на лиц, не являющихся инвалидами, для которых предусмотрены минимальные выплаты и компенсации (ФЗ №1241-1), сократилась с 40,7% в начальном периоде до 20,9% в заключительном. Таким образом, в период с 2010 по 2015 г. повысились средние затраты на обеспечение социальной поддержки по одному принятому положительному решению, и, соответственно, на современном этапе возрастает ответственность за принятие решений, что требует максимально взвешенных и выверенных подходов в вопросах экспертизы.

Анализ структуры патологии облученных лиц, обратившихся в Челябинский МЭС за весь период наблюдения, показал, что наиболее часто основными заболеваниями, претендующими на установление причинной связи с радиационным воздействием (в том числе приводящими к инвалидности и смерти), являются болезни системы кровообращения (IX класс по МКБ-10) и злокачественные новообразования (II класс по МКБ-10). На их долю приходится 5014 обращений облученных граждан (49,4% от общего числа рассмотренных дел) и 3492 (34,4%) соответственно. Суммарная доля заболеваний других классов, по поводу которых облученные лица обращались в МЭС, составила 16,1% (1637 случаев), а доля заболеваний по любому отдельно взятому классу заболеваний, кроме IX и II классов, не превышала 3%.

Таблица 13

Сравнение доли дел с установленной связью у инвалидов и умерших пациентов за два периода работы Челябинского МЭС

[Table 13]

Comparison of proportion of cases with ascertained relationship among disabled and deceased patients during two work periods of the Chelyabinsk IEC

Период [Period]	Число случаев с установленной связью [Number of cases with ascertained relationship]	Связано случаев инвалидности [Associated number of disability]		Связано случаев смерти [Associated number of cases of death]	
		Число [Number]	Доля, % [Proportion, %]	Число [Number]	Доля, % [Proportion, %]
1990–2009	3487	1400	40,1*	668	19,2*
2010–2015	1404	671	47,8	440	31,3

* – $p < 0,001$ при сравнении с группой 2010–2015 гг. [$p < 0,001$, when compared with group 2010–2015].

Как можно видеть из рисунка 4, произошло последовательное уменьшение доли рассмотренных дел, в которых основным заболеванием являлась патология системы кровообращения по отношению ко всем рассмотренным делам с 75,2% в 1990–1993 гг. до 29% в 2006–2009 гг. Некоторое увеличение доли случаев сердечно-сосудистой и цереброваскулярной патологии, связанных с радиационным воздействием, по отношению ко всем делам с установленной связью по сравнению с предыдущим периодом имело место в 2006–2009 гг. и было обусловлено значительно большим поступлением в МЭС дел на умерших облученных лиц. Причиной смерти в этих случаях являлись заболевания системы кровообращения, возникновение которых ранее уже было связано с радиационным фактором. В период 2010–2015 гг., в особенности в 2014–2015 гг., увеличивается доля заболеваний системы кровообращения, связанных с радиационным воздействием, что в значительной степени было связано с появлением публикаций, указывающих на увеличение рисков возникновения этих заболеваний у представителей различных групп облученного населения [8–13].

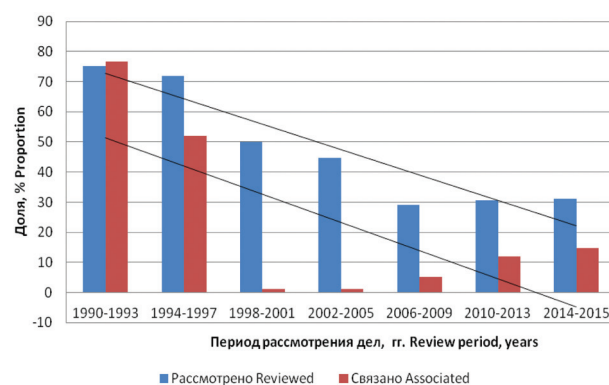


Рис. 4. Динамика доли рассмотренных дел лиц с заболеваниями сердечно-сосудистой системы (% от всех поступивших заявлений) и доли установленной связи с радиацией (% от общего числа установленных связей) в разные периоды времени

[Fig. 4. Dynamics of proportion (%) of reviewed and associated cases among persons with cardiovascular diseases]

Для доли онкологических заболеваний по отношению ко всем рассмотренным делам (рис. 5) отмечена противоположная по сравнению с заболеваниями системы кровообращения тенденция. Отмечен неуклонный рост их доли в общей структуре рассмотренных дел с 9,8% в 1990–1993 гг. до 57,1% в 2014–2015 гг. Доля случаев с установленной причинной связью развития новообразований с радиационным воздействием по отношению ко всем делам с установленной связью последовательно возрастала с 14,5% в период 1990–1993 гг. до 89,3% в 2002–2005 гг. от общего числа заболеваний с установленной связью, в последующем обнаруживая тенденцию к снижению до 77,7% в период 2014–2015 гг.

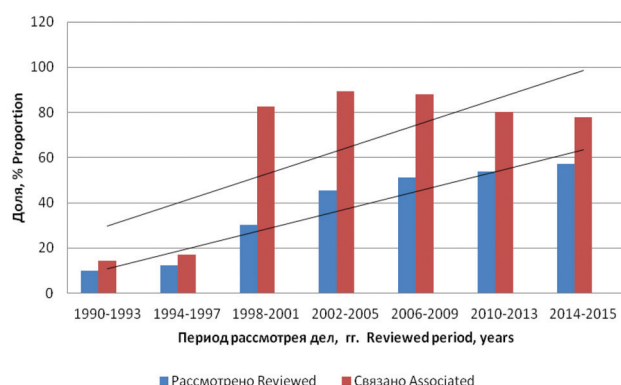


Рис. 5. Динамика доли рассмотренных дел лиц со злокачественными новообразованиями (% от всех поступивших заявлений) и доли установленной связи с радиацией (% от общего числа установленных связей) в разные периоды времени
[Fig. 5. Dynamics of reviewed and associated cases (%) in exposed persons with malignant neoplasms]

В ряде случаев в процессе первичного рассмотрения дела экспертная группа Челябинского МЭС считала невозможным вынесение какого бы то ни было решения о связи заболевания, инвалидности или смерти с радиационным воздействием. Как правило, трудности были обусловлены низким качеством поступивших на рассмотрение медицинских документов, а также отсутствием необходимых объективных данных, подтверждающих клинический диагноз или причину смерти.

Динамика числа принятых для рассмотрения дел на лиц с другими заболеваниями (помимо сосудистых заболеваний и злокачественных новообразований), не имела закономерного характера. Максимальная доля таких дел (24,9%) от общего числа поступивших на рассмотрение в данном периоде дел была рассмотрена в 2006–2009 гг., а в период с 2010 по 2015 г. она снизилась до 14,2%. Доля положительных решений Челябинского МЭС в отношении «других» заболеваний была незначительной и составила 1,5% в период с 1990 по 2009 г. и 1,8% в период с 2010 по 2015 г.

Как отмечалось выше, в начальном периоде деятельности Челябинского МЭС затруднения при принятии решения были связаны с недостаточным опытом работы, отсутствием необходимых знаний в области радиационной медицины у экспертов, привлекаемых из сторонних медицинских учреждений. По мере накопления опыта

работы сотрудниками МЭС, усиления состава МЭС за счёт привлечения радиобиологов, а также качественного улучшения оформления документов местными органами здравоохранения доля дел, требующих повторного рассмотрения, последовательно снижалась с 14,5% до 3,4%. Со временем также снижалась и доля дел, вызывающих разногласия у экспертов МЭС. Так, если доля единогласных решений Совета в 1990–1993 гг. составила 75,4%, в 2006–2009 гг. она достигла 94,7%, а в период с 2009 по 2015 г. составляла 95,1%.

Наибольшие затруднения при рассмотрении случаев заболеваний, инвалидности и смерти вызывали дела пациентов с заболеваниями эндокринной и кроветворной систем, а также с психическими расстройствами. Доля таких дел, потребовавших повторного рассмотрения или направления в Российский (федеральный) МЭС, составила 14,1%, 13,2% и 16,3% соответственно. Наименее сложными для принятия решения были дела онкологического профиля, в этом случае повторное рассмотрение или направление в совет высшей инстанции требовалось только в 1,3% случаев.

Вместе с тем, главной проблемой, затрудняющей работу МЭС в настоящее время, является отсутствие в Российской Федерации единой официально утверждённой научно обоснованной методики, которая позволяла бы проводить экспертизу состояния здоровья различных категорий облучённых граждан с учётом наработанных в радиобиологии и других разделах медицины подходов.

Выводы

1. За период работы с 1990 по 2015 гг. Челябинский МЭС рассмотрел 10 143 дела на облучённых лиц и их потомков. В период с 1990 по 2009 гг. Челябинский МЭС в среднем за календарный год рассматривал по 402,5 дела, в то время как в 2010–2015 гг. – по 299,0.

2. Основная масса рассмотренных Челябинским МЭС дел приходится на лиц, облучившихся вследствие аварии на ПО «Маяк» (58,7%), и ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС (33,9%). Доля участников подразделений особого риска и потомков облучённого населения составили небольшую часть – 3,2% и 4,3% соответственно.

3. За период с 1990 по 2015 г. общее число дел с установленной связью с радиационным воздействием составило 4891 из 10143 рассмотренных дел (48,2%). Наиболее высокий процент связанных с радиационным воздействием дел (56,5%) отмечен для ликвидаторов аварии на ЧАЭС, самый низкий уровень связанных дел (22,1%) зафиксирован для потомков.

4. За период 2010–2015 гг. произошло увеличение доли рассмотренных дел с установленной причинной связью по сравнению с начальным периодом работы с 43,3% до 67,1%. При этом отмечено наибольшее увеличение данного показателя для облучившихся вследствие аварии на ПО «Маяк» и ликвидаторов аварии на ЧАЭС, а для потомков – некоторое снижение.

5. В 2010–2015 гг. отмечено существенное сокращение доли дел, по которым не удалось принять решение при первичном рассмотрении. Наиболее значительное сокращение таких дел наблюдалось для ликвидаторов аварии на ЧАЭС – с 11,7% до 1,0%. Наибольшие сложности вызывали дела пациентов с заболеваниями эндо-

кринной и кроветворной систем, а также пациентов с психическими расстройствами.

6. Наибольшая доля дел, поступивших от инвалидов, достигающая 65,6% от общего числа рассмотренных дел, отмечена для участников подразделений особого риска, наименьшая составляющая (31,4%) для ликвидаторов аварии на ЧАЭС. Произошло увеличение доли дел, рассмотренных по поводу установления причинной связи случаев инвалидности, с 33,7% в начальном периоде до 52,2% в заключительном. Для участников подразделений особого риска, напротив, зафиксировано снижение данного показателя.

7. Доля дел, рассмотренных Челябинским МЭС по случаю смерти пациентов за начальный период времени, составила 12,6%, в то время как за период времени с 2010 по 2015 г. – 28,1%. Наиболее заметным был рост в категории ликвидаторов аварии на ЧАЭС с 18,7% до 41,3%.

8. Болезни системы кровообращения и злокачественные новообразования составили 49,4% и 34,4% соответственно от общего числа рассмотренных дел. Число дел, поступивших на рассмотрение по поводу заболеваний системы кровообращения, имело тенденцию к снижению. Динамика доли дел с установленной связью при этом имела сложный характер: отмечено значительное снижение в период с 1993 по 2005 г. и постепенное повышение после 2006 г.

9. Отмечена общая тенденция к росту доли как рассмотренных, так и связанных дел по онкологическим заболеваниям.

Литература

- Ильин, Л.А. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Л.А. Ильин, Р.М. Алексахин, Л.А. Булдаков, В.А. Губанов [и др.]; под общ. ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. – М.: ИздАТ, 2001. – 752 с.
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- Гланц, С. Медико-биологическая статистика: пер. с англ. / С. Гланц. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
- Аклеев, А.В. Опыт экспертизы состояния здоровья граждан, подвергшихся радиационному воздействию / А.В. Аклеев, С.А. Шалагинов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2011. – № 1. – С. 11–17.
- Демографический ежегодник России. – М.: Росстат, 2002. – 397 с.
- Демографический ежегодник России. – М.: Росстат, 2007. – 551 с.
- Медков, В.М. Демография / В.М. Медков. // Демография: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: «Феникс», 2002. – С. 343–344.
- Публикация 118 МКРЗ. Отчет МКРЗ по тканевым реакциям, ранним и отдаленным эффектам в нормальных тканях и органах – пороговые дозы для тканевых реакций в контексте радиационной защиты / Ф.А. Стюарт [и др.]; ред.: А.В. Аклеев, М.Ф. Киселев; пер. с англ.: Е.М. Жидкова, Н.С. Котова. – Челябинск: Книга, 2012. – 384 с.
- AGIR, 2010. Circulatory Disease Risk. Report of the Independent Advisory Group on Ionising Radiation. Doc. HPA (Health Protection Agency), RCE-16. Chilton.
- Shimizu, Y., Kodama, K., Nishi, N., [et al.] Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950–2003. 2010, BMJ 340, b5349.
- Azizova TV, Muirhead CR, Druzhinina MB, Grigoryeva ES, Vlasenko EV, Sumina MV, O'Hagan JA, Zhang W, Haylock RGE, Hunter N. Cardiovascular diseases in the cohort of workers first employed at Mayak PA in 1948–1958. 2010, Radiat. Res. 174:155–168.
- Azizova TV, Muirhead CR, Moseeva MV, Grigoryeva ES, Sumina MV, O'Hagan JA, Zhang W, Haylock RGE, Hunter N. Cerebrovascular diseases in nuclear workers first employed at the Mayak PA in 1948–1972. 2011, Radiat. Environ. Biophys. 50:539–552.
- Krestinina L.Y., Epifanova S., Silkin S., Mikryukova L., Degteva M., Shagina N., Akleyev A. Chronic low-dose exposure in the Techa River Cohort: risk of mortality from circulatory diseases. 2013, Radiat. Environ. Biophys. 52:47–57.

Поступила: 25.01.2018 г.

Аклеев Александр Васильевич – доктор медицинских наук, директор Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России, Челябинск, Россия

Шалагинов Сергей Александрович – старший научный сотрудник эпидемиологической лаборатории Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России.

Адрес для переписки: 454076, Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 68-А; E-mail: shalaginov@urcrim.ru

Для цитирования: Аклеев А.В., Шалагинов С.А. Сравнительный анализ результатов экспертизы состояния здоровья облучённых граждан в Челябинском МЭС за период с 1990 по 2015 г. // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 6-17. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-6-17

Comparative analysis of the results of expert examination of health status of the exposed people obtained at Chelyabinsk Interdepartmental Expert Council over the period 1990–2015

Alexander V. Akleyev, Sergey A. Shalaginov

¹ Urals Research Center for Radiation Medicine, Chelyabinsk, Russia

² Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

The article presents a comparative analysis of the key performance indicators of the Chelyabinsk Regional Interdepartmental Expert Council on ascertainment of the causal relationship of diseases with radiation exposure over the periods 1990–2009 and 2010–2015. The sources of information were annual reports of the Chelyabinsk Interdepartmental Expert Council as well as its standard protocols of meetings and decisions. During the period under review, all groups of the population served underwent natural aging process; the proportion of reconsidered cases increased mainly due to the cases considered for disability and death of the exposed individuals. The causal relationship was determined more often during the period 2010–2015 than in earlier periods: 43,3% and 67,1% respectively. Positive decisions were taken most often regarding the persons with malignant neoplasms (62.9% of the total number of the positively considered decisions). The relationship of disability and death with radiation exposure during 2010–2015 was established more often, whereas the proportion of postponed cases decreased significantly.

Key words: cleanup workers of the Chernobyl NPP accident, Mayak PA, expert examination of exposed persons, causal relationship, malignant neoplasms, cardio-vascular diseases, disability, mortality.

References

1. Ilyin L.A., Aleksahin R.M., Buldakov L.A., Gubanov V.A. [et al.] Major radiation accidents: consequences and protective measures. Ed. by Ilyin L.A. and Gubanov V.A. Moscow, 2001, 752 p. (In Russian).
2. ICRP Publication 103/Annals of the ICRP. 2007, 37, No 2–4, 332 pp.
3. Glanz S. Medico-biological statistics. Moscow, 1998, 459 p. (In Russian).
4. Akleev A.V., Shalaginov S.A. Experience of the expert evaluation of citizens impacted by the radiation. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety, 2011, №1, pp. 11–17. (In Russian).
5. Demographic annual report of Russia. Moscow, Rosstat, 2002, 397 p. (In Russian).
6. Demographic annual report of Russia. Moscow, Rosstat, 2007, 551 p. (In Russian).
7. Medkov V.M. Demography: a handbook. Rostov-on-Don, Phoenix, 2002, pp. 343–344. (In Russian).
8. ICRP Publication 118: ICRP early statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs – threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. Annals of ICRP – 2012. Russian translation by E.M. Zhidkova and N.S. Kotova. Edited by A.V. Akleev and M.F. Kiselev. Chelyabinsk, 2012, 384 p. (In Russian).
9. AGIR, 2010. Circulatory Disease Risk. Report of the Independent Advisory Group on Ionising Radiation. Doc. HPA (Health Protection Agency), RCE-16. Chilton.
10. Shimizu, Y., Kodama, K., Nishi, N., [et al.] Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950–2003. 2010, BMJ 340, b5349.
11. Azizova TV, Muirhead CR, Druzhinina MB, Grigoryeva ES, Vlasenko EV, Sumina MV, O'Hagan JA, Zhang W, Haylock RGE, Hunter N. Cardiovascular diseases in the cohort of workers first employed at Mayak PA in 1948–1958. 2010, Radiat Res 174:155–168.
12. Azizova TV, Muirhead CR, Moseeva MV, Grigoryeva ES, Sumina MV, O'Hagan JA, Zhang W, Haylock RGE, Hunter N. Cerebrovascular diseases in nuclear workers first employed at the Mayak PA in 1948–1972. 2011, Radiat Environ Biophys 50:539–552.
13. Krestinina L.Y., Epifanova S., Silkin S., Mikryukova L., Degteva M., Shagina N., Akleyev A. Chronic low-dose exposure in the Techa River Cohort: risk of mortality from circulatory diseases. 2013, Radiat Environ Biophys 52:47–57.

Received: January 25, 2018

Alexander V. Akleyev – Doctor of Medical Science, Director, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency, Chelyabinsk, Russia

Sergey A. Shalaginov – Candidate of Medical Science, Senior Researcher, Epidemiological laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency **For correspondence:** Vorovsky str., 68-A, Chelyabinsk, 454076, Russia; E-mail: shalaginov@urcrm.ru

For citation: Akleyev A.V., Shalaginov S.A. Comparative analysis of the results of expert examination of health status of the exposed people obtained at Chelyabinsk Interdepartmental Expert Council over the period 1990–2015. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 1, pp.6–17. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-6-17

Sergey A. Shalaginov – Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency

Address for correspondence: Vorovsky str., 68-A, Chelyabinsk, 454076, Russia; E-mail: shalaginov@urcrm.ru

Критерии защиты населения после радиационной аварии: структура потребления пищевых продуктов и особенности формирования доз внутреннего облучения различных возрастных групп населения Российской Федерации

В.С. Репин

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Целью работы является оценка соответствия возможных доз внутреннего облучения населения Российской Федерации, полученных на основе современных данных о потреблении пищевых продуктов, подвергшихся аварийному радиоактивному загрязнению, дозовым критериям принятия решений об ограничении потребления пищевых продуктов. Оценки выполнены для ситуации загрязнения основных пищевых продуктов (молоко, картофель, овощи, мясо, фрукты и рыба) цезием-137 и стронцием-90 с удельной активностью 1000 Бк/кг и 100 Бк/кг, соответственно. Показано, что с учетом современных данных об уровнях потребления различных пищевых продуктов, рассчитанные дозы облучения всех возрастных групп населения не превышают дозового критерия НРБ-99/2009 – 5 мЗв при потреблении любого из перечисленных пищевых продуктов в течение первого года после аварии, как для цезия-137, так и для стронция-90. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования временных допустимых уровней содержания цезия-137 и стронция-90 при загрязнении одного и более пищевых продуктов.

Ключевые слова: пищевые продукты, ^{137}Cs , ^{90}Sr , удельная активность, доза облучения, критерий вмешательства.

Введение

В основу обеспечения радиационной безопасности персонала и населения положены пределы доз облучения, выраженные количественно через величину эффективной дозы и величины эквивалентных доз облучения отдельных органов [1].

Радиационная безопасность населения при поступлении техногенных радионуклидов в организм с пищевыми продуктами в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующих излучений (ИИИ), в соответствии с НРБ-99/2009¹, обеспечивается путем установления пределов эффективной дозы и соответствующих им пределов годового поступления радионуклидов.

В условиях радиационной аварии радиационная защита в соответствии с НРБ-99/2009 обеспечивается путем установления уровней вмешательства по дозе или по удельной активности радионуклидов в пищевых продуктах.

Одной из особенностей установления пределов годового поступления в условиях нормальной эксплуатации ИИИ является расчет его величины по наибольшему дозовому коэффициенту для некоторой возрастной группы, определяемой, как «критическая группа». Предполагается, что, «защищая» критическую группу, гарантируется радиационная защита и всех остальных возрастных групп населения.

¹ Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47 (зарегистрированы Минюстом России от 14.08.2009 г., регистрационный № 14534) [Sanitary Norms and Regulations SanPiN 2.6.1.2523-09 "Norms of Radiation Safety (NRB-99/2009)" approved by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47 (registered by the Ministry of Justice of Russia dated 14.08.2009 registration No. 14534)]

Репин Виктор Степанович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: v.repin@mail.ru

В нормах радиационной безопасности НРБ-99/2009 (таблицы 6.3–6.5) предусмотрены два уровня критериев принятия решений «А» и «Б». При этом, если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием не превосходит уровень «А», то нет необходимости в выполнении мер защиты, связанных с нарушением нормальной жизнедеятельности. В частности, для ^{137}Cs уровень «А» для пищевых продуктов принят равным 1000 Бк/кг, а для ^{90}Sr – 100 Бк/кг.

Доза внутреннего облучения зависит от удельной активности пищевых продуктов, возраста и структуры рациона, то есть массы основных продуктов, потребляемых в течение года.

Цель исследования – оценка соответствия возможных доз внутреннего облучения населения Российской Федерации, полученных на основе современных данных о потреблении пищевых продуктов, подвергшихся аварийному радиоактивному загрязнению, дозовым критериям принятия решений об ограничении потребления пищевых продуктов.

Такая постановка задачи является не новой. В работе [2] автор проводит аналогичную ретроспективную оценку надежности и эффективности уровней вмешательства по защите населения на различных стадиях аварии на ЧАЭС.

Материалы и методы

Оценка доз облучения выполнена для двух радиологически значимых радионуклидов: ^{137}Cs и ^{90}Sr . Данные радионуклиды различаются по метаболическим свойствам. Периоды полураспада ^{137}Cs и ^{90}Sr близки к 30 годам, но ^{137}Cs при поступлении в организм распределяется равномерно по органам и тканям и выводится из организма лиц разного возраста с периодами от 13 до 110 суток, тогда как ^{90}Sr накапливается преимущественно в костной ткани и задерживается в организме на протяжении всей жизни. В таблице 1 приведены дозовые коэффициенты k_d на 1 Бк поступления данных радионуклидов в организм, данные в публикациях МКРЗ №56 и №72 [3,4] и в основных стандартах безопасности МАГАТЭ [5].

Таблица 1

Дозовые коэффициенты k_d для ^{137}Cs и ^{90}Sr (Зв/Бк)

[Table 1]

Dose coefficients, k_d , for ^{137}Cs and ^{90}Sr (Sv / Bq)]

Возраст, лет [Age, years]	^{137}Cs	^{90}Sr
1	$1,2 \times 10^{-8}$	$7,3 \times 10^{-8}$
5	$9,6 \times 10^{-9}$	$4,7 \times 10^{-8}$
10	$1,0 \times 10^{-8}$	$6,0 \times 10^{-8}$
15	$1,3 \times 10^{-8}$	$8,0 \times 10^{-8}$
Взрослые > 20 лет [Adult]	$1,3 \times 10^{-8}$	$2,8 \times 10^{-8}$

Из таблицы 1 видно, что у каждого из названных радионуклидов наибольшие дозовые коэффициенты относятся к лицам разного возраста: для ^{137}Cs это население в возрасте 20 лет и старше, а для ^{90}Sr – подростки 15 лет.

Доза облучения за счет потребления лицами k -го возраста j -го пищевого продукта, загрязненного i -тым радионуклидом может быть рассчитана следующим образом:

$$D_{ijk} = C_{ij} \cdot k_{dik} \cdot m_{jk} \cdot t, (1)$$

где C_{ij} – удельная активность i -го радионуклида в j -ом пищевом продукте;

k_{dik} – дозовый коэффициент на 1 Бк поступления радионуклида с пищей (табл. 1), Зв/Бк;

m_{jk} – средняя масса потребления лицами k -го возраста j -го пищевого продукта, кг/сут;

t – длительность потребления загрязненного пищевого продукта, сут;

Доза облучения для лиц разного возраста, как это следует из формулы 1, зависит не только от дозового коэффициента, но и от массы потребления пищевого продукта, также зависящей от возраста.

Учет массы потребления пищевых продуктов в зависимости от возраста широко используется в дозиметрических расчетах, как в научных публикациях [6–8] и в официальных документах [9, 10], так и в методических документах¹. Так, например, при обосновании предельных уровней удельной активности радионуклидов в пищевых продуктах в международных стандартах Кодекса Алиментариус, расчеты производились из условия, что взрослые жители ежегодно потребляют суммарно 550 кг/год пищевых продуктов, а младенцы – 200 кг/год [9]. При оценке доз облучения детей после аварии на ЧАЭС производился опрос жителей с целью уточнения реальных уровней потребления молока и других продуктов детьми и взрослыми [6], в которой показано, что средние уровни потребления молока варьируются, в зависимости от возраста и пола, от 0,2 до 0,8 л/сут. Возрастные диапазоны, для которых рассчитывались уровни потребления, представлены в научных публикациях весьма разнообразно и, как правило, не соответствовали возрастным диапазонам, для которых приведены дозовые коэффициенты. Следует отметить, что пищевая корзина потребления, по данным Росстата, меняется в сторону больших или меньших уровней потребления основных продуктов. В данной работе оценка доз произведена с использованием наиболее свежих данных Росстата за 2015 год о среднедушевом годовом потреблении пищевых продуктов [11]. Однако, поскольку данные Росстата приведены для населения в целом, то одна из задач работы заключалась в том, чтобы среднестатистические данные для всего населения пересчитать на уровни потребления отдельных продуктов различными возрастными группами. Для рас-

² Оценка доз облучения детей, проживающих на территориях, радиоактивно загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Методические рекомендации МР 2.6.1.0007-10. М., 2010. 32 с. [Assessment of radiation doses for children living in areas radioactively contaminated due to the Chernobyl accident. Methodical recommendations of the МР 2.6.1.0007-10, Moscow, 2010, 32 p.]

чета были использованы данные Республики Беларусь, представленные в работе [12]. Расчет выполнен из предположения, что рационы жителей союзного государства Россия-Беларусь близки по набору продуктов и по соотношению уровней потребления в отдельных возрастных группах. При оценке уровней потребления возрастные группы (Таблица 1) формировались, так, чтобы можно было наилучшим образом воспользоваться дозовыми коэффициентами МКРЗ [ссылка]. Результаты расчета уровней потребления в возрастных группах населения приведены в таблице 2.

Результаты и обсуждение

Цезий-137

Расчет доз облучения для цезия-137 выполнен в соответствии с формулой 1 для основных пищевых продуктов, представленных в таблице 2, для условия, что удельная активность каждого из рассмотренных пищевых продуктов равна 1000 Бк/кг, а длительностью потребления составляет 365 суток. Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 2

Потребление пищевых продуктов различными возрастными группами населения Российской Федерации (рассчитано по данным Росстата России за 2015 год [11] и данных Республики Беларусь об уровнях потребления продуктов лицами разного возраста [12]), кг/сут.

[Table 2]

Consumption of food products by different age groups of the population of the Russian Federation (calculated according to the data of the Federal State Statistics Service of Russia for 2015 [11] and data of the Republic of Belarus in [12]), kg / day.]

Возраст, лет [Age, years]	Хлебные продукты [Bread products]	Картофель [Potatoes]	Овощи и бахчевые [Vegetables and melons]	Фрукты и ягоды [Fruits and berries]	Мясо и мясопродукты [Meat and meat products]	Рыба и рыбопродукты [Fish and fish products]	Молоко и молочные продукты [Milk and dairy products]
1–4	0,140	0,098	0,146	0,206	0,107	0,056	0,533
5–9	0,186	0,139	0,222	0,232	0,149	0,063	0,572
10–14	0,232	0,169	0,256	0,296	0,203	0,066	0,601
15–19	0,272	0,168	0,276	0,267	0,241	0,063	0,704
20–29	0,275	0,167	0,288	0,200	0,243	0,058	0,822
30–39	0,260	0,158	0,273	0,195	0,233	0,058	0,728
40–49	0,242	0,149	0,255	0,190	0,220	0,058	0,648
50–59	0,208	0,129	0,222	0,177	0,156	0,054	0,596
60–69	0,208	0,129	0,222	0,177	0,156	0,054	0,596
> 69	0,208	0,129	0,222	0,177	0,156	0,054	0,596

Таблица 3

Дозы внутреннего облучения лиц разного возраста за счет потребления различных пищевых продуктов с удельной активностью ^{137}Cs 1000 Бк/кг в течение года

[Table 3]

Doses of internal exposure for different age groups of people due to consumption of various food products with the ^{137}Cs activity concentration of 1000 Bq/kg during a year]

Возраст, лет [Age, years]	Хлебные продукты [Bread products]	Картофель [Potatoes]	Овощи и бахчевые [Vegetables and melons]	Фрукты и ягоды [Fruits and berries]	Мясо и мясопродукты [Meat and meat products]	Рыба и рыбопродукты [Fish and fish products]	Молоко и молочные продукты [Milk and dairy products]
1–4	$6,13 \times 10^{-1}$	$4,29 \times 10^{-1}$	$6,39 \times 10^{-1}$	$9,02 \times 10^{-1}$	$4,69 \times 10^{-1}$	$2,45 \times 10^{-1}$	$2,33 \times 10^0$
5–9	$6,52 \times 10^{-1}$	$4,87 \times 10^{-1}$	$7,78 \times 10^{-1}$	$8,13 \times 10^{-1}$	$5,22 \times 10^{-1}$	$2,21 \times 10^{-1}$	$2,00 \times 10^0$
10–14	$8,47 \times 10^{-1}$	$6,17 \times 10^{-1}$	$9,34 \times 10^{-1}$	$1,08 \times 10^0$	$7,41 \times 10^{-1}$	$2,41 \times 10^{-1}$	$2,19 \times 10^0$
15–19	$1,29 \times 10^0$	$7,97 \times 10^{-1}$	$1,31 \times 10^0$	$1,27 \times 10^0$	$1,14 \times 10^0$	$2,99 \times 10^{-1}$	$3,34 \times 10^0$
20–29	$1,30 \times 10^0$	$7,92 \times 10^{-1}$	$1,37 \times 10^0$	$9,49 \times 10^{-1}$	$1,15 \times 10^0$	$2,75 \times 10^{-1}$	$3,90 \times 10^0$
30–39	$1,23 \times 10^0$	$7,50 \times 10^{-1}$	$1,30 \times 10^0$	$9,25 \times 10^{-1}$	$1,11 \times 10^0$	$2,75 \times 10^{-1}$	$3,45 \times 10^0$
40–49	$1,15 \times 10^0$	$7,07 \times 10^{-1}$	$1,21 \times 10^0$	$9,02 \times 10^{-1}$	$1,04 \times 10^0$	$2,75 \times 10^{-1}$	$3,07 \times 10^0$
50–59	$9,87 \times 10^{-1}$	$6,12 \times 10^{-1}$	$1,05 \times 10^0$	$8,40 \times 10^{-1}$	$7,40 \times 10^{-1}$	$2,56 \times 10^{-1}$	$2,83 \times 10^0$
60–69	$9,87 \times 10^{-1}$	$6,12 \times 10^{-1}$	$1,05 \times 10^0$	$8,40 \times 10^{-1}$	$7,40 \times 10^{-1}$	$2,56 \times 10^{-1}$	$2,83 \times 10^0$
> 69	$9,87 \times 10^{-1}$	$6,12 \times 10^{-1}$	$1,05 \times 10^0$	$8,40 \times 10^{-1}$	$7,40 \times 10^{-1}$	$2,56 \times 10^{-1}$	$2,83 \times 10^0$

Из таблицы 3 видно, что наибольший вклад в дозы облучения всех возрастных групп населения дает молоко и молочные продукты, а наименьший – рыбопродукты и картофель. Среди продуктов, формирующих наибольшие дозы у подростков можно выделить фрукты, а у лиц в возрасте от 15 до 50 лет – хлебные продукты, овощи и мясо-продукты. Максимальная дозы облучения формируется за счет молока у лиц в возрасте от 20 до 29 лет.

На рисунке 1 показано распределение доз облучения в зависимости от возраста за счет потребления молока с удельной активностью цезия-137 - 1000 Бк/кг. Характерной особенностью данного распределения является постепенный рост дозы к возрасту 20-29 лет и снижение к возрасту 50 и более лет.

Представляет интерес сравнить критерий принятия решений по удельной активности радионуклида (таблица 6.5 из НРБ-99/2009) с критерием по дозе, предотвращаемой, если вводить запрет на потребление данного продукта (таблица 6.4 из НРБ-99/2009). В таблице 6.4 НРБ-99/2009 эффективная доза за первый год, соответствующая критерию «А», принята равной 5 мЗв. Важно заметить, что в п. 6.7 НРБ-99/2009 не приводится пояснения к какой категории населения относится данная доза (населению в целом или критической группе населения), в то время как в критериях по безопасности МАГАТЭ GSG-2 [13] действующие уровни вмешательства рассчитаны по наиболее жёстким зависящим от возраста дозовым коэффициентам, то есть для наиболее уязвимых лиц из населения – детей и беременных женщин.

Из таблицы 3 и рисунка 1 видно, что в качестве репрезентативного индивидуума по молоку выступают лица в возрасте 20–29 лет и при удельной активности молока 1000 Бк/кг их доза близка к 5 мЗв/год, но не превышает

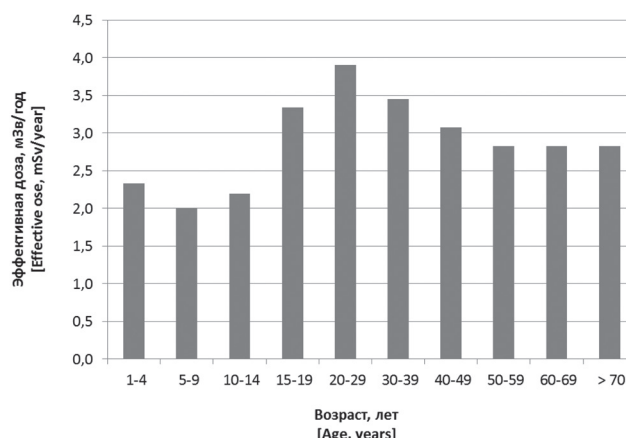


Рис. 1. Дозы облучения лиц разного возраста за счет потребления молока с удельной активностью цезия-137 1000 Бк/кг

[Fig. 1. Annual doses for different age groups of people due to consumption of milk and dairy products with the ^{137}Cs activity concentration of 1000 Bq / kg]

этого значения. Что касается остальных пищевых продуктов, то за счет малых уровней их годового потребления, дозы облучения при такой же удельной активности (1000 Бк/кг) не превышают 1,5 мЗв.

Стронций-90

Аналогичные результаты расчета для случая загрязнения пищевых продуктов стронцием-90 с удельной активностью 100 Бк/кг представлены в таблице 4 и на рисунке 2.

Дозы внутреннего облучения лиц разного возраста за счет потребления в течение года различных пищевых продуктов с удельной активностью ^{90}Sr 100 Бк/кг

Таблица 4

[Table 4

Doses of internal exposure for different ages groups of people due to consumption of various food products with the ^{90}Sr activity concentration of 100 Bq/kg during a year]

Возраст, лет [Age, years]	Хлебные продукты [Bread products]	Картофель [Potatoes]	Овощи и бахчевые [Vegetables and melons]	Фрукты и ягоды [Fruits and berries]	Мясо и мясопродукты [Meat and meat products]	Рыба и рыбопродукты [Fish and fish products]	Молоко и молочные продукты [Milk and dairy products]
0–4	$3,73 \times 10^{-1}$	$2,61 \times 10^{-1}$	$3,89 \times 10^{-1}$	$5,49 \times 10^{-1}$	$2,85 \times 10^{-1}$	$1,49 \times 10^{-1}$	$1,42 \times 10^0$
5–9	$3,19 \times 10^{-1}$	$2,38 \times 10^{-1}$	$3,81 \times 10^{-1}$	$3,98 \times 10^{-1}$	$2,56 \times 10^{-1}$	$1,08 \times 10^{-1}$	$9,81 \times 10^{-1}$
10–14	$5,08 \times 10^{-1}$	$3,70 \times 10^{-1}$	$5,61 \times 10^{-1}$	$6,48 \times 10^{-1}$	$4,45 \times 10^{-1}$	$1,45 \times 10^{-1}$	$1,32 \times 10^0$
15–19	$7,94 \times 10^{-1}$	$4,91 \times 10^{-1}$	$8,06 \times 10^{-1}$	$7,80 \times 10^{-1}$	$7,04 \times 10^{-1}$	$1,84 \times 10^{-1}$	$2,06 \times 10^0$
20–29	$2,81 \times 10^{-1}$	$1,71 \times 10^{-1}$	$2,94 \times 10^{-1}$	$2,04 \times 10^{-1}$	$2,48 \times 10^{-1}$	$5,93 \times 10^{-2}$	$8,40 \times 10^{-1}$
30–39	$2,66 \times 10^{-1}$	$1,61 \times 10^{-1}$	$2,79 \times 10^{-1}$	$1,99 \times 10^{-1}$	$2,38 \times 10^{-1}$	$5,93 \times 10^{-2}$	$7,44 \times 10^{-1}$
40–49	$2,47 \times 10^{-1}$	$1,52 \times 10^{-1}$	$2,61 \times 10^{-1}$	$1,94 \times 10^{-1}$	$2,25 \times 10^{-1}$	$5,93 \times 10^{-2}$	$6,62 \times 10^{-1}$
50–59	$2,13 \times 10^{-1}$	$1,32 \times 10^{-1}$	$2,27 \times 10^{-1}$	$1,81 \times 10^{-1}$	$1,59 \times 10^{-1}$	$5,52 \times 10^{-2}$	$6,09 \times 10^{-1}$
60–69	$2,13 \times 10^{-1}$	$1,32 \times 10^{-1}$	$2,27 \times 10^{-1}$	$1,81 \times 10^{-1}$	$1,59 \times 10^{-1}$	$5,52 \times 10^{-2}$	$6,09 \times 10^{-1}$
>69	$2,13 \times 10^{-1}$	$1,32 \times 10^{-1}$	$2,27 \times 10^{-1}$	$1,81 \times 10^{-1}$	$1,59 \times 10^{-1}$	$5,52 \times 10^{-2}$	$6,09 \times 10^{-1}$

Из таблицы 4 видно, что при одной и той же удельной активности стронция-90 в пищевых продуктах максимальные дозы облучения формируются за счет молока. Вне зависимости от вида продукта максимальные дозы формируются в возрастной группе 15–19 лет, а, начиная с 20-летнего возраста, эффективные дозы снижаются в 2 раза и более.

На рисунке 2 показано распределение доз в зависимости от возраста при годовом потреблении молока с удельной активностью ^{90}Sr 100 Бк/кг. Как видно из рисунка, наибольшие дозы облучения характерны для детей и подростков, но критической группой по дозе, с учетом дозового коэффициента и массы потребления продуктов, являются лица в возрасте от 15 до 19 лет.

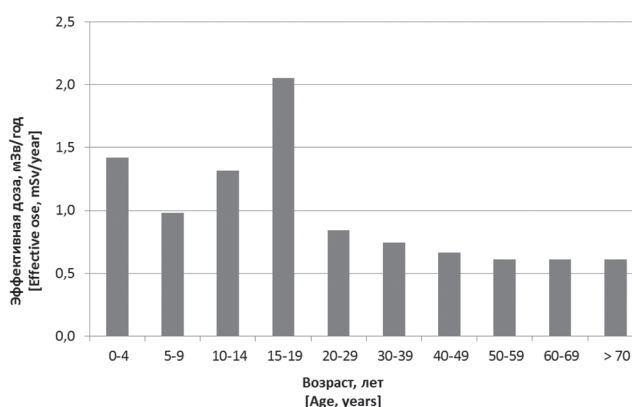


Рис. 2. Эффективные дозы облучения лиц разного возраста за счет потребления в течение года молока с удельной активностью ^{90}Sr 100 Бк/кг

[Fig. 2. Annual effective doses to different age groups of people due to consumption of milk and dairy products with the ^{90}Sr activity concentration of 100 Bq / kg]

Из сопоставления доз облучения, рассчитанных по критерию удельной активности с критерием принятия решений об ограничении потребления пищевых продуктов, видно, что по стронцию-90 удельная активность 100 Бк/кг обеспечивают более, чем двух-кратный запас по молоку и более, чем пяти-кратный запас по другим пищевым продуктам.

В заключение представляет интерес также сравнить критерии принятия решений по удельной активности радионуклидов в НРБ-99/2009 с действующими уровнями вмешательства (ДУВ), предложенными в общем руководстве по безопасности МАГАТЭ [13]. Значения ДУВ в руководстве МАГАТЭ по ^{137}Cs и ^{90}Sr в 2 раза больше, чем в НРБ-99/2009, и составляют 2000 Бк/кг и 200 Бк/кг, соответственно. Эти различия объясняются тем, что уровни вмешательства в НРБ-99/2009 рассчитывались исходя из уровня вмешательства 5 мЗв/год, тогда как ДУВ МАГАТЭ рассчитывались исходя из референтного уровня 10 мЗв/год.

Выводы

Современная структура потребления основных пищевых продуктов различными возрастными группами населения Российской Федерации позволяет сохранить

непротиворечивость дозового критерия и критерия по удельной активности, представленных в НРБ-99/2009 в таблицах 6.4 и 6.5 для цезия-137 и стронция-90, причем для стронция-90 имеется двух-кратный запас по удельной активности.

Непротиворечивость аварийных критериев НРБ-99/2009 сохраняется для всех возрастных групп, включая критическую группу.

При одной и той же удельной активности пищевых продуктов наибольший вклад в дозу облучения всех возрастных групп дает потребление молока. Дозы облучения за счет потребления остальных продуктов в 2–5 раз ниже.

Представленные результаты расчетов могут быть полезными при обосновании временных допустимых уровней загрязнения одного и более пищевых продуктов и критериев принятия решений в случае радиационной аварии.

Литература

1. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите / пер. с англ., под общей ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. - М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. - 312 с.
2. Константинов, Ю.О. Чернобыльская авария: обоснование и реализация решений по защите населения / Ю.О. Константинов // Радиационная гигиена. - 2011. - Том 4, № 2. - С. 59-67.
3. ICRP - International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 1. ICRP Publication 56. Ann. ICRP 20 (2), 1990.
4. ICRP - International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 72. Ann. ICRP 26 (1), 1995.
5. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности, часть 3. № GSR Part 3. Вена: МАГАТЭ, 2015. - 520 с.
6. Звонова, И.А. Параметры режима питания и поведения жителей Брянской области в мае 1986 г., влияющие на оценку дозы, полученной вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / И.А. Звонова, Т.В. Жеско, А.А. Братилова // Радиационная гигиена. - 2011. - Том 4, № 2. - С. 50-58.
7. Шандала, Н.К. Нормирование и контроль содержания радионуклидов в пищевых продуктах после Чернобыльской аварии / Н.К. Шандала, М.Н. Савкин, А.В. Титов, Е.Г. Метляев; под ред. акад. Ю.А. Израэля // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: труды межд. конф., Москва, 5-6 декабря 2005 г. - СПб.: Гидрометеоздат, 2006. - Т. 3. - С. 258-261.
8. Громов, А.В. Особенности оценки текущих доз облучения детей, проживающих на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях / А.В. Громов, Г.Я. Брук, В.В. Кучумов, И.К. Романович // Радиационная гигиена. - 2011. - Том 4, № 1. - С. 38-44.
9. CODEX STAN 193-1995. Codex General Standard for Contaminants and Toxins In Food And Feed Adopted 1995; Revised 1997, 2006, 2008, 2009; Amended 2009, 2010).
10. SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2013. Report to the General Assembly with Scientific Annexes V.I. Scientific Annex A, 2014, 321 p.
11. Потребление, пищевая и энергетическая ценность продуктов питания в домашних хозяйствах: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/level/# (дата обращения: 12.10.2017).

12. Рациональные нормы потребления пищевых продуктов для различных групп населения республики Беларусь: http://minzdrav.gov.by/ru/static/kultura_zdorovia/racion_pitanie (дата обращения 10.10.2017).

13. Критерии для использования при обеспечении готовности реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Общее руководство по безопасности, № GSG-2, МАГАТЭ, Вена, 2012.

Поступила: 15.11.2017 г.

Репин Виктор Степанович – доктор биологических наук, руководитель отдела здоровья Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: v.repin@niirg.ru

Для цитирования: Репин В.С. Критерии защиты населения после радиационной аварии: структура потребления пищевых продуктов и особенности формирования доз внутреннего облучения различных возрастных групп населения Российской Федерации // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 18-24. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-18-24

Criteria for the protection of population after radiation accident: food consumption structure and peculiarities of the internal doses formation of various age groups of the population of the Russian Federation

Viktor S. Repin

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

The aim of the work is to assess the compliance of the possible doses to the population of the Russian Federation, calculated on the basis of current data on the levels of food consumption with the activity concentration corresponding to the intervention «A», according to NRB-99/2009, the dose criteria for making decisions on limiting food consumption. Estimates are made for the situation of contamination of the main food products (milk, potatoes, vegetables, meat, fruits and fish) with the cesium-137 and strontium-90 activity concentration of 1000 Bq / kg and 100 Bq / kg, respectively. It is shown that, taking into account the current data on the levels of consumption of various food products, the calculated doses for all age groups of the population do not exceed the NRB-99/2009 dose criterion of 5 mSv with the consumption of any of the listed foods within the first year after the accident, as for cesium-137, and for strontium-90. The results obtained can be used to justify the temporary permissible levels of the cesium-137 and strontium-90 contamination of one or more food products.

Keywords: food products, ^{137}Cs , ^{90}Sr , activity concentration, radiation dose, intervention criterion.

References

1. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4), 2007. (in Russian).
2. Konstantinov Yu.O. Chernobyl accident: rationale and realization of decisions on protection of the population. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, Saint-Petersburg, 2011, Vol. 4, № 2, pp. 59-67 (in Russian).
3. ICRP, 1990. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 1. ICRP Publication 56. Ann. ICRP 20 (2).
4. ICRP, 1995. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 72. Ann. ICRP 26 (1).
5. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety

Viktor S. Repin

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: v.repin@niirg.ru

- Requirements, Part 3. № GSR Part 3. IAEA, 2015, 520 p. (in Russian).
6. Zvonova I.A. Zhesko T.V., Bratilova A.A. Parameters of the dietary pattern and behavior of the Bryansk region inhabitants in May 1986, influencing the evaluation of the dose received due to the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, Saint-Petersburg, 2011, Vol. 4, № 2, pp. 50-58 (in Russian).
 7. Shandala N.K., Savkin M.N., Titov A.V., Metlyaev E.G. Ed.: acad. Israel Yu.A. Standartisation and control of radionuclide content in food products after the Chernobyl accident. Radioactivity after nuclear explosions and accidents: Proceedings of the Int. Conf., Moscow, 2005 desember 5-6. Vol 3. Saint-Petersburg, 2006, Hydrometeoizdat, pp. 258-261. (in Russian).
 8. Gromov A.V., Bruk G.Ya., Kuchumov V.V., Romanovich I.K. Peculiarities of current dose assessment for children living in the territories radioactively contaminated due to the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, Saint-Petersburg, 2011, Vol. 4, № 1, pp. 38-44 (in Russian).
 9. CODEX STAN 193-1995. Codex General Standard for Contaminants And Toxins In Food And Feed. Adopted 1995; Revised 1997, 2006, 2008, 2009; Amended 2009, 2010).
 10. UNSCEAR. 2013. SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2013. Report to the General Assembly with Scientific Annexes V.I. Scientific Annex A, 2014, 321 p.
 11. Consumption, food and energy value of food products in households. Available from: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/level/# (Accessed: October 12, 2017) (in Russian).
 12. Rational norms of food consumption for various groups of the population of the Republic of Belarus. Available from: http://minzdrav.gov.by/ru/static/kultura_zdorovia/racion_pitanie (Accessed: October 10, 2017) (in Russian).
 13. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series № GSG-2, IAEA, Vienna, 2012

Received: November 15, 2017

For correspondence: **Viktor S. Repin** – Doctor of Biological Sciences, head of healthcare department, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: v.repin@niirg.ru)

For citation: Repin V.S. Criteria for the protection of population after radiation accident: food consumption structure and peculiarities of the internal doses formation of various age groups of the population of the Russian Federation. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 1, pp.18-24. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-18-24

Fukushima fallout in Sakhalin Region, Russia, part 1: ^{137}Cs and ^{134}Cs in grassland soils

Valery P. Ramzaev, Anatoly N. Barkovsky, Alexey V. Gromov, Sergey A. Ivanov, Marina V. Kaduka

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

The caesium-134 and caesium-137 radionuclides released into the atmosphere as a result of the Fukushima accident were dispersed over the entire Northern Hemisphere. To assess the risks associated with the exposure due to Fukushima fallout, a comprehensive radiological survey was performed in the Russian Far East. One of the objectives of the project was to determine the densities of ground contamination by ^{137}Cs and ^{134}Cs on Sakhalin and Kuril Islands that constitute the Sakhalin oblast, an administrative region of Russia. In 2011, soil samples were collected at grasslands on Sakhalin, Kunashir and Shikotan Islands and results of the 2011 survey were published earlier. In the present study, activities of ^{137}Cs and ^{134}Cs were measured in soil samples obtained on Kunashir, Iturup, Urup and Paramushir Islands in 2012. From the studies carried out in 2011–2012, it was estimated that the Fukushima-derived ^{134}Cs inventory at 37 undisturbed grassland sites in the Sakhalin oblast varied from 8 Bq m^{-2} to 345 Bq m^{-2} (as of 15 March 2011). For this date, the inventory of the ^{137}Cs radionuclide originated from the Fukushima NPP was assumed to be the same as that of the ^{134}Cs radionuclide. The southern Kuril Islands were the most contaminated due to Fukushima fallout. In 2011 and 2012, Fukushima-derived radiocaesium was detected only in the top 5 cm layer of soil at all sites, excluding one, where ~20% of the ^{134}Cs inventory was found at a depth of 5–10 cm. In the period September 2011–September 2012, the inventory of ^{134}Cs declined by ~26% at four plots selected for long-term observations. The decline in the ^{134}Cs inventory closely corresponded to the reduction (29%) of ^{134}Cs activity due to radioactive decay. Pre-accidental inventory of ^{137}Cs in the top 20 cm layer of soil ranged from 53 Bq m^{-2} to 3630 Bq m^{-2} . The mean reference inventory of pre-accidental ^{137}Cs for 13 representative sites was amounted as 2600 Bq m^{-2} . Hence, the Fukushima accident added relatively small quantities of radioactivity to the reference pre-accidental inventory of ^{137}Cs in grassland soils in the Sakhalin region: about 3% (~80 Bq m^{-2}) on the average and 15% (~350 Bq m^{-2}) at the maximum. Such small additional radioactive contamination is absolutely safe from a radiological point of view.

Key words: Fukushima, Sakhalin Region, Kuril Islands, soil, grassland, ^{134}Cs , ^{137}Cs , inventory.

Introduction

The 2011 accident at the Fukushima-Daiichi nuclear power plant (FDNPP) resulted in the atmospheric releases of large quantities of man-made radionuclides [1, 2, 3]. In the medium- and long-term perspective, the ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30 \text{ y}$) and ^{134}Cs ($T_{1/2} = 2.06 \text{ y}$) radionuclides were of the major radiological concern [4, 5, 6]. The most significant radioactive contamination occurred on Honshu Island in Japan in the immediate vicinity of the FDNPP, where the density of ground contamination by ^{137}Cs reached the level of 3000 kBq m^{-2} and even higher [6]. More than 100000 citizens were evacuated or voluntary left the affected areas; various remediation actions were initiated at the heavily contaminated sites of Japan [1, 7, 8].

After the accident, Fukushima-derived ^{137}Cs and ^{134}Cs were also detected in the environmental media in many

other countries in the Northern Hemisphere [2, 3]. Here, the ^{137}Cs and ^{134}Cs activity concentrations in environmental samples and food-staff, the ground deposition densities of the radionuclides, and expected exposure of humans were significantly lower compared to the permissible levels (e.g., [5, 9]). Results of such studies were beneficial to reduce social anxiety in the early period after the accident [5, 10]. At the same time, the measurement data collected after the Fukushima accident beyond the territory of Japan could be used as an experimental background for verification and improvement of the large-scale models describing atmospheric dispersion and deposition of radionuclides over the globe and assessment of the environmental and human health risks [9, 11]. Additionally, the Fukushima accident triggered a new wave of radioecological studies which have refreshed and deepened the knowledge about current levels of

Valery P. Ramzaev

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

environmental contamination by the long-lived anthropogenic ^{137}Cs , ^{90}Sr and plutonium radionuclides (e.g., [5, 12–15]).

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, RIRH, (in co-operation with the regional departments of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being) launched radiological surveys in the Russian Far East 22 March 2011, i.e. shortly after the Fukushima accident [4, 5, 10]. These surveys included measuring of gamma-dose rates in air, recording *in situ*

gamma-ray spectra with a semiconductor detector, sampling of soil, vegetation and local food products, and evaluation of the accidental dose to humans. One of the objectives of the surveys was to determine the densities of ground contamination by ^{137}Cs and ^{134}Cs on Sakhalin and Kuril Islands that constitute the Sakhalin oblast, an administrative region of Russia. The southern part of the region is located in the closest proximity to Japan (Fig. 1) and it was expected that this part could be the mostly contaminated territory of Russia after the Fukushima accident. Three expeditions

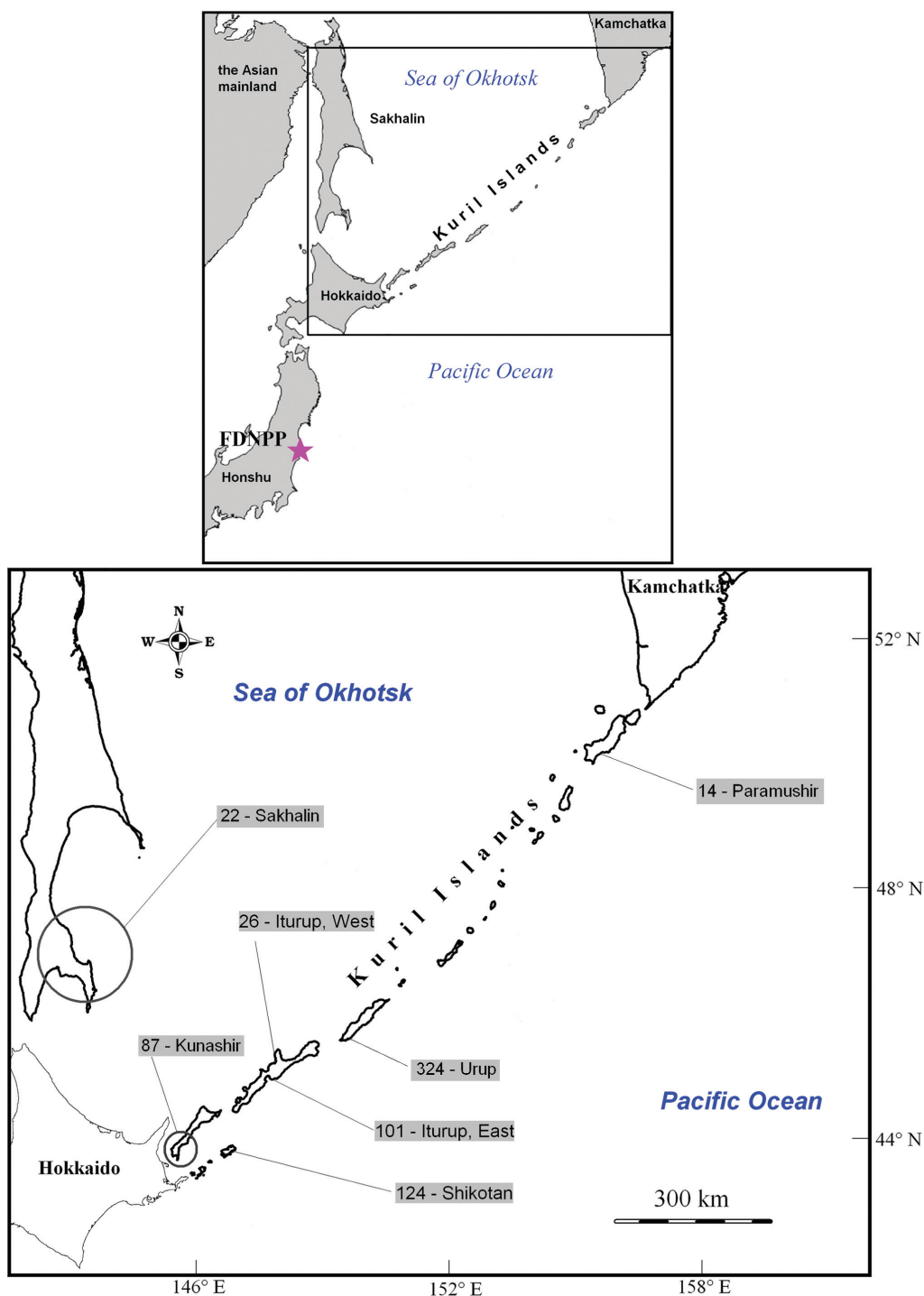


Fig. 1. The geographical distribution of clusters of soil sampling sites in Sakhalin Region and the mean ^{134}Cs inventory (Bq m^{-2}) for each cluster as of 15 March 2011

were conducted to the southern part of Sakhalin Island and to Kunashir and Shikotan Islands in 2011. The 2011 data on the soil and plants contamination in grasslands are presented in the journal publication [16] and the book [5]. In September 2012, the RIRH survey of the Sakhalin region was continued on Iturup and Kunashir Islands (the southern Kurils). As an addition to the full scale survey, a pilot study of radioactive contamination of grasslands was carried out at certain sites on Urup Island (the southern Kurils) and Paramushir Island (the northern Kurils). This part of the 2012 program was performed during short-term shore-based inspections conducted within the cruise of the research vessel (R/V) Akademik Shokalsky (a sketch map of the cruise can be found in [17]). The expedition aboard the R/V Akademik Shokalsky (August 17–September 11, 2012) was initiated and sponsored by the Russian Geographical Society.

In this work, the following main tasks were defined:

1) To give an overall assessment of the levels and spatial distributions of Fukushima-derived and pre-Fukushima

radiocaesium inventories in grassland soils in Sakhalin Region, taking into account the entire cycle of studies conducted in 2011–2012.

2) To summarize and analyze the data on vertical distributions of the radiocaesium in grassland soils in Sakhalin Region after the Fukushima accident.

Results of *in situ* gamma-spectrometric measurements, analysis of data on the radioactive contamination of vegetation and food, and estimation of internal and external doses to humans will be presented in subsequent papers.

Materials and methods

Approximate positions of all sites surveyed in the Sakhalin region in 2011–2012 are presented in Fig. 1. A brief characteristic of the sites sampled in 2012 is given in Table 1. The similar data on the sites sampled in 2011 are provided in [16].

Table 1

Characteristics of meadow plots surveyed on the islands of Kunashir, Iturup, Urup and Paramushir in August–September 2012

Name of settlement or site	Code of plot	Geographic coordinates (latitude, longitude)	Distance from FDNPP ^a (km) ^b	Altitude (m) ^b	Distance from the sea coast-line (m) ^b	Use in the past	Current use	Soil texture	Date of sampling
<i>Kunashir Island</i>									
Yuzhno-Kurilsk	Kun-3	44.0328° N, 145.8309° E	838	5	330	Grassy yard	Pasture	Sand	24 Sep
Yuzhno-Kurilsk	Kun-4	44.0153° N, 145.8119° E	836	28	150	Viewing point	Waste-land	Loam	24 Sep
Otrada	Kun-A	44.0713° N, 145.8677° E	844	5	330	Agricultural land	Pasture	Loam, sand layers	25 Sep
Otrada	Kun-B	44.0659° N, 145.8644° E	843	19	300	Agricultural land	Pasture	Loam	25 Sep
<i>Iturup Island</i>									
Kasatka Bay	Itu-1	45.0089° N, 147.7057° E	1011	15	330	Waste-land	Waste-land	Sand	19 Sep
Kasatka Bay	Itu-2	45.0136° N, 147.7154° E	1012	5	940	Waste-land	Waste-land	Loam	19 Sep
Ribaki	Itu-3	45.2077° N, 147.8479° E	1035	30	150	Agricultural land	Pasture	Loam	18 Sep
Reidovo	Itu-4	45.2662° N, 148.0308° E	1049	17	390	Agricultural land	Waste-land	Loam	18 Sep
Kurilsk	Itu-5	45.2216° N, 147.8719° E	1038	43	260	Waste-land	Waste-land	Loam	20 Sep
Kurilsk	Itu-6	45.2421° N, 147.8808° E	1040	30	260	Waste-land	Waste-land	Loam	20 Sep
<i>Urup Island</i>									
South-west	Uru-1	45.5968° N, 149.5703° E	1153	5	50	Beach ridge	Beach ridge	Sand	29 Aug
South-west	Uru-2	45.5971° N, 149.5705° E	1153	5	50	Beach ridge	Beach ridge	Sand	29 Aug
<i>Paramushir Island</i>									
Podgorniy	Par-1	50.1726° N, 155.5862° E	1831	10	80	Waste-land	Waste-land	Sand	03 Sep
Podgorniy	Par-2	50.1725° N, 155.5865° E	1831	6	70	Beach ridge	Beach ridge	Sand	03 Sep

^a FDNPP, the Fukushima Dai-ichi NPP.

^b The altitude and distances were evaluated based on experimentally obtained geographic coordinates and the Google Earth electronic map (<http://earth.google.com/>). The coordinates of the FDNPP were set to latitude = 37.421° N, longitude = 141.032° E.

The study area belongs to the Far Eastern zone of the Russian Federation. The Sakhalin region has a moderate monsoon climate. In the 2000–2010 period (before the accident), the annual temperature varied from 1.3 °C (Paramushir) to 6.3 °C (Kunashir) and the annual precipitation ranged from ~700 mm in southern Sakhalin to ~2200 mm in Paramushir (Table 2). In 2011 and 2012, the temperature and precipitation fluctuations were within the respective indices in the previous 10 years. The average precipitation and temperature recorded in the period 2000–2012 correspond rather well to those registered in Sakhalin Region in the 1960s (see Table 1.2. in [18]).

Eight of the total 14 meadow plots sampled in 2012 were located on marine terraces at an altitude of not less than 10 m above sea level (a.s.l.). Three plots were sampled at relatively lowland areas at an altitude of about 5 m a.s.l. Three sites of sampling were located on sandy beach ridges at an altitude of ~6 m a.s.l.

On the terrace-like surfaces, meadow-turf soils and black humus soils are common under meadows. On the Kuril Islands, the meadow soils developed in conditions of volcanic activity can be referred to as soddy-ocherous type of soil [19]. The volcano ash depositions are contributed significantly in the formation of soil profile and vegetation diversity on the islands [20–22]. Other region-specific natural phenomena, influencing grasslands at certain locations, are earthquakes and tsunamis. These catastrophic events are common for the region of Kuril Islands [23]. The waves of tsunamis (and strong storms) bring sand and other materials that cover coastal lowlands. At the same time, the tsunami and storm waves can destroy grassland mats on beach ridges and even on low marine terraces [18, 24]. We avoided sampling in areas that could have recently experienced such an impact in the aftermath of the Fukushima accident. We also selected sites that had not been plowed or mechanically disturbed by any other way after the accident. Hence, all surveyed grasslands ($n = 14$) could be considered as virgin lands with respect to Fukushima fallout. It should be noted that some of the sites

had been cultivated before 2011 and several of the plots were used as pastures for cattle in 2011 and 2012 (Table 1).

Soil samples were obtained using a dismountable steel sampler (see Fig 3. in [25]) down to a depth of 20–21 cm. On Kunashir, Iturup and at the site Par-1 on Paramushir, ten cores were randomly taken in a plot of 10 × 10 m area. The cores were cut to about 1 cm thick horizontal slices (for the top 5 cm layer) and 5 cm thick horizontal slices (for the deeper layer). At the site of disembarkation on Urup (plots Uru-1 and Uru-2) and at plot Par-2 on Paramushir, the cores were obtained from beach ridges composed of coarse sands and covered by grasses and forbs with well-developed root system. It was technically difficult to cut such cores into thin slices and a decision was made to use the thickness of 5 cm for all layers. The same depth slices of different cores were mixed and put in plastic bags.

Samples of sand down to a depth of ~5 cm were collected on beaches adjacent to the plots of soil sampling in Urup and Paramushir. The sites of sand sampling were located at a distance of about 10 m from the edge of water.

Activities of caesium radionuclides were determined by direct γ -ray spectrometry method using two high-resolution semiconductor detectors and multichannel analyzers. The detectors were shielded with 10 cm of lead and 20 cm of steel. Correction for cascade summing was applied to quantify ^{134}Cs . Duration of counting ranged from 20000 s to 300000 s. The detection limits (DL) of ^{134}Cs and ^{137}Cs were calculated using the equation proposed by Strom and Stransbury [26, 27]. The DL varied from 0.2 to 0.5 Bq kg⁻¹. The activity data were decay corrected to the date of sampling and to the reference date of 15 March 2011 using half-life values of 2.062 y for ^{134}Cs and 30.0 y for ^{137}Cs [28].

Density of ground contamination by radiocaesium (inventory or areal activity density), A_{Cs} (Bq m⁻²), was calculated by summing up the activities in all layers and dividing by the total area of ten cores (0.02 m²).

The mean migration depth, Z , for ^{137}Cs in soil [29, 30] was calculated according to Eq. (1), where Z_i is the centre of each

Annual air temperature and precipitation for the study area for the period from 2000 to 2010 and for 2011 and 2012
[<http://meteo.ru/data>; <http://www.pogodaiklimat.ru/weather>]

Table 2

Island	Station	Geographic coordinates (latitude, longitude)	Altitude a.s.l. (m)	Temperature (°C)				Annual precipitation (mm)			
				2000–2010		2011	2012	2000–2010		2011	2012
				Mean	Range			Mean	Range		
Sakhalin	Yuzhno-Sakhalinsk	46.95° N, 142.72° E	22	3.0	1.7–3.9	3.6	2.8	894	704–1229	960	1037
Kunashir	Yuzhno-Kurilsk	44.02° N, 145.87° E	44	5.3	4.1–6.3	5.8	5.3	1228	910–1732	1090	1458
Shikotan	Malokurilskoe	43.87° N, 146.81° E	65	–	–	6.0	5.8	–	–	1051	1569
Iturup	Kurilsk	45.25° N, 147.88° E	26	5.1	3.9–6.0	5.6	5.5	1153	873–1554	1122	1370
Paramushir	Severo-Kurilsk	50.67° N, 156.12° E	24	2.9 ^a	1.3–3.5 ^a	3.4	3.5	1945 ^a	1578–2237 ^a	1917	2101

^a – data are provided for the period of 2001–2010; the 2003 year data were unavailable.

layer in the soil profile and q_i is the proportion of radionuclide inventory in the corresponding layer.

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i \times q_i \quad (1)$$

Z is expressed in terms of mass depth (g cm^{-2}). The mass depth is defined as a mass of the material in a vertical core of soil divided by the core area.

It was assumed [5] that: 1) all ^{134}Cs was originated from the FDNPP, 2) ^{134}Cs and ^{137}Cs in Fukushima fallout have similar environmental behaviors, and 3) the $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ratio in Fukushima fallout in Sakhalin Region does not differ from that in Japan and is equal 1.0 (as of 15 March 2011) [3, 31, 32]. These assumptions have been used to calculate the Fukushima input into the total inventory of ^{137}Cs originated from atmospheric nuclear tests, the Chernobyl accident and the Fukushima accident [16].

Statistical analysis included calculation of mean, median and standard deviation (SD). Statistical significance was checked using the non-parametric Mann-Whitney U test [33] for independent samples and sign test [34] for dependent samples. Spearman's rank correlation coefficient, R_{sp} [35] was used to determine the degree of correlation between groups. Statistically significant differences were defined as comparisons resulting in $P < 0.05$.

A detailed description of the measurement and calculation procedures can be found in [16, 27].

Results and discussion

Bulk density and moistness of soil

The density of dry soil in a core ranged from 0.41 g cm^{-3} to 1.13 g cm^{-3} (mean = 0.83 g cm^{-3} ; median = 0.87 g cm^{-3} ;

$n = 14$). The moistness of soil matter ranged from 8.4% to 52% (mean = 30%; median = 33%; $n = 14$).

The soil density in a core was negatively and significantly correlated with the proportion of water in the soil matter ($R_{sp} = -0.814$, $P < 0.01$, $n = 14$). The bulk density of dry soil in the cores at all plots was much smaller than the representative value of 1.3 g cm^{-3} [36]. On the other hand, the moisture content was higher at 11 plots compared to the representative value of ~20% adopted by UNSCEAR [36] for soils. The relatively high proportion of water in soil at the majority of the plots can be associated with an enrichment of the meadow-turf soils and black humus soils by organic matter and with the high annual precipitation levels (Table 2). The samples of sandy soil obtained from beach ridges contained low amounts of water: 10% on average.

Radiocaesium on Iturup Island, 2012

Activity of ^{134}Cs , a marker of Fukushima fallout, was determined in the top 0–1 cm layer at all six plots sampled on Iturup Island (Table 3). In this layer, ^{134}Cs activity concentrations ranged from 1.1 to 11.3 Bq kg^{-1} (d.w.). At plots Itu-5 and Itu-6, ^{134}Cs was not detected in the deeper layers. At other four plots, ^{134}Cs was determined at a depth of 1–2 cm, and at two plots at a depth of 2–3 cm. ^{134}Cs was not detected at depths below 3 cm, which could be explained by small amounts of deposition, radioactive decay of the radionuclide (half-life = 2.06 y) and a low velocity of its vertical migration at some sites.

Activity of ^{137}Cs was quantified in all 48 sub-samples of soil, including those taken from the deepest 15–20 cm layer (Table 3). The ^{137}Cs activity concentrations ranged from 2.3 to 88 Bq kg^{-1} (d.w.). As can be seen in Table 3, the vertical distributions of ^{137}Cs activity concentration in soil demonstrate a wide scatter between plots sampled. The complex patterns of the vertical distribution reflect a superposition of the “fresh” Fukushima-derived ^{137}Cs and the “aged” pre-Fukushima

Table 3

Density of dry matter, moistness, activity concentrations of ^{134}Cs and ^{137}Cs , vertical distribution (% of total inventory) of the radionuclides, and fraction of Fukushima-derived ^{137}Cs in total ^{137}Cs for individual sub-samples of the soil samples obtained at meadow plots on the Kunashir, Iturup, Urup and Paramushir islands in 2012

Depth (cm)	Mass depth (g cm ⁻² , d.w.)	Density of soil (g cm ⁻³ , d.w.)	Content of moisture (%) ^a	Activity concentration (Bq kg ⁻¹ , d.w.) ^{b, c}				% of inventory		Fraction of Fukushima ¹³⁷ Cs in total ¹³⁷ Cs (%)
				¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	
				Value	±	Value	±			
Kunashir, Kun-A, 25 September										
0–1	0–0.80	0.80	47.4	3.80	9.1	14.1	3.5	48	7	44
1–2	0.80–1.53	0.74	44.8	2.77	11	12.3	3.5	32	6	36
2–3	1.53–2.31	0.77	41.8	1.01	25	9.34	3.8	12	5	17
3–4	2.31–3.14	0.83	39.1	0.56	40	9.11	3.7	8	5	10
4–5	3.14–4.03	0.89	37.3	n.d.	–	8.24	3.7	0	5	–
5–10	4.03–9.99	1.19	24.8	n.d.	–	6.66	8.5	0	24	–
10–15	9.99–16.12	1.23	20.6	n.d.	–	6.74	8.0	0	24	–
15–20	16.12–20.26	0.83	30.5	n.d.	–	9.75	7.1	0	24	–
Kunashir, Kun-B, 25 September										
0–1	0–0.87	0.87	45.3	3.04	9.4	19.0	2.5	45	7	26
1–2	0.87–1.56	0.70	44.3	2.51	10	18.3	2.7	30	6	22
2–3	1.56–2.30	0.74	42.9	1.35	22	15.6	3.1	17	5	14
3–4	2.30–3.01	0.71	41.9	0.66	21	16.1	3.1	8	5	7

Research articles

Depth (cm)	Mass depth (g cm ⁻² , d.w.)	Density of soil (g cm ⁻³ , d.w.)	Content of moisture (%) ^a	Activity concentration (Bq kg ⁻¹ , d.w.) ^{b, c}				% of inventory		Fraction of Fukushima ¹³⁷ Cs in total ¹³⁷ Cs (%)
				¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	
				Value	±	Value	±			
4–5	3.01–3.80	0.79	38.6	n.d.	–	13.5	3.3	0	5	–
5–10	3.80–8.66	0.97	28.9	n.d.	–	13.9	2.7	0	29	–
10–15	8.66–14.11	1.09	27.8	n.d.	–	12.4	7.1	0	29	–
15–20	14.11–17.23	0.62	36.5	n.d.	–	10.9	8.4	0	14	–
Kunashir, Kun-3, 24 September										
0–1	0–0.57	0.57	54.4	4.70	7.5	25.6	2.7	49	6	30
1–2	0.57–1.25	0.68	48.5	2.05	14	24.5	2.6	25	6	14
2–3	1.25–1.98	0.73	44.6	0.65	32	20.6	2.5	9	6	5
3–4	1.98–2.72	0.74	43.0	0.67	42	20.9	2.5	9	6	5
4–5	2.72–3.59	0.87	40.7	0.54	31	21.8	4.4	8	7	4
5–10	3.59–8.70	1.02	33.5	n.d.	–	23.0	5.2	0	41	–
10–15	8.70–14.62	1.19	26.4	n.d.	–	11.7	7.1	0	23	–
15–20	14.62–19.82	1.04	22.9	n.d.	–	2.87	16	0	5	–
Kunashir, Kun-4, 24 September										
0–1	0–0.57	0.57	50.4	11.7	4.7	32.8	2.4	96	19	58
1–2	0.57–1.04	0.47	54.5	0.56	52	21.4	2.8	4	10	4
2–3	1.04–1.54	0.50	53.7	n.d.	–	21.4	3.0	0	11	–
3–4	1.54–2.06	0.52	53.7	n.d.	–	22.6	7.3	0	12	–
4–5	2.06–2.65	0.59	53.7	n.d.	–	27.1	6.1	0	16	–
5–10	2.65–5.70	0.61	49.5	n.d.	–	9.11	9.7	0	26	–
10–15	5.70–8.79	0.62	50.6	n.d.	–	1.14	30	0	3	–
15–20	8.79–11.66	0.58	45.3	n.d.	–	1.06	29	0	3	–
Iturup, Itu-1, 19 September										
0–1	0–0.57	0.57	35.2	8.08	5.5	17.6	3.1	79	3	74
1–2	0.57–0.95	0.38	39.7	2.36	17	11.6	4.5	15	2	33
2–3	0.95–1.43	0.48	37.8	0.78	24	11.1	4.4	6	2	11
3–4	1.43–2.01	0.58	33.3	n.d.	–	12.0	3.9	0	2	–
4–5	2.01–2.73	0.71	29.1	n.d.	–	12.7	4.9	0	3	–
5–10	2.73–6.93	0.84	26.2	n.d.	–	35.6	3.9	0	45	–
10–15	6.93–10.71	0.76	33.2	n.d.	–	30.7	4.2	0	35	–
15–20	10.71–13.36	0.53	45.5	n.d.	–	9.93	8.8	0	8	–
Iturup, Itu-2, 19 September										
0–1	0–0.45	0.45	51.1	11.3	5.0	88.0	1.4	82	13	21
1–2	0.45–0.89	0.44	49.4	1.33	29	85.6	1.3	10	12	3
2–3	0.89–1.40	0.51	49.5	0.99	21	83.2	3.2	8	14	2
3–4	1.40–1.97	0.56	49.3	n.d.	–	84.5	3.0	0	15	–
4–5	1.97–2.50	0.53	51.8	n.d.	–	67.3	3.6	0	12	–
5–10	25.0–47.1	0.44	50.9	n.d.	–	40.2	4.0	0	28	–
10–15	4.71–7.08	0.47	53.4	n.d.	–	5.97	12	0	4	–
15–20	7.08–9.31	0.45	51.5	n.d.	–	2.30	26	0	2	–
Iturup, Itu-3, 18 September										
0–1	0–0.68	0.68	47.3	1.33	20	10.4	3.5	50	5	21
1–2	0.68–1.26	0.58	41.5	1.14	18	8.94	3.8	37	4	21
2–3	1.26–1.95	0.69	38.9	0.36	34	7.83	4.8	13	4	7
3–4	1.95–2.80	0.85	35.0	n.d.	–	7.99	4.4	0	5	–
4–5	2.80–3.88	1.08	33.5	n.d.	–	8.73	5.9	0	7	–
5–10	3.88–8.09	0.84	31.3	n.d.	–	8.29	5.9	0	25	–

Научные статьи

Depth (cm)	Mass depth (g cm ⁻² , d.w.)	Density of soil (g cm ⁻³ , d.w.)	Content of moisture (%) ^a	Activity concentration (Bq kg ⁻¹ , d.w.) ^{b, c}				% of inventory		Fraction of Fukushima ¹³⁷ Cs in total ¹³⁷ Cs (%)
				¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	
				Value	±	Value	±			
10–15	8.09–13.48	1.08	30.2	n.d.	–	7.96	7.2	0	30	–
15–20	13.48–17.53	0.81	31.7	n.d.	–	7.61	6.6	0	20	–
Iturup, Itu-4, 18 September										
0–1	0–0.53	0.53	52.7	2.41	14	10.7	4.2	74	5	36
1–2	0.53–1.11	0.58	40.6	0.76	34	8.22	4.7	26	4	15
2–3	1.11–1.87	0.76	36.3	n.d.	–	7.30	4.5	0	4	–
3–4	1.87–2.74	0.87	34.8	n.d.	–	7.12	4.3	0	5	–
4–5	2.74–3.79	1.05	33.8	n.d.	–	8.38	7.7	0	7	–
5–10	3.79–8.29	0.90	31.2	n.d.	–	6.86	8.5	0	25	–
10–15	8.29–12.93	0.93	33.6	n.d.	–	7.45	7.8	0	27	–
15–20	12.93–17.70	0.95	33.2	n.d.	–	5.88	8.6	0	23	–
Iturup, Itu-5, 20 September										
0–1	0–0.69	0.69	43.5	1.14	21	22.5	2.6	100	8	8
1–2	0.69–1.20	0.51	40.6	n.d.	–	22.7	2.8	0	6	–
2–3	1.20–1.85	0.64	41.4	n.d.	–	22.0	6.4	0	7	–
3–4	1.85–2.54	0.70	39.0	n.d.	–	24.9	6.1	0	9	–
4–5	2.54–3.25	0.71	38.1	n.d.	–	21.0	6.7	0	8	–
5–10	3.25–7.06	0.76	32.3	n.d.	–	17.9	6.0	0	35	–
10–15	7.06–11.32	0.85	35.1	n.d.	–	9.76	8.0	0	21	–
15–20	11.32–16.16	0.97	30.8	n.d.	–	2.49	19	0	6	–
Iturup, Itu-6, 20 September										
0–1	0–0.59	0.59	48.3	3.11	12	31.8	2.6	100	9	16
1–2	0.59–1.20	0.61	47.0	n.d.	–	24.5	2.6	0	7	–
2–3	1.20–1.78	0.58	45.9	n.d.	–	23.2	5.4	0	6	–
3–4	1.78–2.40	0.61	47.2	n.d.	–	21.8	6.4	0	6	–
4–5	2.40–2.97	0.57	47.0	n.d.	–	20.5	5.9	0	6	–
5–10	2.97–6.43	0.69	42.4	n.d.	–	16.9	5.9	0	27	–
10–15	6.43–10.02	0.72	43.0	n.d.	–	13.5	7.3	0	23	–
15–20	10.02–13.26	0.65	47.9	n.d.	–	10.2	8.7	0	16	–
Urup, Uru-1, 29 August										
0–5	0–4.22	0.84	16.8	4.14	10	8.32	5.4	82	64	79
5–10	4.22–9.43	1.04	10.6	0.71	26	2.29	7.1	18	22	49
10–15	9.43–15.40	1.19	9.4	n.d.	–	0.87	13	0	9	–
15–20	15.40–20.08	0.94	9.4	n.d.	–	0.60	29	0	5	–
Urup, Uru-2, 29 August										
0–5	0–4.67	0.93	15.2	3.96	7.8	7.85	3.6	100	70	80
5–10	4.67–9.88	1.04	12.6	n.d.	–	1.29	12	0	13	–
10–15	9.88–16.77	1.38	7.2	n.d.	–	0.77	9.6	0	10	–
15–20	16.77–22.58	1.16	6.2	n.d.	–	0.64	40	0	7	–
Paramushir, Par-1, 03 September										
0–1	0–0.85	0.85	15.7	0.55	24	39.4	1.6	100	9	2
1–2	0.85–1.33	0.48	25.0	n.d.	–	34.0	2.1	0	5	–
2–3	1.33–1.85	0.52	22.6	n.d.	–	33.9	6.8	0	5	–
3–4	1.85–2.47	0.61	24.8	n.d.	–	33.6	6.3	0	6	–
4–5	2.47–3.07	0.60	25.6	n.d.	–	28.9	8.6	0	5	–
5–10	3.07–6.38	0.66	21.0	n.d.	–	53.7	5.6	0	51	–
10–15	6.38–9.49	0.62	15.4	n.d.	–	20.1	6.2	0	18	–
15–20	9.49–12.62	0.63	17.2	n.d.	–	1.69	48	0	1	–

Depth (cm)	Mass depth (g cm ⁻² , d.w.)	Density of soil (g cm ⁻³ , d.w.)	Content of moisture (%) ^a	Activity concentration (Bq kg ⁻¹ , d.w.) ^{b, c}				% of inventory		Fraction of Fukushima ¹³⁷ Cs in total ¹³⁷ Cs (%)
				¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	
				Value	±	Value	±			
Paramushir, Par-2, 03 September										
0–5	0–5.35	1.07	5.5	0.23	23	1.00	6.2	100	24	36
5–10	5.35–10.36	1.00	3.6	n.d.	–	1.45	31	0	34	–
10–15	10.36–16.25	1.18	6.8	n.d.	–	0.96	22	0	26	–
15–20	16.25–20.83	0.92	17.7	n.d.	–	0.73	44	0	16	–
Urup, beach sand, 29 August										
0–6	0–9.17	1.53	3.5	n.d.	–	0.91	12	–	–	–
Paramushir, beach sand, 03 September										
0–5	0–7.17	1.43	3.2	n.d.	–	0.80	21	–	–	–

^a – “–” – not considered; “n.d.” – not determined (the activity was below detection limit).

^a – Moistness is defined as loss (%) of mass of a wet sample due to drying the sample in the laboratory at the temperature of about +25 °C till attaining constant weight.

^b – The activities are provided for the date of sampling (day, month), as indicated after the name of an island and the code of a plot.

^c – Counting error (±) is given in percent (%) at one sigma (1σ) level.

¹³⁷Cs (resulting from atmospheric nuclear explosions and the Chernobyl accident). To discriminate the “aged” and “new” ¹³⁷Cs, we used a value of 1.0 for the ¹³⁴Cs to ¹³⁷Cs ratio in Fukushima fallout (as of 15 March 2011). Vertical distributions

of activity concentrations for Fukushima-derived ¹³⁷Cs and pre-Fukushima ¹³⁷Cs for dates of sampling are provided in Fig. 2. The activity concentrations are presented versus mass depth (d.w.), which allows comparing soils with different

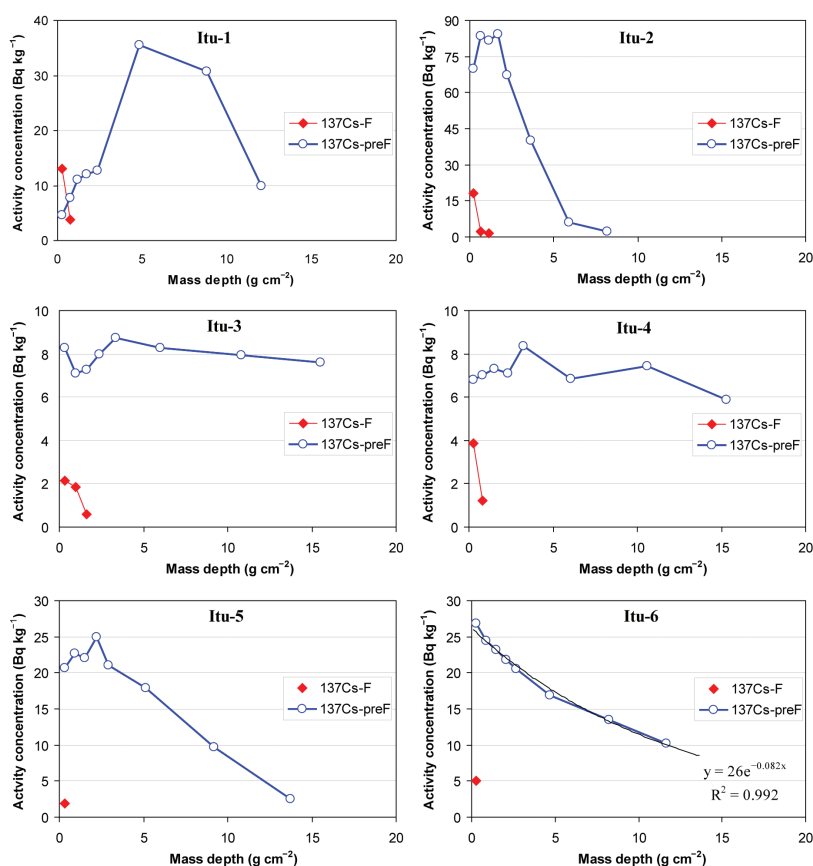


Fig. 2. Vertical distribution of activity concentrations for Fukushima-derived ¹³⁷Cs (¹³⁷Cs-F) and pre-accidental ¹³⁷Cs (¹³⁷Cs-preF) in soils sampled at six grassland plots on Iturup Island in September 2012. Additionally shown is an exponential function (Eq. (2)) fitted to the Fukushima-derived ¹³⁷Cs experimental points that were obtained for plot Itu-6. The activities are presented for the dates of soil sampling shown in Table 3

bulk densities and moisture contents. The distributions of Fukushima-derived ^{137}Cs followed the patterns recorded for ^{134}Cs ; therefore, a maximum activity concentration for ^{137}Cs of the Fukushima origin was deduced for the top 0–1 cm layer in all plots. A clear decline of activity concentrations of Fukushima-derived radiocaesium with increasing soil depth could be observed at those plots where the activities were quantified for two and more subsequent layers (Fig. 2).

Pre-Fukushima ^{137}Cs demonstrated three types of the vertical distribution (Fig. 2). At one plot (Itu-6), a maximum was found in the top 0–1 cm layer. The activity concentration of the “aged” radiocaesium gradually decreased with the mass depth at this plot, and it was possible to fit an exponential function [Eq. (2)] to the experimental data very well:

$$A_z = A_0 \times \exp(-B_z \times z), (2)$$

where A_z is activity concentration (Bq kg^{-1}) at the mass depth z (g cm^{-2}), and A_0 (Bq kg^{-1}) and B_z ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) are empirical coefficients.

More or less homogeneous vertical distributions of pre-Fukushima ^{137}Cs were observed at plots Itu-3 and Itu-4. Before the Fukushima accident, these plots were used for agricultural activity (pastures and/or arable lands). This could be the main reason for the soil mixing within the top 20 cm layer (for discussion see [16]). At three plots (Itu-1, Itu-2 and Itu-5), a maximum activity concentration of pre-

Fukushima ^{137}Cs was found in soil layers between 3 and 10 cm below the surface. A similar location of the maximum activity concentration of the “aged” ^{137}Cs (from global fallout) on untilled grasslands was reported by Schimmack et al. [37] for Germany in 1998, Huh and Su [38] for Taiwan in 1997–2001, and Almgren and Isaksson [39] for Sweden in 2003. Borisov et al. [15] observed the maximum activity concentration of the total (global+Fukushima) ^{137}Cs in the horizons of 2, 4 and 6 cm in three soil profiles studied on Matua Island (Central Kuril Islands) in 2016.

The data in Table 4 on radiocaesium inventory are provided as of 15 March 2011, i.e. after correction for radioactive decay. As far as the ^{134}Cs to ^{137}Cs ratio in Fukushima fallout is adopted as 1.0 to this date, the inventory values for Fukushima-derived ^{137}Cs are equal to those for ^{134}Cs . The inventory of pre-Fukushima ^{137}Cs was obtained by subtraction of the Fukushima-originated inventory from the total ^{137}Cs inventory.

The inventory of ^{134}Cs (and Fukushima-derived ^{137}Cs) in the top 20 cm of soil at individual plots ranged widely: from 13 Bq m^{-2} to 103 Bq m^{-2} (Table 4). This scatter seems to be associated with positions of the sampled plots on the Pacific or Okhotsk sides of the island. At both plots located on the eastern side of Iturup (Pacific Ocean), the areal density of contamination by ^{134}Cs was about 100 Bq m^{-2} . The western side of Iturup (Okhotsk Sea) was much less contaminated

Table 4

Density of air-dry matter, moisture content, inventory of Fukushima-derived and pre-Fukushima radiocaesium, and the ^{137}Cs mean migration depth (Z) values for soils sampled at grassland plots on the Kunashir, Iturup, Urup and Paramushir islands in 2012

Code of plot	Sampling depth (g cm ⁻² , d.w.)	Density of soil in a core (g cm ⁻³ , d.w.)	Moisture content (%)	Inventory (Bq m ⁻²) ^a				Contribution of Fukushima ¹³⁷ Cs to total ¹³⁷ Cs (%)	¹³⁷ Cs mean migration depth (g cm ⁻² , d.w.)	
				¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs				Fukushima	Pre-Fukushima
					Total	Fukushima	Pre-Fukushima			
Kunashir										
Kun-A	20.26	1.01	29.1	106	1700	106	1590	6.7	0.98	9.82
Kun-B	17.23	0.86	33.5	98	2400	98	2300	4.1	1.10	7.81
Kun-3*	19.82	0.99	31.9	92	2920	92	2830	3.2	0.98	6.59
Kun-4	11.66	0.58	49.7	117	1050	117	933	11.1	0.31	2.48
Iturup										
Itu-1*	13.36	0.67	34.4	98	3390	98	3290	2.8	0.41	6.37
Itu-2*	9.31	0.47	51.5	103	3230	103	3130	3.3	0.34	2.20
Itu-3	17.53	0.88	32.9	30	1480	30	1450	2.0	0.75	8.62
Itu-4	17.70	0.88	34.1	29	1290	29	1260	2.2	0.41	8.35
Itu-5*	16.16	0.81	34.5	13	2020	13	2010	0.6	0.35	5.18
Itu-6	13.26	0.66	45.1	31	2200	31	2170	1.4	0.30	5.54
Urup										
Uru-1	20.08	1.00	11.4	345	596	345	224	60.7	2.96	4.86
Uru-2	22.58	1.13	10.0	302	543	302	241	55.6	2.34	5.29
Paramushir										
Par-1*	12.62	0.63	19.1	7.3	3640	8.0	3630	0.2	0.43	4.39
Par-2	20.83	1.04	8.4	20	224	20	204	9.1	2.68	9.74

* – the plot was selected as a representative site for evaluation of a reference inventory of pre-Fukushima ^{137}Cs .

^a – The inventory of radiocaesium is given for 15 March 2011.

due to the Fukushima accident. Here, inventory of ^{134}Cs varied from 13 Bq m^{-2} to 31 Bq m^{-2} (mean = 26 m^{-2} , $n = 4$). The observed difference between two sides of Iturup Island in intensity of Fukushima fallout correlates with the global model predictions presented by Christoudias and Lelieveld [40] in graphical format for dry deposition in Fig. 6 in their paper. The expected levels of ^{137}Cs dry deposition on the Pacific side and the Okhotsk side were within the limit of $10\text{--}100 \text{ Bq m}^{-2}$ and $1\text{--}10 \text{ Bq m}^{-2}$, respectively. The estimated wet deposition levels on the Pacific side and the Okhotsk side were within the range of $1000\text{--}10000 \text{ Bq m}^{-2}$ and $100\text{--}1000 \text{ Bq m}^{-2}$, respectively, that was significantly higher compared to the ^{134}Cs inventory values experimentally determined in our study.

The inventory of pre-Fukushima ^{137}Cs in the top 20 cm layer of soil on Iturup varied with a factor of ~ 2.5 : from 1260 Bq m^{-2} to 3290 Bq m^{-2} . The depth profile curves of the “aged” ^{137}Cs at plots Itu-3, Itu-4 and Itu-6 (Fig. 2) indicate that the calculated inventories of this fraction of radiocaesium (Table 4) could be substantially underestimated at these sites since the sampling depth of 20 cm does not include the whole depth of the radionuclide penetration. Hence, we used only three other plots (marked by asterisks in Table 4) to calculate the mean value of reference inventory for pre-Fukushima ^{137}Cs on Iturup: 2810 Bq m^{-2} . This value was above the range of $1100\text{--}2300 \text{ Bq m}^{-2}$ expected from global and Chernobyl fallout on the basis of data reported by Izrael et al. [41] for

this region of the Russian Far East. A contribution of the Fukushima source to the ^{137}Cs total inventory on Iturup was very small: about 3.5% at maximum (Table 4). It should be noted that this value was estimated for the whole soil layer of 20 cm depth. In the upper 1 cm layer, a contribution from the Fukushima source was much larger: up to 74% (Table 3). As a result, the mean migration depth (see two last columns in Table 4) of the “new” Fukushima-derived ^{137}Cs (mean = 0.43 g cm^{-2} , median = 0.38 g cm^{-2}) was much smaller than that of the “aged” ^{137}Cs (mean = 6.04 g cm^{-2} , median = 5.96 g cm^{-2}). The difference was statistically significant (sign test, $P < 0.05$, $n = 6$). These circumstances should be considered for modeling the present distribution and migration of the ^{137}Cs radionuclide when the ^{134}Cs radionuclide, a marker of Fukushima fallout, has already practically disintegrated.

Radiocaesium on Kunashir Island, 2012 vs. 2011

Caesium-134 was determined in soil at all four grassland plots sampled on Kunashir in 2012. The maximum activity concentration of ^{134}Cs was found in the top 0–1 cm layer of the soils (Table 3; Fig. 3). The radionuclide was not detected in samples obtained from horizons below the depth of 5 cm. During the September 2011– September 2012 period, ^{134}Cs (and Fukushima-derived ^{137}Cs) migrated deeper within the soil profile at three of four plots, which was documented by comparison of the depth profile curves plotted in Fig. 4 and

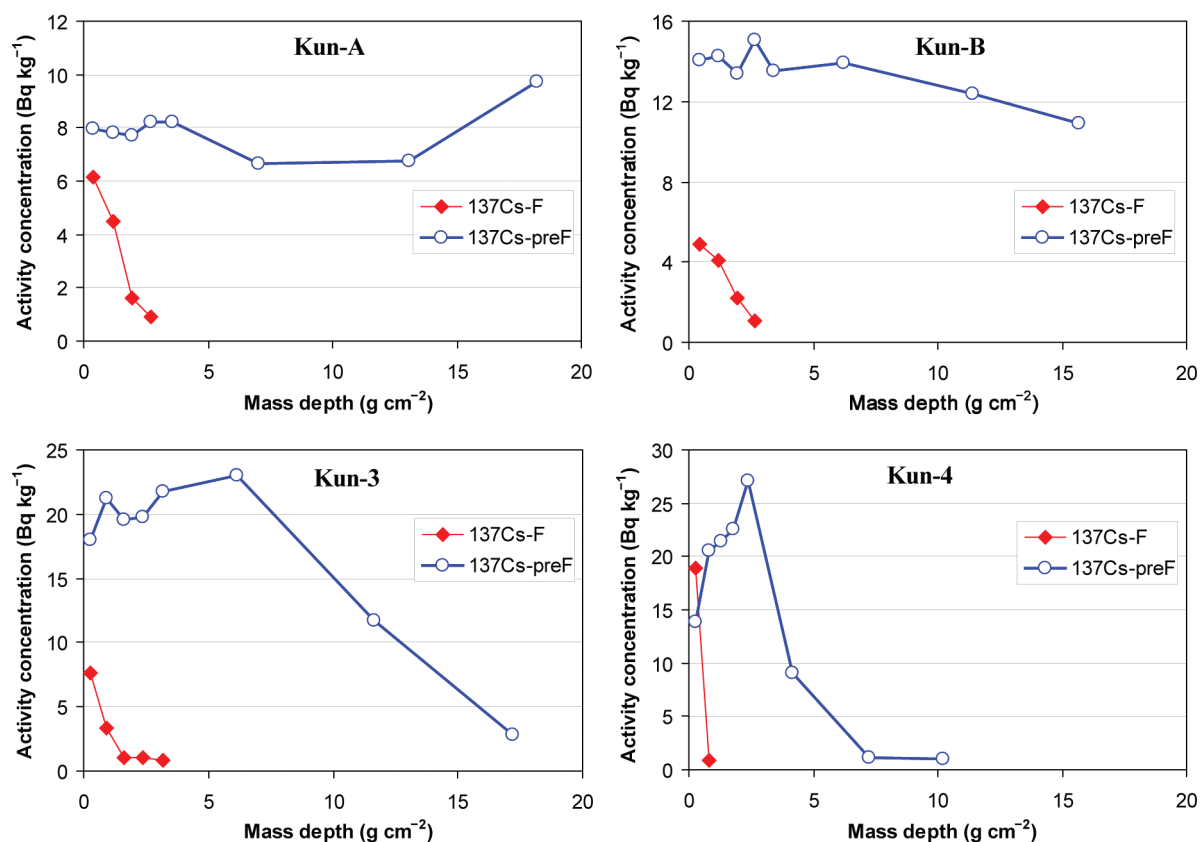


Fig. 3. Vertical distribution of activity concentrations for Fukushima-derived ^{137}Cs ($^{137}\text{Cs-F}$) and pre-accidental ^{137}Cs ($^{137}\text{Cs-preF}$) in soils sampled at four grassland plots on Kunashir Island in September 2012. The activities are presented for the dates of soil sampling shown in Table 3

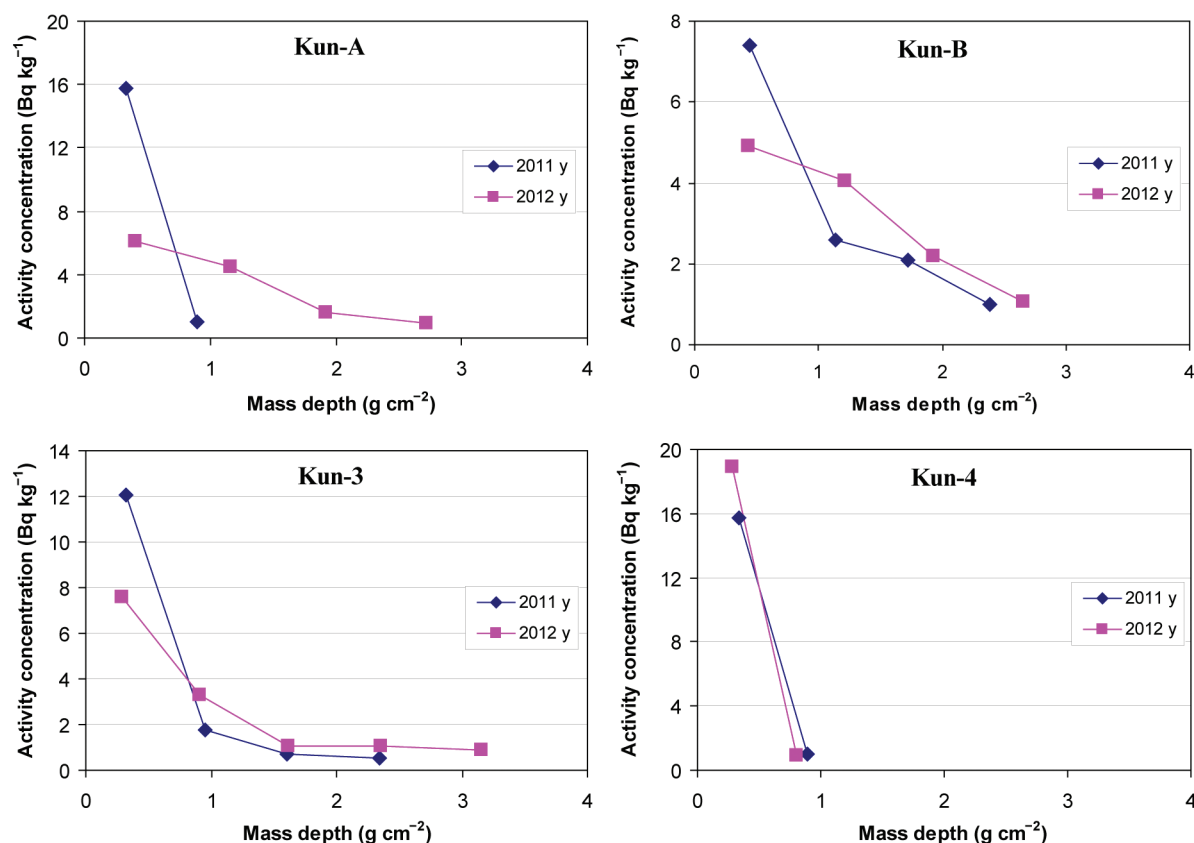


Fig. 4. Temporal variations of vertical distribution of activity concentrations for Fukushima-derived ^{137}Cs in soils sampled at four plots on Kunashir Island in 2011 and 2012. The activities are presented for the dates of soil sampling shown in Table 3 (this paper) and in Table A.2 in [16]

by calculation of the 2012/2011 ratio values for the mean migration depth in Table 5. To construct the 2011 curves and calculate the mean migration depth in 2011, data from Table A.2 in [16] were used. At plot Kun-4, vertical distribution of ^{134}Cs activity concentration did not demonstrate any visible evolution between 2011 and 2012 (Fig. 4). The mean migration depth value also did not increase here (Table 5). We associate this relatively steady state condition with the location of the plot on a high terrace. The site was inaccessible for cows and calves while three other meadows were used as pastures for the cattle. The physical mixing of the top soil layer by hooves of the animals could be a reason for increasing vertical migration

of the atmospherically deposited radionuclides [30, 42]. This hypothesis is confirmed by the fact that in 2012 at plot Kun-4 (a wasteland) we were able to find six of ten holes made by the steel sampler in soil at the plot in 2011. At the other three plots (pastures), such traces of our previous sampling activity were not identified.

On average, the current inventory of ^{134}Cs declined in the period 2011–2012 from 83 Bq m^{-2} to 62 Bq m^{-2} , i.e. by 26% (Table 5). The value corresponds well to the decline by 29% attributable solely to radioactive decay of ^{134}Cs between the first (September–October 2011) and second (September 2012) sampling occasions. It may indicate an absence

Table 5

^{134}Cs inventory and the mean migration depth (Z) in soils at four grassland plots sampled on Kunashir Island in September in 2011 [16] and 2012. The inventories of radiocaesium are given on dates of soil sampling

Plot	^{134}Cs inventory (Bq m^{-2})			^{134}Cs mean migration depth (g cm^{-2} , d.w.)		
	2011 y	2012 y	Ratio (2012 y/2011 y)	2011 y	2012 y	Ratio (2012 y/2011 y)
Kun-A	74	63	0.85	0.55	0.99	1.78
Kun-B	83	59	0.71	0.86	1.10	1.28
Kun-3	83	55	0.66	0.54	0.98	1.81
Kun-4	93	70	0.75	0.36	0.31	0.86
Median	83	61	0.73	0.55	0.98	1.53
Mean	83	62	0.74	0.58	0.84	1.43
SD	8	6	0.08	0.21	0.36	0.45

Note: The reference decay-dependent ratio value between the first (2011) and second (2012) sampling occasions for ^{134}Cs is 0.71.

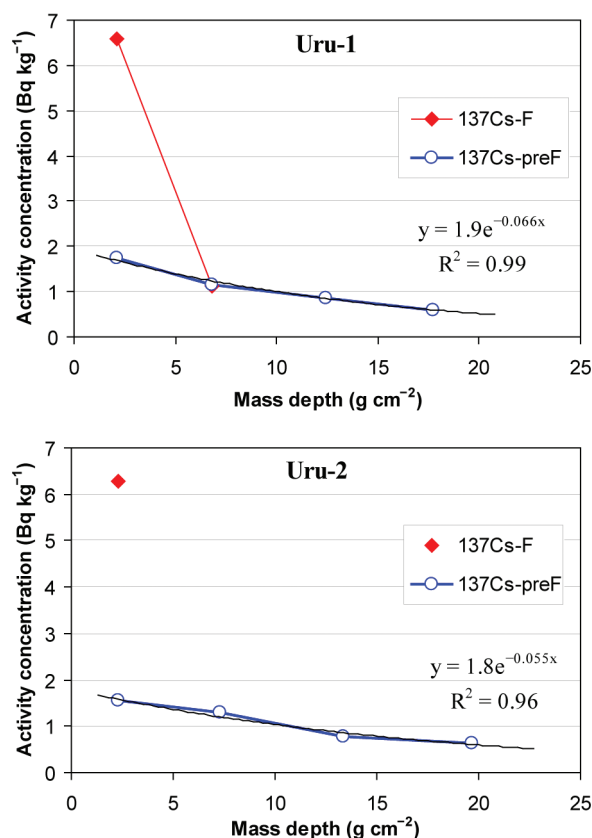


Fig. 5. Vertical distribution of activity concentrations for Fukushima-derived ^{137}Cs ($^{137}\text{Cs-F}$) and pre-accidental ^{137}Cs ($^{137}\text{Cs-preF}$) in soils sampled at two plots on Urup Island in August 2012. Additionally shown are exponential functions (Eq. (2)) fitted to the Fukushima-derived ^{137}Cs experimental points. The activities are presented for the dates of soil sampling shown in Table 3

of horizontal migration of the fresh radiocaesium in the studied period. However, the number of sampled plots (4) is insufficient to derive a robust, statistically based, conclusion.

Vertical distributions of pre-accidental ^{137}Cs differed markedly from those of Fukushima-derived ^{137}Cs at all plots sampled on Kunashir in 2012 (Table 3, Fig. 3). At plots Kun-3 and Kun-4, a maximum activity concentration was found at depths of about 5 cm and 10 cm, respectively. Plots Kun-A and Kun-B showed almost homogeneous distribution of pre-accidental ^{137}Cs in the top 20 cm layer. The latter grasslands were used for agricultural activity before and after the accident. Inventory of pre-accidental ^{137}Cs varied with a factor of 3: from 930 Bq m $^{-2}$ at plot Kun-4 to 2830 Bq m $^{-2}$ at plot Kun-3 (Table 4). The low contamination level at plot Kun-4 is associated with mechanical removal of the top soil layer at this part of the sea-facing terrace long before the Fukushima accident [16]. Based on the known history of using the four plots surveyed at Kunashir in 2012 and on the shapes of vertical profile curves of the “aged” ^{137}Cs (Fig. 3), we have selected only one plot (Kun-3) as a representative place for evaluation of a reference level of the pre-Fukushima contamination by radiocaesium. It is equal to 2830 Bq m $^{-2}$.

A contribution of Fukushima-derived ^{137}Cs to total inventory of ^{137}Cs in the top 20 cm of soil ranged from 3% to 11% (Table 4). In the top 0–1 soil layer, this index was much larger, reaching 58% at plot Kun-4.

Radiocaesium on Urup Island, 2012

Activity of ^{134}Cs was quantified in the top 0–5 cm layer of soil sampled at two sites on the beach ridge on Urup. A small amount of the radionuclide was found in the 5–10 cm layer at one of the plots (Table 3). Caesium-137 of the pre-Fukushima origin was determined in all soil layers on the ridge. The distribution of activity concentration for pre-Fukushima ^{137}Cs in soil at both plots showed an exponential decrease [Eq. (2)] from the surface to the 20 cm depth (Fig. 5).

Both plots had the very similar inventories of Fukushima-derived ^{137}Cs : 345 and 302 (mean = 324) Bq m $^{-2}$. These values were higher up to a factor of 3 compared to the maximum values recorded on Kunashir and Iturup.

The inventories of pre-accidental ^{137}Cs at two plots were also very close to each other: 224 and 241 (mean = 233) Bq m $^{-2}$. The levels of contamination by pre-Fukushima ^{137}Cs on the Urup beach ridge appeared to be far below the pre-accidental ^{137}Cs inventories experimentally determined in the top 20 cm soil layer at six plots on the nearest island, Iturup (mean = 2220 Bq m $^{-2}$, range = 1260–3290 Bq m $^{-2}$). An average contribution of the Fukushima source to the total ^{137}Cs inventory in the top 20 cm on Urup was estimated as 58%. In the upper 5 cm layer, Fukushima-borne ^{137}Cs strongly dominated (~80%) the total ^{137}Cs .

The relatively low activity of global ^{137}Cs in the top 20 cm soil layer in the beach ridge on Urup could be associated with the influence of severe storms and tsunamis in the period before the Fukushima accident. In the atomic era, the most devastating tsunami was registered on Urup Island on 20 October 1963. The maximal runup (H_{max}) of the wave was about 15 m [23]. The tsunamis of such power alter coastline exhibiting a range of erosional and depositional features. For example, after the 2006 Kuril tsunami ($H_{\text{max}} > 15$ m), sand deposits averaged 2.5 cm thick (20 cm maximum) were found in the Central Kuril Islands on sandy beach-ridge plains opened to the Pacific [43]. It was estimated [43] that the erosion process strongly dominated the deposition one; the amount of tsunami-transported sand preserved on the coastal plains was typically less than 10% of that eroded.

Activity concentration of total ^{137}Cs in the beach sand on Urup was measured at a level of 1 Bq kg $^{-1}$ that is comparable with the value of activity concentration of pre-Fukushima ^{137}Cs in the beach ridge (Table 3). Caesium-134 was not detected in the sand sample from the beach on Urup. The site of sand sampling was located at a distance of about 10 m from the water edge and this plot of the beach could be completely “cleaned-up” after the Fukushima accident due to such natural processes as tides, storms and rains.

Radiocaesium on Paramushir Island, 2012

A very low activity concentration of ^{134}Cs (0.55 ± 0.26 Bq kg $^{-1}$, two sigma) was detected only in the top 0–1 cm layer of soil at plot Par-1 located on a marine terrace. Caesium-137 was determined in all layers (Table 3). A maximum activity concentration of pre-accidental ^{137}Cs was found at a depth of 5–10 cm. The activity concentration of the radionuclide decreased with depth approaching DL in the 15–20 cm layer (Fig. 6). The observed shape of the vertical distribution curve

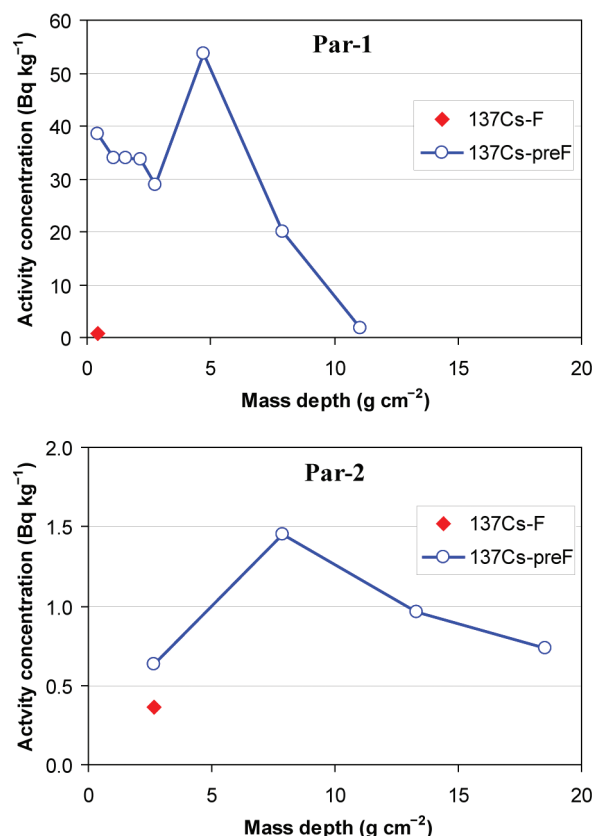


Fig. 6. Vertical distribution of activity concentrations for Fukushima-derived ^{137}Cs ($^{137}\text{Cs-F}$) and pre-accidental ^{137}Cs ($^{137}\text{Cs-preF}$) in soils sampled at two plots on Paramushir Island in September 2012. The activities are presented for the dates of soil sampling shown in Table 3

and the fact that the site was not cultivated allow us to rank this place in the category of reference (representative) plots. The inventory of pre-accidental and Fukushima-derived ^{137}Cs is calculated as 3630 Bq m^{-2} and 8.0 Bq m^{-2} , respectively. Hence, contribution of the Fukushima source to the total ^{137}Cs inventory is amounted as $\sim 0.2\%$.

It should be noted that the activity of ^{134}Cs in the top 0–1 cm layer is near the detection limit, and we can't exclude a presence of some undetectable amount of the radionuclide at the deeper layers. Based on the radionuclide vertical distributions obtained for the more contaminated grasslands on Kunashir and Iturup in 2012, the underestimation of the ^{134}Cs deposition might be expected in the range of 10–50%. In terms of activity, such underestimation is very small and it does not influence on the conclusion about the negligible contribution of Fukushima fallout to the total deposit of ^{137}Cs at site Par-1.

On the beach ridge (plot Par-2), ^{134}Cs was determined only in the top 0–5 cm layer of soil, at a level of $0.23 \pm 0.11 \text{ Bq kg}^{-1}$ ($\pm 2\sigma$, or a 95% confidence interval) which was also close to DL. Pre-Fukushima ^{137}Cs peaked at a depth of 5–10 cm (Fig. 6) on the ridge. The activity concentration of ^{137}Cs (0.8 Bq kg^{-1}) in the beach sand on Paramushir corresponded to the activity concentrations of pre-Fukushima ^{137}Cs (around 1 Bq kg^{-1}) estimated for grassy areas on the beach ridges at

plots Par-2, Uru-1 and Uru-2, as well as for the beach sand on Urup (Table 3). We were not able to detect ^{134}Cs in the sand sample from the beach on Paramushir.

The caesium-134 inventory on the beach ridge on Paramushir was evaluated as $20 \pm 10 \text{ Bq m}^{-2}$ ($\pm 2\sigma$). Although this figure is about 2.5 times larger than that at plot Par-1 ($8 \pm 4 \text{ Bq m}^{-2}$), the real difference between the terrace (Par-1) and the ridge (Par-2) might be absent because the confidence intervals are interrelated and because the inventory of ^{134}Cs on the terrace could be somewhat underestimated (see above).

The inventory of pre-Fukushima ^{137}Cs (204 Bq m^{-2}) on the beach ridge (altitude = 6 m a.s.l.) was about 18 times less than that (3630 Bq m^{-2}) on the nearest terrace (altitude = 10 m a.s.l.). Such pronounced difference between two nearby locations on the seashore indicates that spatial variations of inventory and vertical distributions of ^{137}Cs in the soils can be used as an additional indicator characterizing consequences of tsunamis and severe storms in the Kuril Islands region.

Overview and discussion of the 2011 and 2012 findings in Sakhalin Region

In the period May 2011–September 2012, 37 grassland plots were surveyed on the islands located in Sakhalin Region: Sakhalin (7 plots), Shikotan (6), Kunashir (14), Iturup (6), Urup (2), Paramushir (2). Of them, four plots on Sakhalin and Kunashir were inspected two times with an interval of six months and four plots on Kunashir were visited with an interval of one year.

Estimation of areal deposition densities of Fukushima-derived radocaesium (^{137}Cs and ^{134}Cs) and inventories of pre-accidental ^{137}Cs in soil was one of the key tasks of the survey. Two methods of soil sampling were used. In May 2011, a solid grass-soil block with an area of $20 \times 20 \text{ cm}$ and a thickness of $\sim 4 \text{ cm}$ was cut with a spade from the wall of a 0.1 m^2 hole at each of 12 plots surveyed. This technology allowed evaluating the areal deposition density of Fukushima-borne radocaesium shortly after the accident but the depth of sampling was too shallow to make estimations of the inventory of pre-accidental ^{137}Cs . Therefore, a 20-cm long dismountable sampler was used to obtained cores from the top 0–20 cm depth layer of soil at 29 plots in September–October 2011 and August–September 2012.

The calculated inventories of ^{134}Cs (and Fukushima-derived ^{137}Cs) and pre-accidental ^{137}Cs for each plot and for each sampling occasion can be found in Table 4 (this paper) and in Table 2 in [16]. As far as two plots at Sakhalin and four plots at Kunashir were sampled repeatedly two or even three times, an average inventory have been calculated for each of the plots. These averaged values are used below in the statistical analysis along with the primary values derived for other plots.

The areal deposition density of ^{134}Cs (and Fukushima-derived ^{137}Cs , as of 15 March 2011) varied from 8 to 345 Bq m^{-2} (mean $\pm \text{SD} = 83 \pm 72 \text{ Bq m}^{-2}$, median = 71 Bq m^{-2} , $n = 37$). A summary of the statistics for individual islands is provided in Table 6, and the geographical distribution of the mean values is presented in Fig. 1. The lowest deposition density values, up to 50 Bq m^{-2} , were observed on the south of Sakhalin (median = 20 Bq m^{-2} , $n = 7$), at the western side of Iturup (median = 20 Bq m^{-2} , $n = 4$) and on Paramushir (median = 14 Bq m^{-2} , $n = 2$). The maximum deposition was observed on Urup (median = 324 Bq m^{-2} , $n = 2$). Shikotan Island, the southern part of Kunashir Island and the eastern side of Iturup

Island with a median deposition density of 126 Bq m⁻² (n = 6), 88 Bq m⁻² (n = 14) and 101 Bq m⁻² (n = 2), respectively, occupied intermediate positions in the range. There were no statistically significant differences between Sakhalin and the western side of Iturup (the Mann-Whitney test, $P > 0.05$) and between Sakhalin and Paramushir (the Mann-Whitney test, $P > 0.05$) with respect of Fukushima fallout. Hence, these areas can compose one group (cluster) of the Fukushima-derived radiocaesium contamination, although a distance between the sampled islands was 800–1000 km. There was also no statistically significant difference in the Fukushima contamination between Kunashir and the eastern side of Iturup (the Mann-Whitney test, $P > 0.05$) and between Shikotan and the eastern side of Iturup (the Mann-Whitney test, $P > 0.05$). At the same time, the contamination level was significantly higher on Shikotan compared to Kunashir (the Mann-Whitney test, $P < 0.01$). The results of statistical analysis and the data from Fig. 1 indicate that Fukushima fallout was the most intensive in the south-eastern areas of the Sakhalin oblast. In general, such spatial pattern of the contamination due to the Fukushima-derived radionuclides is qualitatively consistent to simulation results reported by other authors [40]. The spatial variations in intensity of Fukushima fallout can be associated with the trajectory of radioactive plume passage and the intensity of precipitation at the moment of the plume passage.

The range of the areal deposition density of Fukushima-borne radiocaesium determined in our study in Sakhalin Region (8–345 Bq m⁻²) is comparable with the ranges reported by other authors for certain locations of the Russian Far East (11–300 Bq m⁻²) [13] and the island of Hawaii, USA (30–630 Bq m⁻²) [14]. The maximal values of Fukushima fallout that were registered in these areas of the world are lower by several orders of magnitude compared to the fallout intensity on Honshu Island in Japan after the accident [6]. In addition, the maximum inventories of Fukushima-borne ¹³⁷Cs determined beyond the territory of Japan are negligible compared to the value of 37000 Bq m⁻² adopted in the current Russian legislation [the Federal law № 1244-1 (dated May, 15 1991) “On the social protection of the citizens who have been exposed to radiation as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant”] as a lower limit to attribute a settlement to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident [44].

The total inventory of ¹³⁷Cs in the top 20 cm layer of soil for the 29 plots sampled in Sakhalin Region (see Table 4 in this paper and Table 2 in [16]) ranged from 83 to 3640 Bq m⁻²

(mean ± SD = 1870 ± 1000 Bq m⁻², median = 1860 Bq m⁻², n = 29). The data are given as of 15 March 2011.

The inventory of pre-accidental ¹³⁷Cs in the top 20 cm layer of soil varied from 53 to 3630 Bq m⁻² (mean ± SD = 1790 ± 1020 Bq m⁻², median = 1840 Bq m⁻², n = 29). The variations can be attributed to: 1) differences between amounts of global fallout on individual islands, 2) a mechanical disturbance of the soil due to the agricultural and other human activities at some sites, and 3) lateral removal and vertical burial of the deposited radioactivity at certain locations at coastal areas due to such devastating natural phenomena as tsunamis and storms. Additionally, the 20 cm depth of soil sampling was not sufficient to evaluate the whole inventory of the global+Chernobyl radiocaesium at many sites [see e.g., Fig. 2 (plots Itu-3, Itu-4 and Itu-6) and Fig. 3 (plots Kun-A and Kun-B)]. Hence, 13 representative plots have been selected for evaluation of a reference inventory of pre-Fukushima ¹³⁷Cs. These plots comply with the following conditions: 1) the disturbance of the soil surface due to the known human activity and devastating natural events should be excluded (based on the visual inspection of a site and interviewing the local citizens), and 2) the shape of the radionuclide vertical profile should demonstrate a maximum of activity concentration in the top-most layer or in a close-to-surface layer with the subsequent decline to DL in the 15–20 cm soil layer.

The raw data on the representative plots can be found in Table 4 (this paper) and in Table 2 in [16]. The summary statistics for individual islands are presented in Table 7. The values of a reference inventory of pre-accidental ¹³⁷Cs in the top 20 cm layer of soil varied from 1780 to 3630 Bq m⁻² (mean ± SD = 2600 ± 620 Bq m⁻², median = 2810 Bq m⁻², n = 13). The maximum value of the ¹³⁷Cs reference inventory was determined on Paramushir Island while the minimum one on Sakhalin Island. Statistical analysis shows a significant difference (the Mann-Whitney test, $P < 0.01$) in the ¹³⁷Cs reference inventory between Sakhalin (mean ± SD = 1930 ± 250 Bq m⁻², median = 1820 Bq m⁻², n = 4) and the Kuril Islands (mean ± SD = 2900 ± 470 Bq m⁻², median = 2960 Bq m⁻², n = 9). The observed variability of the ¹³⁷Cs reference inventory in the study area (Table 7) demonstrates positive relationship with spatial fluctuations of annual precipitation (Table 2). A positive correlation between the amounts of precipitation and inventories of fallout radionuclides in soils was reported by other authors for the Russian Far East [13], the Russian Extreme North [45], Australia [46], Canada [47], Iceland [48], Norway [49], Sweden [50] and Taiwan [38].

Table 6

Inventory of Fukushima-derived ¹³⁴Cs in soils on Sakhalin and Kuril Islands as of 15 March 2011.
The estimates are based on results of this survey (2012) and the 2011 survey [16]

Parameter	Inventory of ¹³⁴ Cs (Bq m ⁻²)*					
	Sakhalin	Kunashir	Shikotan	Iturup	Urup	Paramushir
n	7	14	6	6	2	2
Minimum	8	53	97	13	302	8
Maximum	44	155	143	103	345	20
Median	20	88	126	31	324	14
Mean	22	87	124	51	324	14
SD	12	27	018	39	–	–

* – the inventory values for Fukushima-derived ¹³⁴Cs are equal to those for Fukushima-derived ¹³⁷Cs as of 15 March 2011.

Table 7

Reference inventory of pre-Fukushima ^{137}Cs in soils on Sakhalin and Kuril Islands as of 15 March 2011. The calculation results are based on data for representative plots selected for evaluation of a reference deposit of pre-Fukushima ^{137}Cs in 2012 (see Table 4 in this paper) and in 2011 (see Table 2 in [16])

Parameter	Pre-Fukushima ^{137}Cs inventory (Bq m ⁻²)				
	Sakhalin	Kunashir	Shikotan	Iturup	Paramushir
n	4	2	3	3	1
Minimum	1780	2220	2810	2170	3630
Maximum	2300	2960	3060	3290	3630
Median	1820	2590	2860	3130	3630
Mean	1930	2590	2910	2860	3630
SD	250	–	130	610	–

A contribution of Fukushima-borne ^{137}Cs into the total ^{137}Cs inventory in the top 20 cm of soil varied from 0.2% to 61% (mean $\pm$ SD = $9.5 \pm 15.9\%$, median = 3.7%, n = 29). The largest input (33–61%) of the accidental source has been calculated for those sites where background contamination by ^{137}Cs was anomalously low (range 53–293 Bq m⁻²) due to mechanical removal of the topsoil by a human (plots Sak-1 and Shi-2, Table 2 in [16]) or due to a possible natural distortion of beach ridges by tsunamis and storms (plots Uru-1 and Uru-2, Table 4). Hence, the Fukushima accident added only about 3% on the average (83 Bq m⁻²) and ~13% at the maximum (345 Bq m⁻²) to the mean reference pre-accidental inventory of ^{137}Cs (2600 Bq m⁻²) in the grassland soils in the Sakhalin region.

It is worth noting that the vertical distributions of pre-accidental and Fukushima-derived ^{137}Cs differ markedly from each other. Caesium-134 from the Fukushima NPP was found in the top 0–5 cm layer of soil at all plots, excluding one site on Uru (Table 3; Table A.2 in [16]); the maximal activity concentrations were determined in the upper layer of cores at all sites. On the contrary, pre-accidental ^{137}Cs was detected throughout the whole soil profile within the sampled depth for the great majority of plots and the vertical distribution of its activity concentration demonstrated a range of shapes: exponential, homogeneous, and irregular with a clear peak at some depth below the surface (Figs. 2, 3, 5 and 6; Fig. 4 in [16]). The principal differences between the vertical distributions of pre-accidental and Fukushima-derived ^{137}Cs in the soil profile yield an increased contribution of the Fukushima source to the ^{137}Cs total deposition in the top layers of soil compared to that in the entire 20 cm profile. For example, a contribution of the Fukushima NPP to inventory of ^{137}Cs in the top 0–1 cm layer of soil ranged from 2% to 93% (mean $\pm$ SD = $35 \pm 27\%$, median = 24%, n = 26). These calculations indicate the need for a cautious approach to assessment of the ^{137}Cs vertical distribution and migration in soils of the Sakhalin region in the future, when ^{134}Cs will practically disintegrate.

Conclusions

Caesium-134, a marker of Fukushima fallout, was determined in soil samples obtained at 37 grassland locations on Sakhalin, Shikotan, Kunashir, Iturup, Uru and Paramushir Islands in 2011–2012. Inventory of ^{134}Cs in the soil varied between the sites from 8 to 345 Bq m⁻² (as of 15 March 2011). The most contaminated sites were located on the southern

Kuril Islands. Such spatial pattern of Fukushima fallout in Sakhalin Region is qualitatively consistent to simulation results reported by other authors.

The Fukushima accident added relatively small quantity of ^{137}Cs to the reference pre-accidental inventory of ^{137}Cs (2600 Bq m⁻²) in grassland soils in Sakhalin Region: about 3% (~80 Bq m⁻²) on the average and 15% (~350 Bq m⁻²) at the maximum. The additional radioactive contamination of the grassland soils due to the Fukushima accident is absolutely safe from a radiological point of view.

The recently deposited Fukushima-derived radiocaesium was detected only in the top 5 cm layer of soil at all sites, excluding one, where a small proportion of the ^{134}Cs inventory was found at a depth of 5–10 cm. The “aged”, pre-accidental ^{137}Cs was detected throughout the whole soil profile within the 0–20 cm depth at the great majority of sites.

The principle difference between the vertical distributions of Fukushima-derived and pre-accidental ^{137}Cs in the soil indicates the need for a cautious approach to assessment and modeling of the long-term environmental behavior of ^{137}Cs in soils of the Sakhalin region presently, when ^{134}Cs has already practically disintegrated.

Acknowledgment

The authors wish to express their sincere appreciation to B.B. Darizhapov, S.S. Samarsky, T.V. Romanova, L.Yu. Tkalenko, G.N. Romadanova, M.A. Gromova and M.V. Puzanov (Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being on Sakhalin Region) for help with sample collection. The authors also thank two reviewers for constructive comments and suggestions.

References

1. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2014. UNSCEAR 2013 Report. Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident After the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami. United Nations, New York.
2. IAEA – International Atomic Energy Agency, 2015. The Fukushima Daiichi Accident. Technical volume 4/5. Radiological consequences. IAEA, Vienna.
3. Thakur, P., Ballard, S., Nelson, R., 2013. An overview of Fukushima radionuclides measured in the northern hemisphere. Sci. Tot. Environ., Vol. 458–460, pp. 577–613.
4. Onischenko, G.G., Romanovich, I.K., Balonov, M.I., Barkovsky, A.N., Gorsky, A.A., 2011. Accident at «Fukushima-1» NPP: first results of emergency response. Report 1: general information about the accident and radiation situation. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, Vol. 4, No. 2, pp. 5–12. – Available on: <http://www.radhyg.ru/jour/article/view/186/203> > (accessed 11 February 2018) (In Russian).
5. Romanovich, I.K., Balonov, M.I., Barkovsky, A.N., Nikitin, A.I., et al.; Ed.: G.G. Onischenko, 2012. The Accident at the “Fukushima-1” NPP: Prophylactic Countermeasures for Health Safety of the Population of the Russian Federation. Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after professor P.V. Ramzaev», Saint-Petersburg, 336 pp. (In Russian).
6. Saito, K., Tanihata, I., Fujiwara, M., Saito, T., Shimoura, S., Otsuka, T., Onda, Y., Hoshi, H., Ikeuchi, Y., Takahashi, F., Kinouchi, N., Saegusa, J., Seki, A., Takemiya, H., Shibata, T., 2015. Detailed deposition density maps constructed by large-scale soil sampling for gamma-ray emitting radioactive nuclides from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. J. Environ. Radioact., Vol. 139, pp. 308–319.

7. Hasegawa, A., Ohira, T., Maeda, M., Yasumura, S., Tanigawa, K., 2016. Emergency responses and health consequences after the Fukushima accident; evacuation and relocation. *Clinical Oncology*, Vol. 28, pp. 237–244.
8. Fukushima Prefecture, 2018. Decontamination in the prefecture. – Available on: <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-english/en02-03.html> > (accessed 12 February 2018).
9. Marzo, G., 2014. Atmospheric transport and deposition of radionuclides released after the Fukushima Dai-ichi accident and resulting effective dose. *Atmos. Environ.*, Vol. 94, pp. 709–722.
10. Onischenko, G.G., Romanovich, I.K., Barkovsky, A.N., Bruk, G.Ya., Gorsky, A.A., Kaduka, M.V., Konstantinov, Yu.O., Mishin, A.S., Ramzaev, V.P., Repin, V.S., Shutov, V.N., Gromov, A.V., Goncharova, Yu.N., Yakovlev, V.A., 2011. Accident at «Fukushima-I» NPP: first results of emergency response. Report 2: activities of the Rospotrebnadzor authorities for the radiation protection of the Russian Federation population on the early stage of accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, Vol. 4, No. 2, pp. 13–22. – Available on: <http://www.radhyg.ru/jour/article/view/187/204> > (accessed 11 February 2018) (In Russian).
11. Christoudias, T., Proestos, Y., Lelieveld, J., 2014. Global risk from the atmospheric dispersion of radionuclides by nuclear power plant accidents in the coming decades. *Atmos. Chem. Phys.*, Vol. 14, pp. 4607–4616.
12. Molchanova, I.V., Mikhailovskaya, L.N., Pozolotina, V.N., Zhuravlev, Y.N., Timofeeva, Y.O., Burdukovskii, M.L., 2013. Technogenic pollution of soil and plant cover in southern Primorye. *Russ. J. Ecol.*, Vol. 44, pp. 371–374.
13. Mikhailovskaya, L.N., Molchanova, I.V., Pozolotina, V.N., Zhuravlev, Yu.N., Timofeeva, Ya.O., Burdukovskiy, M.L., 2017. Radioactive contamination of the soil–plant cover at certain locations of Primorsky Krai, Sakhalin Island and Kamchatka Peninsula: Assessment of the Fukushima fallout. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 172, pp. 1–9.
14. McKenzie, T., Dulai, H., 2017. Fukushima-derived radiocesium fallout in Hawaiian soils. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 180, pp. 106–113.
15. Borisov, A.P., Ivanov, A.N., Linnik, V.G., Solovyeva, G.Yu., 2017. Determination of Pb-210 and Cs-137 data of gamma-spectrometry in the surface layer of the soil of Matua Island (Central Kuriles). *Proceedings of Russian Annual Seminar on Experimental Mineralogy, Petrology and Geochemistry (RASEMPG – 2017)*, Moscow, 18–19 April 2017, Moscow, 286–289 pp. – Available on: <https://www.researchgate.net/publication/321028148> > (accessed 11 February 2018) (In Russian).
16. Ramzaev, V., Barkovsky, A., Goncharova, Ya., Gromov, A., Kaduka, M., Romanovich, I., 2013. Radiocesium fallout at the grasslands on Sakhalin, Kunashir and Shikotan Islands due to the Fukushima accident: the radioactive contamination of soil and plants in 2011. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 118, pp. 128–142.
17. Klimov, O., 2013. Background knowledge. *Vokrug Sveta*, No. 3, pp. 87–93. – Available on: <http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/8064/> > (accessed 11 March 2018) (In Russian).
18. Ganzey, K.S., 2010. Landscapes and Physico-Geographical Zonation of Kuril Islands. *Dal'nauka*, Vladivostok, 214 pp. (In Russian).
19. Razzhigaeva, N.G., Ganzey, L.A., Mokhova, L.M., Pshenichnikova, N.F., 2011. Meadow landscapes of Southern Kuriles: origin, age and development. *Geography and Natural Resources*, No. 3, pp. 96–104. – Available on: <http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipr/2011-3/96.pdf> > (accessed 11 February 2018) (In Russian).
20. Razzhigaeva, N.G., Ganzey, L.A., Mokhova, L.M., Pshenichnikova, N.F., Eremenko, N.A., 2008. The origin and age of grasslands in the southern Kuril Islands. In: H.G. Schroder (Ed.), *Grasslands: Ecology, Management and Restoration*. Nova Science Publishers, Inc., pp. 205–234. – Available on: <https://www.researchgate.net/publication/288724556> > (accessed 11 February 2018).
21. Grishin, S.Yu., Shlakhov, S.A., 2008. Vegetation and soils of Paramushir Island (the northern Kurile). *Geography and Natural Resources*, No. 4, pp. 96–103. (In Russian).
22. Polokhin, O.V., Sibirina, L.A., 2014. Soil and vegetation cover of the island of Iturup (Kuril Islands). *Modern Problems of Science and Education*, No. 5. Available on: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15179> > (accessed 11 February 2018) (In Russian).
23. Gusiakov, V.K., 2016. Tsunamis on the Russian Pacific coast: history and current situation. *Russian Geology and Geophysics*, Vol. 57, No. 9, pp. 1259–1268. (In Russian).
24. Kravchunovskaya, E.A., Pinegina, T.K., Bourgeois, J., MacInnes, B.T., 2008. Geology-geomorphological effects of the 15.11.2006 tsunami in the Central Kuril. In: *Geophysical monitoring and problems of seismic safety in the Far East of Russia: in 2 volumes. Proceedings of the Regional Scientific and Technical Conference*, Petropavlovsk-Kamchatsky, November 11–17, 2007. Petropavlovsk-Kamchatsky: GS RAS., Vol. 1, pp. 180–183. Available on: <http://www.emsd.ru/konf071112/pdf/t1/str180.pdf> > (accessed 11 February 2018) (In Russian).
25. Ramzaev, V., Repin, V., Medvedev, A., Khramtsov, E., Timofeeva, M., Yakovlev, V., 2012. Radiological investigations at the “Taiga” nuclear explosion site, part II: man-made γ -ray emitting radionuclides in the ground and the resultant kerma rate in air. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 109, pp. 1–12.
26. Strom, D.J., Stransbury, P.S., 1992. Minimum detectable activity when background is counted longer than the sample. *Health Phys.*, Vol. 63, pp. 360–361.
27. Ramzaev, V.P., Barkovsky, A.N., Gromov, A.V., Ivanov, S.A., Kaduka, M.V., 2016. Temporal variations of ^7Be , ^{40}K , ^{134}Cs and ^{137}Cs in epiphytic lichens (genus *Usnea*) at the Sakhalin and Kunashir islands after the Fukushima accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, Vol. 9, No. 3, pp. 14–27. Available on: <http://www.radhyg.ru/jour/article/view/376> > (accessed 11 February 2018).
28. ICRP – International Commission on Radiological Protection, 1983. *Radionuclide Transformations. Energy and Intensity of Emissions*. ICRP Publication 38. Pergamon Press, Oxford, Frankfurt.
29. Arapis, G., Petrayev, E., Shagalova, E., Zhukova, O., Sokolik, G., Ivanova, T., 1997. Effective migration velocity of ^{137}Cs and ^{90}Sr as a function of the type of soils in Belarus. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 34, pp. 171–185.
30. Ramzaev, V., Barkovsky, A., 2018. Vertical distribution of ^{137}Cs in grassland soils disturbed by moles (*Talpa europaea* L.). *J. Environ. Radioact.*, Vol. 184–185, pp. 101–108.
31. Hirose, K., 2012. 2011 Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident: summary of regional radioactive deposition monitoring results. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 111, pp. 13–17.
32. Ramzaev, V., Barkovsky, A., Gromov, A., Ivanov, S., Kaduka, M., 2014. Epiphytic fruticose lichens as biomonitors for retrospective evaluation of the $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ratio in Fukushima fallout. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 138, pp. 177–185.
33. Mann, H.B., Whitney, D.R., 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann. Math. Stat.*, Vol. 18, No. 1, pp. 50–60.
34. Dixon, W.J., Mood, A.M., 1946. The statistical sign test. *J. Am. Stat. Ass.*, Vol. 41, No. 236, pp. 557–566.
35. Spearman, C., 2010. The proof and measurement of association between two things. *Int. J. Epidemiol.*, Vol. 39, pp. 1137–1150. Reprinted with permission from: *Am. J. Psychol.*, 1904, Vol. 15, pp. 72–101.
36. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000. *Sources and Effects of*

- Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York.
37. Schimmack, W., Steindl, H., Bunzl, K., 1998. Variability of water content and of depth profiles of global fallout ^{137}Cs in grassland soils and the resulting external gamma-dose rates. *Radiat. Environ. Biophys.*, Vol. 37, pp. 27–33.
 38. Huh, C.-A., Su, C.-C., 2004. Distribution of fallout radionuclides (^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb and $^{239,240}\text{Pu}$) in soils of Taiwan. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 77, pp. 87–100.
 39. Almgren, S., Isaksson, M., 2006. Vertical migration studies of ^{137}Cs from nuclear weapons fallout and the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 91, pp. 90–102.
 40. Christoudias, T., Lelieveld, J., 2013. Modelling the global atmospheric transport and deposition of radionuclides from the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *Atmos. Chem. Phys.* Vol. 13, pp. 1425–1438.
 41. Izrael, Yu.A., Imshennik, E.V., Kvasnikova, E.V., Nazarov, I.M., Stukin, E.D., 2000. Radioactive contamination of Russia by global fallout from nuclear tests and by Chernobyl deposition. Map on the 90th of XX century. In: Izrael, Yu.A. (Ed.), *Radioactivity after Nuclear Explosions and Accidents. Proceedings of International Conference. Moscow, 24–26 April 2000*, Vol. 1. Hydrometeoizdat, St. Petersburg, pp. 138–145. (In Russian).
 42. Schuller, P., Voigt, G., Handl, J., Ellies, A., Oliva, L., 2002. Global weapons' fallout ^{137}Cs in soils and transfer to vegetation in south-central Chile. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 62, pp. 181–193.
 43. MacInnes, B.T., Bourgeois, J., Pinegina, T.K., Kravchunovskaya, E.A., 2009. Tsunami geomorphology: Erosion and deposition from the 15 November 2006 Kuril Island tsunami. *Geology*, Vol. 37, pp. 995–998.
 44. Bruk, G.Ya., Romanovich, I.K., Bazyukin, A.B., Bratilova, A.A., Vlasov, A.Yu., Gromov, A.V., Zhesko, T.V., Kaduka, M.V., Kravtsova, O.S., Saprykin, K.A., Stepanov, V.S., Titov, N.V., Yakovlev, V.A., 2017. The average annual effective doses for the population in the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for the zonation purposes), 2017. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, Vol. 10, No. 4, pp. 73–78. – Available on: <http://www.radhyg.ru/jour/article/view/530/536> > (accessed 11 February 2018) (In Russian).
 45. Ramzaev, P.V., Miretsky, G.I., Troitskaya, M.N., Dudarev, A.A., 1993. Radioecological peculiarities around the Novaya Zemlya (USSR) atomic test range. *Int. J. Radiat. Hyg.*, Vol. 1, pp. 1–13.
 46. Chappell, A., Hancock, G., Rossel, R.A.V., Loughran, R., 2011. Spatial uncertainty of the ^{137}Cs reference inventory for Australian soil. *J. Geophys. Res.*, Vol. 116, F04014. – Available on: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010JF001942/epdf> > (accessed 08 March 2018).
 47. Blagoeva, R., Zikovskiy, L., 1995. Geographic and vertical distribution of Cs-137 in soil in Canada. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 27, pp. 269–274.
 48. Palsson, S.E., Arnalds, O., Sigurgeirsson, M.A., Gudnason, K., Howard, B.J., Wright, S., Palsdottir, P., 2002. Cs-137 fallout deposition in Iceland: predictions, measurements and assessments impact. *Radioprotection – Colloques*, Vol. 37, pp. C1-1223–1228. – Available on: <http://www.radioprotection.org/articles/radiopro/pdf/2002/05/rad20021pC1-1223.pdf> > (accessed 01 February 2018).
 49. Bergan, T.D., 2002. Radioactive fallout in Norway from atmospheric nuclear weapons tests. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 60, pp. 189–208.
 50. Isaksson, M., Erlandsson, B., Linderson, M.-L., 2000. Calculation of the deposition of ^{137}Cs from the nuclear bomb tests and from the Chernobyl accident over the province of Skåne in the southern part of Sweden based on the precipitation. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 49, pp. 97–112.

Received: February 14, 2018

For correspondence: Valery P. Ramzaev – PhD, leading researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru)

Anatoly N. Barkovsky – the Head of the Laboratory of External Exposure, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Alexey V. Gromov – the Head of the Laboratory on the Emergency Response, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Sergey A. Ivanov – researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Marina V. Kaduka – PhD, the Head of the Laboratory of Radiochemistry, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Gromov A.V., Ivanov S.A., Kaduka M.V. Fukushima fallout in Sakhalin Region, Russia, part 1: ^{137}Cs and ^{134}Cs in grassland soils. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 25–42. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-25-42.

Фукусимские выпадения в Сахалинской области России. Сообщение 1: ^{137}Cs и ^{134}Cs в луговых почвах

В.П. Рамзаев, А.Н. Барковский, А.В. Громов, С.А. Иванов, М.В. Кадука

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Радионуклиды цезий-134 и цезий-137, выброшенные в атмосферу в результате Фукусимской аварии, распространились по всему Северному полушарию. Для оценки рисков, связанных с воздействием Фукусимских выпадений, на российском Дальнем Востоке было проведено комплексное радиационно-гигиеническое обследование. Одной из целей этого проекта являлось определение плотности загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{134}Cs на острове Сахалин и Курильских островах, которые входят в состав Сахалинской области, одного из субъектов Российской Федерации. В 2011 г. образцы почвы были отобраны на лугах островов Сахалин, Кунашир и Шикотан, и результаты исследования 2011 г. были опубликованы ранее. В настоящем исследовании содержание ^{137}Cs и ^{134}Cs было определено в образцах почвы, отобранных в 2012 г. на островах Кунашир, Итуруп, Уруп и Парамушир. Согласно нашим исследованиям, проведенным в 2011–2012 гг., было получено, что плотность поверхностного загрязнения почвы ^{134}Cs из Фукусимских выпадений на 37 целинных луговых участках в Сахалинской области варьировалась от 8 Бк/м² до 345 Бк/м² (по состоянию на 15 марта 2011 г.). На эту дату активности ^{137}Cs и ^{134}Cs в Фукусимских выпадениях были одинаковы. Наибольшая плотность Фукусимских выпадений была обнаружена на Южных Курильских островах. В 2011 и 2012 гг. радиоцезий Фукусимского происхождения был выявлен только в верхнем 5-сантиметровом слое почвы на всех участках, за исключением одного, где ~ 20% от общего запаса ^{134}Cs было найдено на глубине 5–10 см. В период с сентября 2011 г. по сентябрь 2012 г. запас ^{134}Cs в почве снизился приблизительно на 26% на четырех участках, выбранных для долгосрочных наблюдений. Уменьшение запаса ^{134}Cs соответствовало снижению (на 29%) активности ^{134}Cs из-за радиоактивного распада. Величина запаса дофукусимского ^{137}Cs в верхнем 20-сантиметровом слое почвы колебалась от 53 Бк/м² до 3630 Бк/м². В среднем референтный запас дофукусимского ^{137}Cs для 13 представительных участков составил 2600 Бк/м². Следовательно, Фукусимская авария добавила относительно небольшое количество активности ^{137}Cs в луговых почвах Сахалинской области: около 3% (~80 Бк/м²) в среднем и 15% (~350 Бк/м²) в максимуме. Такое дополнительное радиоактивное загрязнение абсолютно безопасно с радиационно-гигиенической точки зрения.

Ключевые слова: Фукусима, Сахалинская область, Курильские острова, почва, луга, ^{134}Cs , ^{137}Cs , плотность загрязнения.

Рамзаев Валерий Павлович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

Проблемы риск-коммуникации по вопросам радиационной безопасности: анализ материалов в сети Интернет после радиационной аварии на Электростальском заводе тяжелого машиностроения

А.М. Библин, Р.Р. Ахматдинов, К.В. Варфоломеева, Л.В. Репин

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Предположительно в первых числах апреля 2013 г. на территории Электростальского завода тяжелого машиностроения произошла плавка металлолома без осуществления входного радиационного контроля. В переплавку попал неустановленный источник ионизирующего излучения, содержащий изотоп ^{137}Cs в неизвестном количестве. В результате плавки произошло загрязнение территории завода и прилегающей к нему территории г. Электросталь. Актуальность исследования обусловлена высокой общественной значимостью этой аварии, подтверждением которой является большое количество материалов, опубликованных как в федеральных, так и в региональных средствах массовой информации. Всего за период с 12.04.2013 г. по 12.05.2013 г. было выявлено 129 материалов. Кроме того, суммарное количество просмотров видеоматериалов, посвященных данной аварии, на сайте youtube превышает численность населения г. Электросталь. Цель исследования состояла в анализе практик кризисной риск-коммуникации, применявшихся различными официальными лицами и специалистами в связи с радиационной аварией на территории Электростальского завода тяжелого машиностроения в 2013 г. В ходе исследования проводился анализ публикаций в средствах массовой информации, сообщений на официальных сайтах ведомств, организаций и органов власти, принимавших участие в аварийном реагировании, видеоматериалов на сайте youtube, сообщений на интернет-форумах. Для учета, анализа и хранения публикаций применялась разработанная специалистами информационно-аналитического центра Роспотребнадзора по радиационной безопасности населения автоматизированная информационная система по анализу публикаций. Анализ информационной работы с населением, проводимой органами власти и представителями различных ведомств при ликвидации последствий радиационной аварии на территории Электростальского завода тяжелого машиностроения, выявил несоответствие реальных практик риск-коммуникации по факту радиационной аварии в г. Электросталь современным научным рекомендациям по коммуникации радиационного риска. Были установлены отдельные случаи предоставления органами официальной власти гражданам недостоверной и взаимоисключающей информации, что вызвало достаточно негативную реакцию со стороны пользователей сети Интернет. Результаты: выявлена недостаточная реакция на распространяемые в сети Интернет информационные материалы, посвященные радиационной аварии, со стороны официальных органов власти. Информация от властей, направленная на успокоение общественности, в связи с критическим восприятием сведений, получаемых от органов власти, не воспринималась серьезно значительной частью населения. Было показано, что для снижения негативных последствий неэффективной информационной работы с населением необходимы разработка методического обеспечения по кризисной риск-коммуникации и внедрение его в повседневную практику Роспотребнадзора путем обучения и повышения квалификации лиц, вовлеченных в информационную работу со СМИ, общественными объединениями и населением.

Ключевые слова: радиационная авария, Электросталь, аварийное реагирование, коммуникация риска, СМИ, кризисная коммуникация.

Библин Артём Михайлович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.biblin@niirg.ru

Введение

Право граждан России на благоприятную окружающую среду, на достоверную информацию о ее состоянии и на участие в решении вопросов охраны окружающей среды закреплено в различных законодательных актах Российской Федерации – статье 42 Конституции РФ, статье 11 Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», статье 8 Федерального закона от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», пунктах 2 и 4 статьи 8 Федерального закона от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», статье 6 Федерального закона от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

Необходимость информационного взаимодействия между гражданами и органами власти имеет не только законодательные, но и вполне очевидные жизненные причины. Разработка методов такого взаимодействия и исследование эффективности предлагаемых методов является предметом рассмотрения такой прикладной области знаний, как «коммуникация риска». Первоначальные научные представления, относящиеся к области коммуникации риска, описывали риск-коммуникацию как односторонний процесс и, соответственно, определяли методы информационной работы с населением, основываясь на подобной модели передачи информации. Основной упор при таком подходе делался на предоставление экспертных оценок и разъяснений сложных научных понятий специалистами населению в максимально доступном для него виде. С годами процесс коммуникации риска трансформировался в подобие маркетинговой стратегии. Коммуникатор пытался внушить («продать») населению «официальную» позицию заинтересованных бизнес-кругов и органов власти, т.е. представить информацию, необходимую для принятия населением «правильных» решений, в наиболее привлекательном виде, независимо от реального положения дел, подчеркивая позитивные моменты и маскируя негативные [1–6].

В настоящее время процесс риск-коммуникации в мировой практике ориентируется прежде всего на интересы конкретного человека и подразумевает активное участие населения в процессе коммуникации с целью построения моста между населением и иными причастными сторонами [7, 8].

Исследования последних лет показали низкую эффективность и ограниченную применимость классического подхода к коммуникации риска во множестве реальных ситуаций, требующих взаимодействия населения и власти. Современные представления об эффективной риск-коммуникации описывают ее как двусторонний интерактивный процесс и исходят из права населения на участие в принятии информированных решений, относящихся к условиям их проживания [9, 10]. Этот процесс имеет достаточно широкие масштабы. В частности, этические вопросы обоснования системы радиационной защиты находятся на повестке дня международной комиссии по радиологической защите (Task group 94) [11].

При возникновении или угрозе возникновения радиационной аварии необходим особый вид информационной работы с населением – кризисная или аварийная

коммуникация радиационного риска. Кризисная риск-коммуникация необходима в случае радиационного события, связанного с выбросом (или угрозой выброса) радиоактивности в окружающую среду, риском облучения населения или персонала сверх установленных нормативов, а также при информационном «вбросе» недостоверной информации о якобы произошедшем событии. Результатами несвоевременной или непрофессиональной риск-коммуникации при радиационной аварии могут стать либо прямой ущерб здоровью в результате радиационного поражения, либо косвенный ущерб вследствие паники, а впоследствии также снижение доверия к органам власти и администрациям, ответственным за ведение хозяйственной деятельности с использованием источников ионизирующего излучения.

Коммуникация радиационного риска имеет большое значение в условиях радиационных аварий и инцидентов, а также в случае распространения недостоверной информации о таких происшествиях. По мнению авторов работ [12–14], проведенная должным образом коммуникация риска в кризисных условиях позволяет сохранить физическое, психическое и психологическое здоровье населения.

Развитие атомной энергетики, активное применение ионизирующего излучения в промышленности и медицине, испытания ядерного оружия рядом стран могут привести и приводят к возникновению ситуаций, сопряженных с тревогами людей за свое здоровье. В то же время техническое развитие общества привело к изменению коммуникационной цепочки: источник информации – СМИ – население. С активным внедрением Интернета в жизнь населения информация распространяется практически моментально. Между событием и информацией о событии, появившейся в социальных сетях, иногда проходят минуты. Любой человек с доступом в Интернет является одновременно и источником информации, и СМИ (в обычном значении этого слова).

За период с 2012 по 2016 г. в информационной системе учета радиационных аварий и инцидентов информационно-аналитического центра Роспотребнадзора по радиационной безопасности населения, функционирующего на базе Научно-исследовательского института радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева (НИИРГ) [15], зарегистрирован 991 случай радиационных аварий и инцидентов на территории Российской Федерации. Преобладающее большинство таких аварий и инцидентов относятся к радиационным инцидентам, не приведшим к загрязнению окружающей среды и сверхнормативному облучению населения и персонала [16]. Однако некоторые аварии в Российской Федерации или на территории сопредельных государств вызывают достаточно широкий общественный резонанс, т.к. риски повышенного облучения населения в них абсолютно реальны. В качестве примера в настоящей статье рассматривается радиационная авария, произошедшая на Электростальском заводе тяжелого машиностроения (ОАО «ЭЗТМ») в 2013 г. [17, 18]. В работе проводится анализ применявшихся в связи с этой аварией методов информационной работы с населением на предмет соответствия действий различных органов власти современным научным представлениям об эффективной кризисной коммуникации риска.

Цель исследования – оценить применение практик кризисной риск-коммуникации при реализации официальными лицами и специалистами мероприятий по ликвидации радиационной аварии (РА) на территории Электростальского завода тяжелого машиностроения в 2013 г.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Изучить накопленный отечественный и зарубежный опыт по применению современных практик и рекомендаций в области кризисной коммуникации радиационного риска.
2. Проанализировать материалы, представленные в сети Интернет, и комментарии пользователей к ним, для выявления наиболее важных для населения вопросов, относящихся к изучаемой РА, на предмет соответствия научным рекомендациям в области риск-коммуникации, относящимся к информации о состоянии окружающей среды.
3. Сформулировать основные проблемы в организации информационной работы с населением, выявленные в результате анализа, и обосновать необходимость разработки и внедрения в практику Роспотребнадзора и органов государственной власти методических рекомендаций по кризисной коммуникации радиационного риска.

Материалы и методы

Анализ применявшихся методов информационной работы с населением осуществлялся путем исследования публикаций в СМИ, высказываний представителей различных органов власти и специалистов и реакции со стороны государственных и муниципальных органов и учреждений, принимавших участие в реагировании на эту аварию, на предмет соответствия этих высказываний и действий современным научным рекомендациям в области кризисной коммуникации радиационного риска.

Для исследования были использованы информационные материалы в федеральных и региональных СМИ, опубликованные в период с 12.04.2013 г. по 13.05.2013 г., отобранные по поисковому запросу «Электросталь радиация», а также сообщения, опубликованные на официальных сайтах органов государственной власти, ведомств и организаций, принимавших участие в реагировании на событие на ОАО «ЭЗТМ», за период с 12.04.2013 г. по 15.11.2017 г. Для учета, анализа и хранения публикаций применялась Автоматизированная система анализа публикаций (АСАП), разработанная в развитие функционала действующей Автоматизированной системы контроля радиационного воздействия (АСКРВ Роспотребнадзора) специалистами информационно-аналитического центра Роспотребнадзора по радиационной безопасности населения [17].

Краткая хронология событий

Предположительно в первых числах апреля 2013 г. ООО «Техпромснаб плюс», арендовавшее производственный участок цветного литья (ПУЦЛ) у ОАО «ЭЗТМ», произвело плавку металлолома, не осуществив входной радиационный контроль. В переплавку попал неустановленный источник ионизирующего излучения, содержащий изотоп ^{137}Cs в неизвестном количестве. В результате плавки произошло загрязнение территории завода и прилегаю-

щей к нему территории г. Электросталь. 12 апреля 2013 г. руководство ОАО «ЭЗТМ» официально известило администрацию г. Электросталь и Управление МЧС России по Московской области о выявлении повышенного уровня мощности дозы гамма-излучения на территории завода. В этот же день информация о повышении радиационного фона на территории завода поступила в территориальный отдел Управления Роспотребнадзора по Московской области. С 12 апреля при участии специалистов ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора по Московской области, аварийных бригад ФГУП НПО «РАДОН», ИБРАЭ РАН и НИИРГ им. П.В. Рамзаева были проведены мероприятия по уточнению радиационной обстановки и выработке рекомендаций по минимизации последствий радиационной аварии. С этого же момента начали осуществляться мероприятия по ликвидации последствий аварии при участии сил МЧС России и местных органов власти с привлечением специализированных организаций. Приблизительная площадь загрязнения территории г. Электросталь, исключая территорию ОАО «ЭЗТМ», составила 0,25 км². В зоне радиоактивного загрязнения оказались жилые дома и объекты социальной инфраструктуры, в том числе детский сад, развлекательный центр и гаражно-строительный кооператив [18, 19].

Социальная значимость аварии

По общественному резонансу эта авария стала одним из самых заметных радиационных происшествий на территории Российской Федерации за последние годы, что связано с местом аварии (Московская область) – вторым по численности населения регионом Российской Федерации, находящемся в непосредственной близости от Москвы.

Свидетельством общественной значимости этой аварии является большое количество материалов, опубликованных как в федеральных, так и в региональных средствах массовой информации. Всего за период с 12.04.2013 г. по 12.05.2013 г. было опубликовано 129 материалов. Распределение публикаций по дням представлено на рисунке 1.

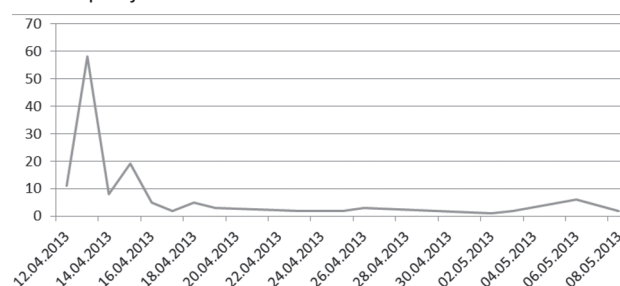


Рис. 1. Распределение количества публикаций, посвященных РА на ОАО «ЭЗТМ» в период с 12.04.2013 г. по 11.05.2013 г.

[Fig 1. Distribution of the number of publications devoted to the radiation accident at JSC «EZTM» in the period from 12.04.2013 to 11.05.2013]

Первые материалы, посвященные аварии на ОАО «ЭЗТМ», стали появляться вечером 12.04.2013 г. Наибольшее количество материалов (58) пришлось на следующий день после выявления аварии. В дальнейшем количество публикаций зависело от наличия информационного повода (заявления чиновника).

На сайте youtube найдено 19 видеороликов об аварии на ОАО «ЭЗТМ» с количеством просмотров более 1000. Суммарное количество просмотров этих видеоматериалов превышает 216 000. Среди видеоматериалов встречаются ролики нейтрального, позитивного и негативного содержания. Представленные видеоматериалы содержат отчеты об исследовании радиационной обстановки в городском округе Электросталь гражданскими активистами. Часть этих материалов носит алармистский характер и может повысить уровень радиотревожности населения и снизить уровень доверия населения к ответственным за ликвидацию последствий аварии организациям – например, видеоролик, посвященный «горячим частицам мелкодисперсного цезия». Информация о видеороликах с наибольшим числом просмотров представлена в таблице 1.

Большой отклик авария нашла на местных интернет-форумах: «Электростальский городской форум» и «форум Электростальских мамочек» (ныне – «форум Электростальских родителей»).

Реакция официальных лиц

Среди публикаций в СМИ особый интерес вызывают публикации с высказываниями официальных лиц. 114 публикаций содержат ссылки на высказывания представителей органов власти или специалистов организаций, участвующих в ликвидации последствий аварии, или цитаты из этих высказываний. Распределение организаций по количеству упоминаний в материалах СМИ представлено на рисунке 2.

Комментарии МЧС, администрации городского округа Электросталь и Роспотребнадзора упоминаются в материалах СМИ на протяжении всего исследуемого периода времени. Среди организаций, чьи комментарии публикуются в основном в первые дни после аварии, – МВД и Росатом. Комментарии ФГУП НПО «РАДОН», ИБРАЭ РАН и НИИРГ появляются по факту начала участия этих организаций в противоаварийных мероприятиях.

Выдержки из официальных сообщений, размещенных на сайтах ведомств, организаций и органов власти, принимавших участие в аварийном реагировании, представлены в таблице 2.

Анализ высказываний официальных лиц выявил факты предоставления населению недостоверной информации о произошедшей аварии. Так, в сообщениях официальных лиц речь идет о «двух фоновых источниках», «незначительном превышении фона на предприятии», «отсутствии загрязнения в жилых кварталах» и т.п. Кроме того, официальные лица и специалисты высказывали взаимоисключающие мнения о необходимости проведения дезактивации. Например, специалистами ИБРАЭ РАН и представителями местной власти высказано мнение, что реализации мер по радиационной защите территории не потребуются, тогда как на практике за территорией завода были произведены дезактивационные мероприятия.

Реакция населения и общественных активистов в сети Интернет

Для оценки информационного поля в сети Интернет были выбраны два наиболее активных местных интернет-ресурса: forum.electrostal.com, на котором обсуждаются повседневные вопросы жизни города Электросталь, и elmata.ru – портал электростальских родителей, группы населения со значительным уровнем настороженности к

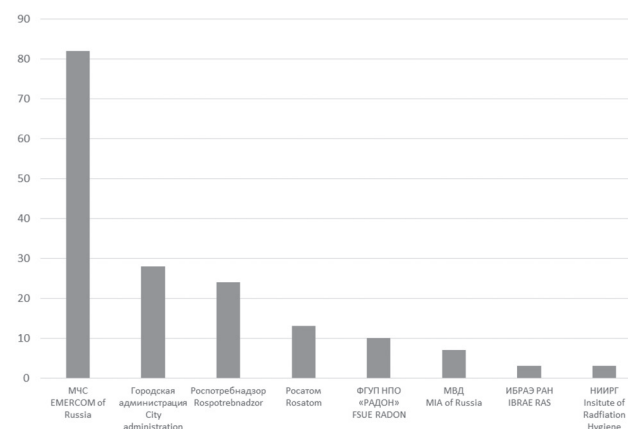


Рис. 2. Распределение организаций по количеству упоминаний в материалах СМИ
[Fig 2. Distribution of organizations by the number of references in the media]

Видеоролики на сайте youtube, посвященные РА на ОАО «ЭЗТМ» с наибольшим числом просмотров

Таблица 1

Videos on youtube website devoted to the radiation accident at JSC «EZTM» with the highest number of hits

[Table 1]

№	Название видео [Video title]	Дата размещения [Uplode date]	Количество просмотров [Number of Views]
1.	ЭЛЕКТРОСТАЛЬ: измерение радиационного фона после аварии на ЭЗТМ [ELEKTROSTAL: measurement of the radiation background after the accident at EZTM]	17.04.2013	74 020
2.	Радиация в городе Электросталь выброс ЭЗТМ [Radiation in the city of Elektrostal. Fallouts of EZTM]	21.04.2013	58 855
3.	Выброс в Электростали! (12.04.2013) [Explosion at the factory]	12.04.2013	13 333
4.	ПРАВДА о радиации в Электростали [TRUTH about radiation in Elektrostal]	17.04.2013	12 147
5.	Очаг радиоактивной аварии в г. Электросталь [The center of a radioactive accident in the town of Elektrostal]	27.08.2013	6 664

радиационному фактору, обеспокоенных загрязнением мест возможного пребывания детей.

На elmta.ru тема форума, посвященная аварии, содержит 396 комментариев пользователей.

На forum.electrostal.com основная тема, посвященная аварии, содержит 4692 комментария.

По характеру высказываний комментарии пользователей Интернета можно разделить на успокаивающие, алармистские и саркастическо-юмористические. Ниже приведены характерные высказывания (орфография и пунктуация отредактированы):

Алармистские:

– «По Горьковке в сторону Стали проехала пара МЧС-овских Форд Транзитов, на одном что-то про мобильный штаб по МО было написано. Воистину, когда в официальных источниках говорят «всё нормально», стоит призадуматься».

– «Да понятно, что правды не узнаем.... Страшновато, вообще-то... ибо окна квартиры смотрят на проходную и никакого «километра» до нас здесь и в помине нет... Только сделать-то что с этим? Эвакуироваться? Насколько? И куда?»

– «Почему их не эвакуируют? Почему завод продолжает работать?! Уровень ВНЕ нормы же!»

Успокаивающие:

– «Хоть бы поинтересовались в инете, что такое радиация. Даже если лежит болванка с повышенным уровнем излучения, а ты в километре от нее, и что? Тотальная безграмотность, отсюда и паника от слова «радиация». Простой гранит тоже фонит, однако в метро все ездят».

– «Резюме от Дежурной части УМВД – на Машзавод привезли железки, превышающие фон в несколько раз... НЕ СМЕРТЕЛЬНО! ГОСПОДА – СПОКОЙСТВИЕ!!! Господам журналистам – удачи и не надо раздувать «из мухи слона!»

Таблица 2

Высказывания представителей различных ведомств и организаций в первые дни после радиационной аварии на ОАО «ЭЗТМ»

[Table 2

[Statements by representatives of various departments and organizations during the first days after the radiation accident at JSC «EZTM»]

Организация [agency]	Количество сообщений [Numer of messeges]	Текст сообщения [Message text]	Дата со- общения [Date of the message]
ГУ МЧС России по Московской области [EMERCOM of Russia for Moscow region]	3	По состоянию на 12.30 обстановка в г. Электросталь в связи с повышенным уровнем радиации под контролем. На территории завода работают специалисты. Проводятся повторные замеры уровней радиационного фона. Угрозы распространения нет. Ситуация угрозы жизни и здоровью населения не представляет. [As of 12.30, the situation in Elektrostal in connection with the increased level of radiation is under control. Experts work on the territory of the plant. Repeated measurements of radiation background levels are being carried out. There is no threat of proliferation. There is no threat to the life and health of the population.]	13.04.2013
		12.04.2013 г. в Администрацию городского округа Электросталь поступила информация, что на участке цветного литья предприятия, арендующего помещение у ОАО «ЭЗТМ», было выявлено незначительное превышение фоновых значений. Загрязнение обнаружено при отгрузке готовой продукции. ... До ближайших жилых домов более 1 км. Радиационный фон в зоне жилой застройки в норме. Ситуация угрозы жизни и здоровью населения не представляет. [On 12.04.2013, the Administration of the city district of Elektrostal received the information that a slight excess of background values had been detected on the non-ferrous casting site of the enterprise renting the premises from JSC "EZTM". Pollution was detected during shipment of finished products. ... The nearest residential buildings are more than 1 km away. The radiation background in the residential area is normal. There is no threat to the life and health of the population.]	13.04.2013
МЧС России [EMERCOM of Russia]	4	В 18.30 (мск) 12.04.2013 г. в г. Электросталь Московской области по адресу: ул. Красная, д. 19 на территории завода «Тяжелого машиностроения» обнаружено 2 источника ионизирующего излучения. Специалистами «Роспотребнадзора» проведены замеры уровня радиации. Жертв, пострадавших и угрозы населению нет. [At 18.30 (Moscow time) on 12.04.2013 in the city of Elektrostal, Moscow Region at the address: Krasnaya str., 19 on the territory of the plant «Heavy Engineering» found two sources of ionizing radiation. Specialists of «Rospotrebnadzor» conducted measurements of the radiation level. There are no victims and threats to the population.]	12.04.2013
		По состоянию на 20.00 (мск.) 13.04.2013 г. радиационный фон в г. Электросталь Московской области в норме. Угрозы населению нет. Два фоновых источника ионизирующего излучения вывезены на полигон по переработке и хранению радиационных материалов для утилизации. Проводятся работы по дезактивации. [As of 20.00 (Moscow time) on 13.04.2013 the radiation background in the city of Elektrostal, Moscow Region, is normal. There are no threats to the population. Two background sources of ionizing radiation were taken to the landfill for processing and storing radiation materials for disposal. Works on decontamination are being carried out.]	13.04.2013

Организация [agency]	Количество сообщений [Numer of messeges]	Текст сообщения [Message text]	Дата со- общения [Date of the message]
МЧС России [EMERCOM of Russia]	4	По состоянию на 09.30 (мск.) 15.04.2013 г. радиационный фон в г. Электросталь Московской области в норме. Угрозы населению нет. В течение суток: вывезены 7 болванок (всего вывезено: все 14 болванок, в том числе два фоновых источника ионизирующего излучения) на полигон по переработке и хранению радиационных материалов для утилизации. Проводятся работы по дезактивации. [As of 09.30 (Moscow time) on 15.04.2013. the radiation background in the city of Elektrostal, Moscow Region, is normal. There are no threats to the population. During the day: 7 discs (all taken out: all 14 discs including two background sources of ionizing radiation) were taken to the landfill for processing and storing radiation materials for disposal. Works on decontamination are being carried out.]	15.04.2013
ИБРАЭ РАН [IBRAE RAS]	1	Результаты проведенных дозиметрических измерений дали основания утверждать, что ожидаемая в связи с радиационным инцидентом дополнительная доза облучения населения города и персонала завода не превысит 1/10 средней облучаемости от природного фона, поэтому реализации мер по радиационной защите территории не потребуются. Подготовленные в ИБРАЭ РАН экспертные заключения и рекомендации были направлены в администрацию Московской области, мэрию г. Электросталь, территориальные управления МЧС и Роспотребнадзора по Московской области, НЦУКС МЧС РФ. [The results of the dose rate measurements made it possible to state that the additional dose of radiation for the city's population and the plant personnel expected in connection with the radiation incident will not exceed 1/10 of the average dose from the natural background, therefore, no radiation protection measures will be required. Expert opinions and recommendations prepared at IBRAE RAS were sent to the Moscow Region Administration, the Elektrostal City Administration, the territorial directorates of the Ministry for Emergency Situations and Rospotrebnadzor for the Moscow Region, Crisis Management Centre of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation.]	
ФГУП НПО «РАДОН» [FSUE RADON]	2	13 апреля с.г. в здании цеха ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения» (город Электросталь) работниками предприятия были обнаружены участки радиоактивного загрязнения. В результате обследования территории завода работники ФГУП «РАДОН» установили превышение мощности дозы гамма-излучения металлических отливок в количестве 15 штук. Загрязнение произошло в результате нарушения технологии переплавки металлолома из нержавеющей стали. ... В настоящее время проводится детальное радиационное обследование здания цеха и прилегающей территории, герметизация здания, начаты работы по дезактивации территории. ... На протяжении недели ФГУП «РАДОН» продолжало ведение работ по дезактивации территории ОАО «ЭЗТМ». Ситуация под контролем, мониторинг будет продолжен, на предприятии будет продолжена локальная работа по дезактивации территории. [April 13 this year, in the building of the workshop of JSC «EZTM» (the city of Elektrostal), the employees of the enterprise discovered radioactive contamination sites. As a result of the plant's territory survey, the employees of the Federal State Unitary Enterprise «RADON» established an excess of the dose rate of gamma radiation in the 15 pieces of metal castings. Contamination was caused by a violation of the technology of remelting scrap from stainless steel. ... At present, a detailed radiation survey of the building of the workshop and adjacent territory, sealing of the building, and works on decontamination of the territory have been started. ... During the week, FSUE RADON continued the work on decontamination of the territory of JSC «EZTM». The situation is under control, monitoring will continue, the local work on decontamination of the territory will be continued at the enterprise.] ФГУП «РАДОН» принял активное участие в работах по локализации и удалению радиоактивных загрязнений на территории ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения». Выполненные работы позволили исключить распространение загрязнений за территорию завода. Оценка радиационной обстановки за пределами предприятия проводилась органами Роспотребнадзора. [FSUE RADON took an active part in the work on localization and removal of radioactive contaminants on the territory of JSC "Electrostal Heavy Machinery Works". The performed works allowed to exclude the spread of contamination over the territory of the plant. Assessment of the radiation situation outside the enterprise was carried out by the bodies of Rospotrebnadzor.]	23.04.2013
			20.05.2013

– «Дежурный диспетчер МЧС по Московской области 5 минут назад сообщила, что на 9-00 час. Радиационный фон на ул. Красная (центральная проходная ЭЗТМ) в пределах нормы, фон не превышен».

Анализ комментариев пользователей показал, что значительная часть пользователей не доверяли официальной информации о РА, а поведенческие реакции продемонстрировали полное безразличие к аварии со стороны населения. Обращает на себя внимание тот факт, что среди «успокаивающих» комментариев встречается множество ссылок на недостоверную официальную информацию.

Исследование научных рекомендаций по кризисной коммуникации риска

Классические принципы риск-коммуникации [1–6, 20, 21] остаются актуальными и в настоящее время:

- люди имеют право на участие в принятии решений, касающихся их жизни;
- различные цели, аудитории и каналы коммуникации требуют различных стратегий коммуникации риска;
- необходимо прислушиваться к аудитории, её запросам;
- честность и открытость являются фундаментом для построения доверительных отношений с населением;
- несогласованность в предоставляемой населению информации между различными органами власти приводит к снижению доверия власти со стороны населения;
- взаимодействие со СМИ и общественностью должно осуществляться на плановой постоянной основе;
- специалисты должны говорить с населением просто, ясно, прибегая к сравнениям и избегая профессионального жаргона.

Результаты социологических исследований последних лет [22–26], проведенных в различных странах (Россия, Евросоюз, Япония), позволили сформулировать рекомендации и общие принципы коммуникации риска в условиях чрезвычайных ситуаций (кризисной риск-коммуникации) [23]:

- Залог эффективности риск-коммуникаций в период аварии – создание регулярных каналов связи (в том числе со СМИ) и завоевание доверия в безаварийный период. Эти связи должны быть живыми и активными.
- Привлечение максимального количества людей и методов коммуникации к открытому диалогу с предоставлением возможности получения ответов на вопросы – ключ к доверию со стороны населения.
- Реакция со стороны власти на запросы СМИ должна быть моментальной, власти должны быть готовы к оперативному предоставлению информации. При этом предоставляемая информация не должна допускать возможности различной трактовки.
- Необходимо поддерживать общественные инициативы в области мониторинга радиационной обстановки и различные формы волонтерства, если добровольцы действуют в интересах жителей. Добровольцы и активисты могут служить хорошими посредниками при общении с населением.
- Информация о радиационной обстановке, равно как и любая сопутствующая информация в области радиационной безопасности, должна быть открытой и доступной всем, всегда и везде и распространяться абсолютно свободно.

- Необходима поддержка ресурсов, обеспечивающих возможность двусторонней связи с населением, предоставления заинтересованным лицам информации о событиях: телефонные горячие линии, социальные сети, сайты с возможностью задать вопрос, электронная почта.
- Необходимо использовать все возможные средства коммуникации с населением, включая смс-информирование, информирование в социальных сетях, общественный сход, поквартирный обход, лекции и т.д. Необходимо уделять особое внимание наиболее чувствительным социальным группам населения – беременным женщинам, родителям маленьких детей и т.п.
- Межведомственное взаимодействие. Информация от всех источников информации должна быть согласованной, не противоречащей друг другу.

Основные выводы

Анализ материалов, характеризующих состояние информационной работы с населением, проводимой органами власти и представителями различных ведомств при ликвидации последствий РА на ОАО «ЭЗТМ», выявил несоответствие реальных практик риск-коммуникации по факту радиационной аварии в г. Электросталь современным научным рекомендациям по коммуникации радиационного риска. Самой главной ошибкой явилось предоставление официальной властью гражданам неполной, недостоверной и взаимоисключающей информации, а также информации, допускающей возможность различной трактовки, что вызвало негативную реакцию со стороны пользователей сети Интернет. Оценивая действия (или бездействие) официальных лиц в области риск-коммуникации, можно сделать следующие выводы:

1. Ни во время РА, ни по прошествии времени не было создано ни одного централизованного информационного ресурса в сети Интернет для населения, содержащего достоверную официальную информацию о радиационной обстановке в районе РА.
2. Реакция на распространяемые в сети Интернет информационные материалы, посвященные РА, со стороны официальных органов власти была недостаточной. Не осуществлялись в должной мере мониторинг интернет-ресурсов и СМИ, не осуществлялось изучения мнения населения и уровня его доверия к официальной информации. Не осуществлялась поддержка общественных инициатив в области мониторинга радиационной обстановки.
3. В отдельных случаях было выявлено предоставление неполной, недостоверной, а иногда и противоречивой информации населению и СМИ разными ведомствами. Усилия властей были направлены на то, чтобы «успокоить общественность», но в связи с критическим восприятием сведений, получаемых от органов власти, информация не пользовалась доверием у значительной части населения.
4. Не была проведена специальная риск-коммуникация с родителями маленьких детей как наиболее чувствительной группой населения.
5. Несмотря на наличие у населения интереса к данному вопросу, посткризисная коммуникация риска со стороны государства в настоящее время фактически не осуществляется.
6. Для снижения негативных последствий неэффек-

тивной информационной работы с населением необходимы разработка методического обеспечения по кризисной риск-коммуникации и его внедрение в повседневную практику Роспотребнадзора путем обучения и повышения квалификации лиц, вовлеченных в работу со СМИ, общественными объединениями и населением.

Литература

1. Covello V., Sandman P.M. Risk communication: evolution and revolution. *Solutions to an Environment in Peril*, 2001, pp. 164–178.
2. Perko T. How to Communicate about Radiological Risks? A European Perspective, 2015, № 1.
3. Ann Fisher. Risk Communication Challenges. *Risk analysis*, 1991, Vol. 1, № 2, pp. 173–179.
4. Slovic P. Perception of risk. *Science*, 1987, Vol. 236, № 4, pp. 280–285.
5. Kasperson R., Golding D., Toler S. Social distrust as a factor in siting hazardous facilities and communication risk. *Journ. of Social Issues*, 1992, Vol. 48, № 4, pp. 161–187.
6. Slovic P. Informing and education the public about risk. *Risk analysis*, 1986, Vol. 6, N. 4, pp. 403–415.
7. World Health Organization et al. *Health and environment: communicating the risks*, 2013.
8. Архангельская, Г.В. Трудности информирования населения по вопросам радиационной безопасности / Г.В. Архангельская, И.А. Зыкова, С.А. Зеленцова // *Радиационная гигиена*. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 42–49.
9. Орхусская конвенция: руководство по осуществлению / Организация Объединенных Наций. – 2-е изд. – Нью-Йорк и Женева, 2014. – 380 с.
10. Stražičar B., Kralj M. The Aarhus convention in the nuclear sector—right to information versus nonproliferation? *Journal of Radiological Protection*, 2016, Vol. 36, № 2, pp. S160–S174.
11. Cho K.W. Ethical foundations of the radiological protection system. *Annals of the ICRP*, 2016, Vol. 45, № 1_suppl., pp. 297–308.
12. IAEA. *Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency*. Vienna. 116 p.
13. Centers for Disease Control and Prevention [et al.]. *Crisis and emergency risk communication (2012 edition)*. Atlanta (United States of America): Department of Health and Human Services. Center for Disease Control and Prevention, 2014, 424 p.
14. Lundgren R.E., McMakin A.H. *Risk communication: A handbook for communicating environmental, safety, and health risks*. John Wiley & Sons, 2013, 392 p.
15. Репин, Л.В. Автоматизированная система контроля радиационного воздействия Роспотребнадзора: история создания, назначение и развитие / Л.В. Репин, А.М. Библин, П.Г. Ковалев, В.С. Репин [и др.]. // *Радиационная гигиена*. – 2015. – Т. 7, № 3. – С. 44–53.
16. Романович, И.К. Анализ радиационных аварий и инцидентов, зарегистрированных в российской Федерации за 2012–2016 годы / И.К. Романович, Р.Р. Ахматдинов, Р.Р. Ахматдинов, А.М. Библин, А.В. Громов, Л.В. Репин; под ред. А.Ю. Поповой // *Актуальные вопросы организации контроля и надзора за физическими факторами: матер. Всеросс. науч.-практ. конф.* – 2017. – С. 343–346.
17. Библин, А.М. Анализ характера освещения в средствах массовой информации радиационной безопасности населения Санкт-Петербурга и Ленинградской области / А.М. Библин // *Радиационная гигиена*. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 23–30.
18. Романович, И.К. Особенности аварийного реагирования при радиационных авариях на нерадиационных объектах (на примере аварии на электростальском заводе тяжелого машиностроения) / И.К. Романович: rosptrebnadzor.ru/upload/iblock/6d7/30-06-15-romanovich.ppt (дата обращения: 24.10.2017)
19. Арутюнян, Р.В. Реагирование на радиационный инцидент на ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения». Позитивные уроки / Р.В. Арутюнян: osatom.ru/mediafiles/u/files/zasedania_2013/Arutunian_21_11_2013.pdf (дата обращения: 24.10.2017)
20. Архангельская, Г.В. Методические подходы к информационной защите населения на основе представлений о социальной приемлемости радиационного риска: пособие для специалистов служб Роспотребнадзора / Г.В. Архангельская, И.А. Зыкова, С.А. Зеленцова // *Радиационная гигиена*. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 60–64.
21. Covello V.T., and F.Allen. 1988. *Seven Cardinal Rules of Risk Communication*. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis
22. Архангельская, Г.В. Оценка последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» населением Дальнего Востока / Г.В. Архангельская, С.А. Зеленцова, И. А. Зыкова // *Радиационная гигиена*. – 2012. – Т. 5, № 4. – С. 12–20.
23. Мелихова, Е.М. О некоторых механизмах социального усиления восприятия риска для здоровья при освещении в СМИ аварии на АЭС Фукусима / Е.М. Мелихова, Е.М. Быркина, Ю.А. Першина // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. – 2013. – Т. 58, № 4. – С. 5–16.
24. Kuroda Y. Current State and Problems of Radiation Risk Communication: Based on the Results of a 2012 Whole Village Survey. *PLOS Currents Disasters*. 2017 Feb 24. Edition 1. doi: 10.1371/currents.dis.84670981063d27f0a7c41b959fca70ec.
25. Murakami M., Nakatani J., Oki T. (2016) Evaluation of Risk Perception and Risk-Comparison Information Regarding Dietary Radionuclides after the 2011 Fukushima Nuclear Power Plant Accident. *PLOS ONE* 11(11): e0165594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165594>.
26. Perko T. Radiation risk perception: a discrepancy between the experts and the general population. *Journal of environmental radioactivity*, 2014, Vol. 133, pp. 86–91.

Поступила: 16.11.2017 г.

Библин Артём Михайлович – и.о. руководителя информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.biblin@niirg.ru

Ахматдинов Руслан Расимович – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия.

Варфоломеева Ксения Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории экологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия.

Репин Леонид Викторович – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Библин А.М., Ахматдинов Р.Р., Варфоломеева К.В., Репин Л.В. Проблемы риск-коммуникации по вопросам радиационной безопасности: анализ материалов в сети Интернет после радиационной аварии на Электростальском заводе тяжелого машиностроения // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 43-52. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-43-52.

Problems of risk communication on radiation safety. Analysis of materials on the Internet after the 2013 radiation accident at the Electrostal Heavy Engineering Works

Artem M. Biblin, Ruslan R. Akhmatdinov, Kseniya V. Varfolomeeva, Leonid V. Repin

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Presumably in the first days of April 2013, the smelting of scrap metal occurred on the territory of the Electrostal Heavy Engineering Works without the use of radiation input control. An unspecified source of ionizing radiation, containing ^{137}Cs in an unknown quantity, was melted. As a result of smelting, contamination of the territory of the plant and the adjacent territory of Elektrostal city occurred. The relevance of the study is due to the high social significance of this accident, which is confirmed by a large number of materials published in both federal and regional mass media. In total, for the period from 12.04.2013 to 12.05.2013, 129 materials were identified. In addition, the total number of video views on this accident on the YOUTUBE website exceeds the population of Elektrostal city. The purpose of the study was to analyze the practice of crisis risk communication, used by various officials and specialists in connection with the radiation accident in the territory of the Electrostal Heavy Engineering Works in 2013. The study analyzed publications in the mass media, messages on official websites of departments, organizations and authorities involved in the emergency response, video materials on the YOUTUBE website, messages on Internet forums. In order to record, analyze and store publications, an automated information system for the analysis of publications, developed by specialists of the Rospotrebnadzor Information and Analytical Center for Radiation Safety of the Population was used. The analysis of crisis risk communication with the population conducted by government bodies and representatives of various departments in the liquidation of the consequences of a radiation accident on the territory of the Electrostal Heavy Engineering Works revealed a discrepancy between the real risk communication practices in the case of the radiation accident in Elektrostal with modern scientific recommendations for radiation risk communication. Individual cases of unreliable and mutually exclusive information provided by the authorities to citizens were identified, resulting in a rather negative response on the part of Internet users. As a result of the research, there was revealed a lack of response to information materials distributed on the Internet, devoted to a radiation accident on the part of official authorities. Information from the authorities aimed at appeasing the public, due to the critical perception of the information received from the authorities, was not taken seriously by a significant part of the population. It was shown that in order to reduce the negative consequences of ineffective information work with the public, it is necessary to develop methodological support for crisis risk communication and to introduce it into the everyday practice of Rospotrebnadzor through training and improving the skills of individuals involved in communication with the media, non-governmental organizations and the population.

Key words: radiation accident, Elektrostal, emergency response, risk communication, media, crisis communication.

Artem M. Biblin

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: a.biblin@niirg.ru

References

1. Covello V., Sandman P.M. Risk communication: evolution and revolution. *Solutions to an Environment in Peril*, 2001, pp. 164-178.
2. Perko T. How to Communicate about Radiological Risks? A European Perspective, 2015, № 1.
3. Ann Fisher. Risk Communication Challenges. *Risk analysis*, 1991, Vol. 1, № 2, pp. 173-179.
4. Slovic P. Perception of risk. *Science*, 1987, Vol. 236, № 4, pp. 280-285.
5. Kasperson R., Golding D., Toler S. Social distrust as a factor in siting hazardous facilities and communication risk. *Journ. of Social Issues*, 1992, Vol. 48, № 4, pp. 161-187.
6. Slovic P. Informing and education the public about risk. *Risk analysis*, 1986, Vol. 6, N. 4, pp. 403-415.
7. World Health Organization et al. Health and environment: communicating the risks, 2013.
8. Arkhangelskaya G.V., Zykova I.A., Zelentsova S.A. The difficulties of informing the population on the issues of radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2015, Vol. 7, № 2, pp. 42-49. (In Russian).
9. The Aarhus Convention: An Implementation Guide. United Nations, 2 ed. New York and Geneva, 2014, 380 p. (In Russian).
10. Stražičar B., Kralj M. The Aarhus convention in the nuclear sector—right to information versus nonproliferation? *Journal of Radiological Protection*, 2016, Vol. 36, № 2, pp. S160–S174.
11. Cho K.W. Ethical foundations of the radiological protection system. *Annals of the ICRP*, 2016, Vol. 45, № 1_suppl., pp. 297-308.
12. IAEA. Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency. Vienna. 116 p.
13. Centers for Disease Control and Prevention [et al.]. Crisis and emergency risk communication (2012 edition). Atlanta (United States of America): Department of Health and Human Services. Center for Disease Control and Prevention, 2014, 424 p.
14. Lundgren R.E., McMakin A.H. Risk communication: A handbook for communicating environmental, safety, and health risks. John Wiley & Sons, 2013, 392 p.
15. Repin L.V., Biblin A.M., Kovalev P.G., Repin V.S. [et al.]. The Automated System of Radiation Exposure Control (ASCARE) for Rospotrebnadzor: creation history, applicability and development. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2015, Vol. 7, № 3, pp. 44-53. (In Russian).
16. Romanovich I.K., Akhmatdinov R.R., Akhmatdinov R.R., Biblin A.M., Gromov A.V., Repin L.V.; Ed.: Popova A.Yu. Analysis of radiation accidents and incidents registered in the Russian Federation for 2012-2016. Topical issues of the organization of control and supervision of physical factors. *Proceedings of the All-Russ. scientific-practical. Conf*, 2017, pp. 343-346. (In Russian).
17. Biblin A.M. Analysis of the media coverage characteristics on radiation safety issues of the Saint-Petersburg and the Leningrad region population. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol. 10, № 2, pp. 23-30. (In Russian).
18. Romanovich I.K. Features of emergency response in case of radiation accidents at non-radiation facilities (on the example of the accident at the Electrostal Heavy Engineering Works. – Available on: rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/6d7/30-06-15-romanovich.ppt (accessed: 24.10.2017). (In Russian).
19. Arutyunyan R.V. Responding to a radiation incident at JSC Electrostal Heavy Engineering Works. Positive lessons. – Available on: osatom.ru/mediafiles/u/files/zasedania_2013/Arutinian_21_11_2013.pdf (accessed: 24.10.2017) (In Russian).
20. Arkhangelskaya G.V., Zykova I.A., Zelentsova S.A. Methodical approaches to information protection of the population on the basis of ideas about the social acceptability of radiation risk: Handbook for specialists of the Rospotrebnadzor. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2010, Vol. 3, № 1, pp. 60-64. (In Russian).
21. Covello V.T., and F.Allen. 1988. Seven Cardinal Rules of Risk Communication. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis
22. Arkhangelskaya G.V., Zelentsova S.A., Zykova I.A. Assessment of the Fukushima nuclear power plant accident consequences by the population in the Far East. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2012, Vol. 5, № 4, pp. 12-20. (In Russian).
23. Melikhova E.M., Byrkina E.M., Pershina Yu.A. On the Issue of Certain Mechanisms of Social Amplification of Risk in Media Coverage of the Fukushima NPP Nuclear Accident. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*, 2013, Vol. 58, № 4, pp. 5-16. (In Russian).
24. Kuroda Y. Current State and Problems of Radiation Risk Communication: Based on the Results of a 2012 Whole Village Survey. *PLOS Currents Disasters*. 2017 Feb 24. Edition 1. doi: 10.1371/currents.dis.84670981063d27f0a7c41b959fca70ec.
25. Murakami M., Nakatani J., Oki T. (2016) Evaluation of Risk Perception and Risk-Comparison Information Regarding Dietary Radionuclides after the 2011 Fukushima Nuclear Power Plant Accident. *PLOS ONE* 11(11): e0165594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165594>.
26. Perko T. Radiation risk perception: a discrepancy between the experts and the general population. *Journal of environmental radioactivity*, 2014, Vol. 133, pp. 86-91.

Received: November 16, 2017

For correspondence: Artem M. Biblin – Head, Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: a.biblin@niirg.ru)

Ruslan R. Akhmatdinov – Junior Researcher, Information and Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Kseniya V. Varfolomeeva – Junior Researcher, Laboratory of Ecology, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Leonid V. Repin – Junior Researcher, Information and Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Biblin A.M., Akhmatdinov R.R., Varfolomeeva K.V., Repin L.V. Problems of risk communication on radiation safety. Analysis of materials on the Internet after the 2013 radiation accident at the Electrostal Heavy Engineering Works. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 43-52. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-43-52.

Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля

А.А. Цапалов¹, С.М. Киселев², А.М. Маренный³, К.Л. Ковлер⁴, С.И. Кувшинников⁵

¹Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

²Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна,
Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

³Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены,
Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

⁴Израильский технологический институт «Technion», Хайфа, Израиль

⁵Федеральный центр гигиены и эпидемиологии, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

Контроль радона в зданиях проводится уже многие десятилетия в разных странах мира, включая Россию. Однако до сих пор отсутствует единый стандарт, позволяющий оценивать значение неопределенности результата контроля с учетом режима и продолжительности измерений. Очевидно, что с уменьшением продолжительности измерений увеличивается неопределенность контроля. Отсутствие данных о доверительном интервале величины среднегодового содержания радона в помещении не позволяет выполнять корректное и надежное сравнение с нормативным уровнем как на стадии приемки зданий в эксплуатацию, так и в эксплуатируемых зданиях. Это также существенно затрудняет развитие эффективного метода, стратегии массового контроля и выявление зданий с высоким содержанием радона. В России несколько лет назад был разработан надежный метод контроля, учитывающий временные вариации радона и продолжительность измерений, однако он до сих пор малоизвестен и не имеет практического применения. В статье приводится принцип контроля радона, основанный на простых критериях, широко используемых в метрологии и отвечающих требованиям современных стандартов. Этот принцип вводит новый параметр — коэффициент временных вариаций радона $K_v(t)$, который выражает основную составляющую неопределенности среднегодового уровня радона в зависимости от режима и продолжительности измерений. Предложен оригинальный алгоритм определения значений $K_v(t)$, разработанный на основе результатов непрерывных годовых мониторингов радона в представительных экспериментальных помещениях. Кроме того, показана структура поправочного коэффициента, учитывающего влияние температуры на поведение радона. Использование поправочного коэффициента позволяет снизить величину $K_v(t)$, однако его применение ограничено.

Ключевые слова: радон, объемная активность, эквивалентная активность, коэффициент временных вариаций, поправочный коэффициент, нормативный уровень, неопределенность, доверительный интервал, мониторинг.

Современное состояние проблемы контроля радона

Известно, что радон является основным фактором облучения населения Земли, вызывающим раковые заболевания. Среднемировая доза годового облучения от радона составляет около 1,2 мЗв, или 42% от всех известных природных и техногенных источников ионизирующих излучений [1]. Для населения России значение этого

показателя оценивается почти в два раза выше — около 2,0 мЗв [2, 3]. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, до 14% всех заболеваний раком легкого обусловлено влиянием радона за счет ингаляции его короткоживущих продуктов распада [4] (вероятно, для населения России доля заболеваний выше). Однако негативное влияние радона поддается регулированию, и его можно снижать, в отличие от действия, например, кос-

Цапалов Андрей Анатольевич

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов.

Адрес для переписки: 121357, Москва, ул. Вересаева, 15; E-mail: andrey-ants@yandex.ru

мического и терригенного излучений. Поэтому во многих странах, включая Россию, установлены допустимые уровни содержания радона в помещениях зданий. С этой целью проводятся измерения для оценки среднегодовой объемной активности (СОА) радона и сравнения с нормативным (или контрольным) уровнем, значения которого, в зависимости от страны, находятся в диапазоне от 74 [5] до 4000 [6] Бк/м³. В России норматив выражен в единицах эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона, согласно СанПиН 2.6.1.2523-09¹, и ограничивается на уровне 100 и 200 Бк/м³ для вводимых в эксплуатацию и существующих зданий соответственно². В случае превышения норматива должны проводиться радонозащитные мероприятия, а затем снова определяться уровень радона.

Массовый контроль радона в зданиях начали проводить около 25 лет назад в США [7], а также в Великобритании и Швеции, когда сами жители или владельцы зданий стали выступать инициаторами измерений и оплачивать соответствующие работы. Осуществляемый в России контроль радона нельзя считать массовым, т.к. население мало информировано и не проявляет соответствующей инициативы. Тем не менее, согласно отчетам Роспотребнадзора, в рамках плановых надзорных мероприятий только за период с 2006 по 2012 г. в России было выполнено почти 1,4 млн измерений ЭРОА и объемной активности радона в зданиях. Однако, несмотря на многолетний и обширный международный опыт, пока отсутствует признанный единый стандарт, позволяющий определять СОА радона с известной точностью.

Проблема контроля радона обусловлена тем, что концентрация радона внутри помещений не только эксплуатируемых, но даже закрытых незаселенных зданий отличается значительными суточными, недельными и сезонными колебаниями, амплитуда которых может изменяться во много раз. Очевидно, что наиболее точная оценка СОА радона может быть получена, если измерения выполнялись в течение всего года. При этом также очевидно, что уменьшение продолжительности измерений будет приводить к увеличению неопределенности оценки СОА радона. Тем не менее, в подавляющем большинстве случаев контроль радона выполняется на основе результатов краткосрочных измерений. Например, за последние 25 лет долгосрочные измерения проводились лишь в 2% всех радоновых тестов в США [8], что состав-

ляет около 500 тыс. измерений при общей численности более 24 млн. В России долгосрочные измерения проводятся выборочно, поэтому их количество за последние 20 лет пока не превышает 40–50 тыс. [9–15].

Отметим, что такой подход объясняется, помимо технических аспектов, еще и тем, что глобальное среднее геометрическое, взвешенное по численности населения, или наиболее вероятное значение СОА радона в зданиях составляет около 30 Бк/м³ [16], что существенно ниже нормативного уровня. Поэтому чаще всего вполне допустимо оценивать СОА с достаточно высокой неопределенностью – на уровне 100% и выше. Однако неопределенность СОА на основе результатов краткосрочных измерений никак не контролируется, а ее относительные значения существенно различаются вследствие разной (нестандартизированной) продолжительности контроля, которая может составлять от нескольких минут или часов до нескольких дней, недель или даже месяцев, согласно МУ 2.6.1.2838-11³ и [6], но не более 3 месяцев [5]. С целью повышения надежности результатов контроля в период краткосрочных измерений рекомендуется, согласно МУ 2.6.1.2838-11³ и [5, 6], закрывать все окна и двери в обследуемом помещении для обеспечения менее интенсивного и более стабильного воздухообмена. Это приводит к некоторому увеличению концентрации радона, однако исключает промахи в выявлении зданий с СОА радона выше норматива.

Долгосрочные измерения, очевидно, позволяют более точно оценивать СОА радона, но проводятся гораздо реже, т.к. их продолжительность составляет от 2-3 месяцев до 1 года, согласно МВИ 2.6.1.003-99⁴ и [5, 6, 17, 18]. Даже рекомендуется проводить два длительных измерения в разные сезоны года, согласно МУ 2.6.1.2838-11³ и [6, 17, 18]. Однако и в случае долгосрочных измерений проблема оценки неопределенности СОА радона тоже остается нерешенной. Очевидно, что точность оценки СОА радона, например, в течение 3 или 10 месяцев измерений будет разной.

Учитывая вышеизложенное, необходимо критически оценить, как обеспечивается качество контроля радона в США и странах Европейского союза, где к настоящему времени накоплен огромный опыт в организации и проведении массовых измерений. Как бы странно это ни выглядело, но до сих пор руководящим документом, обеспечивающим качество контроля радона в США, остается EPA

¹ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09: утв. 01.09.2009. взамен НРБ-99. М.: Минздрав России, 2009. [Norms of radiation safety (NRB-99/2009): sanitary rules and regulations (SanPiN 2.6.1.2523-09): M.: Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 100 p. (in Russian)].

² Для примерного сопоставления с объемной активностью величину ЭРОА радона следует умножать на два [The equilibrium equivalent concentration (EEC) should be multiplied by two for approximate comparison with the radon activity concentration].

³ Методические указания МУ 2.6.1.2838-11. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности. Утв. 28.01.2011. – взамен МУ 2.6.1.715-98 [Methodical guidance MU 2.6.1.2838-11. Radiation control and sanitary-epidemiological assessment of residential, public and industrial buildings and constructions after the completion of construction, general overhaul, renovation on the indicators of radiation safety. Approved 28.01.2011.]

⁴ Методика выполнения измерений МВИ 2.6.1.003-99. Радон. Измерение объемной активности интегральным трековым методом в производственных, жилых и общественных помещениях. [Radon. Measurement of the volume activity using integral track method in residential, public and industrial housings. Procedure of measurements 2.6.1.003-99.]

402-R-95-012 [19], утвержденный в 1997 г. Это достаточно объемное руководство, целиком посвященное обеспечению и контролю качества исключительно процедуры измерений объемной активности радона (инструментальной неопределенности). В то же время более значимая составляющая неопределенности оценки COA радона, обусловленная его временными вариациями в зданиях, вообще не рассматривается. Кроме того, ни в одном из последних стандартов США, типа ANSI/AARST MAH-2014 [5], а также ни в международном стандарте ISO 11665-8 (2012) [18], ни в публикациях Международного агентства по атомной энергии (IAEA, 2013, 2015, 2017) [6, 20, 21], касающихся контроля радона в зданиях, не показано количественно и даже не обсуждается, как доверительный интервал или неопределенность оценки COA радона зависит от продолжительности и режима измерений.

Обзор литературы [22–40], опубликованной в течение последних десятилетий в связи с изучением поведения радона для оценки COA в зданиях, показывает, что основная цель практически всех национальных исследований заключалась в определении структуры и значений поправочного коэффициента, учитывающего влияние факторов окружающей среды. Одним из наиболее важных влияющих факторов (и в то же время поддающихся простому контролю) является температура воздуха снаружи здания либо разность температуры внутри и снаружи здания. Действительно, во многих публикациях отмечается, что в зимний период содержание радона в помещениях обычно выше, чем летом [26–28, 30, 33–37]. Однако это не является строгим правилом, т.к. нередко наблюдается противоположная закономерность [9, 13, 22, 23, 38–41]. Поэтому применение температурного, сезонного или какого-либо другого поправочного коэффициента должно ограничиваться экспериментально определенными условиями, при которых обеспечивается характерное (прогнозируемое с высокой вероятностью) поведение радона в помещениях установленного типа в период проведения измерений.

Следует отметить, что наличие даже обоснованного поправочного коэффициента и определенных ограничивающих условий не отменяет необходимости оценки неопределенности COA радона. В любом случае должен существовать алгоритм для оценки неопределенности COA радона либо на основе статистического анализа результатов измерений разной длительности в представительных помещениях, либо на основе расчетной модели, учитывающей совокупный набор разного рода факторов (особенности климата и геологии, строительных материалов и конструкции здания, системы вентиляции и отопления, состава и поведения жильцов, типа и расположения обследуемой комнаты в здании и т.п.). Надежный алгоритм на основе расчетной модели, который можно было бы применять для оценки наиболее вероятного значения и доверительного интервала COA радона в отдельном помещении (или для конкретного здания в целом), до сих пор отсутствует и, вследствие большого числа влияющих на поведение радона факторов, вряд ли будет получен в будущем. В силу мультипликативного действия разных факторов влияния, суммарная неопределенность COA радона не поддается надежной оценке либо оказывается неприемлемо высокой, если целью контроля является приемка в эксплуатацию либо обнаружение помеще-

ний и зданий с повышенным содержанием радона. Таким образом, алгоритм для оценки неопределенности COA радона целесообразно разрабатывать исключительно на основе статистического анализа результатов измерений разной длительности.

Среди довольно обширного списка публикаций [22–40] за последние десятилетия лишь в одной [38] предпринималась попытка оценки неопределенности COA в зависимости от продолжительности контроля. В этом исследовании приводится зависимость коэффициента вариаций (KV) радона от продолжительности (2 и 4 сут, а также 1, 3, 4 и 6 мес.) и условий измерений (закрытые или открытые помещения). Значения KV характеризуют неопределенность COA радона. В этой работе статистический анализ вариаций радона проводился на основе результатов долгосрочных синхронных обследований 62 частных жилых домов в штате Миннесота (США). Как указывают авторы, этот штат отличается повышенным содержанием радона в зданиях и контрастным климатом.

Однако значения KV, полученные в работе [38], нельзя считать надежными для применения к отдельным помещениям или отдельным зданиям, поскольку многие авторы, например [31, 32, 38], определяют значения KV традиционным путем (отношение стандартного отклонения к математическому ожиданию), используя результаты параллельных краткосрочных и долгосрочных измерений в большом количестве зданий, но при этом не учитывают два весьма важных обстоятельства. Во-первых, в отличие от логнормального характера пространственного распределения радона в зданиях, характер временного (частотного) распределения объемной активности радона в отдельных помещениях не имеет определенной закономерности. В этом случае невозможно оценить доверительную вероятность неопределенности COA радона в помещении, если используются значения KV. Во-вторых, величина KV в данном случае характеризует относительный средний разброс значений COA радона, что при некоторых ограничениях (равная продолжительность измерений либо наличие огромного массива данных) допускает применение KV, например, для расчета неопределенности коллективной дозы облучения за счет радона в зданиях. В то же время подобные средние оценки разброса нельзя применять для определения индивидуальной дозы или для сопоставления определяемой COA радона в конкретном помещении с контрольным (нормативным) уровнем. Кроме того, для оценки надежности прогноза COA радона авторы [31, 32, 38] используют специальные подходы и терминологию («*sensitivity*», «*specificity*», «*efficiency*», «*predictive value of a positive/negative test*»), принятые в медицинской статистической диагностике [42]. Однако подобный подход нельзя считать надежным в отношении контроля радона в жилых и производственных зданиях, поскольку в этом случае не предусматривается количественная оценка величины неопределенности или доверительного интервала результата измерения, т.е. не учитываются рекомендации международного стандарта [43] по выражению неопределенности результата измерения.

Отсутствие информации о неопределенности или границах доверительного интервала определяемой COA радона существенно затрудняет:

– корректное и надежное сравнение COA радона с нормативным уровнем, т.е. определение соблюдения

требований радиационной безопасности по ограничению концентрации радона, как в существующих, так и в вводимых в эксплуатацию новых зданиях, согласно СанПиН 2.6.1.2523-09¹;

– оптимизацию продолжительности измерений и стратегии массового контроля радона в зданиях с целью снижения не только временных, но и финансовых затрат, учитывая имеющиеся ресурсы; например, нецелесообразно использовать более точную аппаратуру и проводить долгосрочные измерения в помещениях с низким содержанием радона, причем таких помещений подавляющее большинство, как во всем мире, так и на территории России (см. выше);

– корректную оценку среднестатистических значений по отдельным выборкам зданий и в целом; если же частные результаты массового контроля радона, проводившиеся разными методами (мгновенными, кратко-, средне- или долгосрочными), характеризуются определенным доверительным интервалом, то при оценке средних показателей инверсное значение неопределенности можно использовать как вес частного результата измерений, что особенно важно при построении карт потенциальной радоноопасности территорий, а также для пополнения баз данных и более корректной оценки коллективных доз.

Для решения указанных проблем в рамках Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» были запланированы и проведены исследования с целью изучения закономерности поведения объемной активности и ЭРОА радона в зданиях Московского региона. Результаты представлены в ряде публикаций [44–50]. Кроме того, были разработаны, утверждены и введены в действие ФМБА России методические указания «Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности» (МУ 2.6.1.037-2015)⁵. Данный документ дополняет МУ 2.6.1.2838-11³ в части радонового контроля, конкретизируя условия измерений, порядок их проведения и расчет значения среднегодовой ЭРОА изотопов радона в помещениях зданий с оценкой ее неопределенности в зависимости от продолжительности и режима измерений. В основу МУ 2.6.1.037-2015⁵ положен надежный принцип контроля радона в зданиях, который удовлетворяет требованиям метрологии и рекомендациям современного национального стандарта ГОСТ Р 54500.3-2011⁶.

Таким образом, в России были организованы и проведены уникальные научные исследования, результаты которых не только отличаются новизной, но и имеют важное международное практическое значение, поскольку позволяют, наконец, подойти к разрешению проблемы качества контроля радона в зданиях. Однако, спустя

уже более двух лет после выхода МУ 2.6.1.037-2015⁵, в отечественной практике рутинного радонового контроля почти ничего не изменилось. Поэтому мы считаем необходимым вновь напомнить о существовании МУ 2.6.1.037-2015⁵ и обратиться за помощью к руководству и сотрудникам лабораторий радиационного контроля, а также контролирующим организациям Роспотребнадзора, Ростехнадзора, Росаккредитации и др. с целью более эффективного распространения информации и внедрения в производственную практику отечественных достижений.

Последующие разделы данной части статьи посвящены более подробному, чем в МУ 2.6.1.037-2015⁵, описанию современного принципа контроля радона в помещениях зданий, включая структуру поправочного коэффициента. Кроме того, детально представлен алгоритм определения значений коэффициента временных вариаций радона с учетом продолжительности и режима измерений.

Принцип контроля радона

Принцип контроля радона в помещении состоит в определении доверительного интервала СОА радона в диапазоне от $\bar{C} - U(\bar{C})$ до $\bar{C} + U(\bar{C})$ (либо в диапазоне от 0 до $\bar{C} + U(\bar{C})$, если $U(\bar{C}) > \bar{C}$) и сравнении границ этого интервала с нормативным уровнем, согласно следующим трем критериям.

Критерий 1. Определяемая СОА или среднегодовая ЭРОА (далее – СЭА) радона не превышает нормативный уровень, если выполняется условие (1); тогда измерения прекращаются, а радонозащитные мероприятия не проводятся.

$$\bar{C} + U(\bar{C}) = \bar{C} \cdot [1 + U_{rel}] \leq C_H \quad \text{или} \quad (1)$$

$$k \cdot C(t) \cdot \left[1 + \sqrt{K_V(t)^2 + U_u^2} \right] \leq C_H$$

$$[U_{rel}(\bar{C}) = U(\bar{C})/\bar{C} = \sqrt{K_V(t)^2 + U_u^2}], \text{ где}$$

$\bar{C}$ – измеренное или расчетное значение СОА (или СЭА) радона, Бк/м³;

C_H – нормативный уровень, Бк/м³;

$U(\bar{C})$ – абсолютная неопределенность СОА (или СЭА) радона, Бк/м³;

U_{rel} – относительная неопределенность СОА (или СЭА) радона, отн. ед.;

$C(t)$ – измеренное среднее значение объемной активности (или ЭРОА) радона за период времени t , Бк/м³;

k – поправочный коэффициент (отн. ед.), учитывающий влияние факторов окружающей среды на поведение радона при определенных ограничивающих условиях, при которых обеспечивается характерное (прогнозируемое с

⁵ Методические указания МУ 2.6.1.037-2015. Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности. Утв. 14.05.2015. 40 с. [Methodical guidelines MG 2.6.1.037-2015. Estimation of the average annual equilibrium equivalent concentration of radon isotope in the air of housings based on the measurements of different duration. Approved 14.05.2015, 40 p.].

⁶ ГОСТ Р 54500.3-2011. Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения [GOST R 54500.3-2011/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement].

высокой вероятностью) поведение радона в помещениях установленного типа в период проведения измерений; если признаки закономерного поведения радона не установлены, то $k=1$;

$K_V(t)$ – коэффициент временных вариаций радона (отн. ед.), зависящий от режима и продолжительности измерений и изменяющийся в диапазоне от 0 (если $t=1$ год, но без учета межгодовых вариаций; см. Часть 2) до 200% и более (если $t < 2$ суток), согласно МУ 2.6.1.037-2015⁵; этот коэффициент выражает неопределенность временных вариаций радона в помещениях как величину относительного максимального отклонения $C(t)$ от СОА (или СЭА) радона;

U_u – относительная инструментальная неопределенность (отн. ед.) или неопределенность величины $C(t)$, значение которой обычно находится в диапазоне 10–40% (обеспечение надежности контроля исключительно этой величиной посвящено руководство [19]).

Критерий 2. Определяемая СОА (или СЭА) радона превышает нормативный уровень, если выполняется условие (2); тогда измерения прекращаются и проводятся радонозащитные мероприятия.

$$\bar{C} - U(\bar{C}) > C_H \quad \text{или} \quad (2)$$

$$k \cdot C(t) \cdot \left[1 - \sqrt{K_V(t)^2 + U_u^2} \right] > C_H.$$

Критерий 3. Если оба условия (1) и (2) не выполняются, то продолжение измерений может привести к выполнению одного из этих условий, поскольку параметры $C(t)$ и $K_V(t)$ зависят от продолжительности измерений, причем значение $K_V(t)$ всегда будет снижаться. Если по результатам дополнительных измерений условия (1) и (2) тоже не выполняются, то рекомендуется считать, что нормативный уровень превышен.

Таким образом, коэффициент $K_V(t)$ является важной частью неопределенности оценки СОА (или СЭА) радона, особенно в период краткосрочных измерений, когда обеспечивается условие $K_V(t)^2 \gg U_u^2$. С целью практического применения значения $K_V(t)$ должны быть определены с удовлетворительной точностью и табулированы. Также необходимо учитывать, что при определенных условиях значения $K_V(t)$ могут быть уменьшены за счет применения коэффициента k .

Представленный принцип соответствует требованиям метрологии и рекомендациям современного национального стандарта ГОСТ Р 54500.3-2011⁶, поэтому обеспечивает высокую надежность контроля радона, независимо от применяемых методов и средств измерений объемной активности или ЭРОА радона в помещениях зданий. Этот простой принцип широко используется для контроля качества при производстве разного рода продукции, однако для контроля радона он предложен впервые, видимо, по причине отсутствовавших прежде надежных критериев контроля и подходов в оценке коэффициента временных вариаций радона.

Определение коэффициента временных вариаций радона

Для определения значений $K_V(t)$ предлагается новый подход, принципиально отличающийся от ранее принимавшихся попыток количественной оценки вре-

менных вариаций радона [22, 25–32, 38]. Новый подход основан на анализе результатов годовых мониторингов радона в представительных экспериментальных помещениях. Представительными можно считать помещения, во-первых, отличающиеся повышенным содержанием радона, а во-вторых, расположенные в зданиях, которые наиболее распространены в регионах с характерной геологией и климатом. Однако алгоритм обработки результатов мониторингов не зависит от типа помещения и расположения здания. При этом целесообразно классифицировать экспериментальные помещения, поскольку информация о ранжировании может быть весьма полезна в будущем (когда будет накоплен большой массив экспериментальных данных), если удастся найти связь между $K_V(t)$ и типом помещений (их отличительными признаками).

Критерием повышенного содержания радона является превышение концентрации радона в экспериментальном помещении более чем в 5 раз относительно концентрации радона в наружном (атмосферном) воздухе. В этом случае СОА радона будет приближаться к нормативному уровню либо превысит его. В противном случае, если атмосферный радон при глобальном значении около 10 Бк/м³ [1] является основным источником радона, то СОА радона в помещении будет существенно ниже норматива.

В качестве табличных значений $K_V(t)$, которые могут применяться в практике контроля радона в помещениях зданий, предлагается использовать только максимальные значения коэффициента $K_V(t)$ относительно всех экспериментальных помещений (либо помещений определенного типа, если обнаружена вышеупомянутая связь). При этом учитывается зависимость $K_V(t)$ от продолжительности непрерывных измерений, либо нескольких измерений, проводившихся в разные сезоны года. Кроме того, коэффициент $K_V(t)$ не может определяться как классический КВ, поскольку временное (частотное) распределение значений $C(t)$ в помещениях обычно не имеет характерной (нормальной или логнормальной) зависимости. Поэтому с целью обеспечения доверительной вероятности результата оценки СОА (или СЭА) радона на уровне 95%, предлагается определять значение $K_V(t)$ при заданной продолжительности контроля t непосредственно путем анализа частоты распределения значений $C(t)$, полученных на основе непрерывного годового мониторинга объемной активности (или ЭРОА) радона с периодом регистрации (усреднения данных), равным t .

Тогда значение $K_V(t)$, как это следует из соотношений (3)–(6), будет соответствовать максимальному отклонению нижней (индекс L) или верхней (индекс U) границы распределения частных значений $C_i(t)$ от экспериментально определенной СОА (или СЭА) радона C_E .

$$K_V(t) = \max[K_V^L(t); K_V^U(t)] \quad (3)$$

$$|K_V^L(t) - K_V^U(t)| \rightarrow \min \quad (4)$$

$$K_V^L(t) = \max[|\bar{C}_E / C^L(t) - 1|; |C^L(t) / \bar{C}_E - 1|] \quad (5)$$

$$K_V^U(t) = \max[|\bar{C}_E / C^U(t) - 1|; |C^U(t) / \bar{C}_E - 1|] \quad (6)$$

где $C^L(t)$ и $C^U(t)$ – нижняя и верхняя границы соответственно.

На рисунке 1 представлен пример частотного распределения концентрации радона в экспериментальном помещении. Верхняя и нижняя границы должны располагаться так, чтобы доля значений $C_i(t)$ в отсекаемых «хвостах» не превышала 5% и одновременно выполнялось условие (4).



Рис. 1. Пример частотного распределения концентрации радона в помещении и положения нижней и верхней границ (пунктирные линии) [51]

[Fig. 1. Example of the indoor radon activity concentration distribution and location of the lower and upper limits (the dashed lines) [51]]

Значения функции $K_V(t)$ для конкретного экспериментального помещения на всем временном интервале, например от 1 суток до 12 месяцев, можно определить, используя соотношения (3)–(6), на основе данных одного годового мониторинга в этом помещении, если период регистрации (усреднения данных) не превышает 1 сут. Однако с целью накопления при годовом мониторинге статистически значимого массива, например, включающего 8760 (соответствует количеству часов в году), 4380 или 2920 значений, оптимальный период регистрации (интервал измерений) должен составлять 1, 2 или 3 ч соответственно. Это позволяет преобразовывать исходный массив данных, состоящий из коротких часовых интервалов, в массив с суточными, недельными или месячными интервалами с тем же шагом (1, 2 или 3 ч), путем вычисления скользящего среднего значения. При этом количество значений в новом (преобразованном) массиве снижается незначительно.

В случае выполнения нескольких измерений в течение года значения функции K_V могут быть определены путем преобразования того же исходного массива с результатами годового мониторинга. Частное значение K_V в случае проведения двух (или четырех) измерений, каждое из которых продолжительностью t^* (от 1 сут до нескольких месяцев) с интервалом начала 6 мес. (± 1 мес.) или 3 мес. (± 2 недели) соответственно, определяется в следующей последовательности:

а) исходный массив данных (с интервалом регистрации 1, 2 или 3 ч) разбивается на 2 (или 4) равные части, в которых данные с одинаковыми порядковыми номерами соответствуют времени начала измерений с интервалом 6 (или 3) месяцев;

б) данные каждого массива одинаково преобразуются путем вычисления скользящего среднего значения за период t^* с шагом 1, 2 или 3 ч, при этом объем нового массива уменьшается на количество значений, равное t^* , деленное на 1, 2 или 3 ч соответственно;

в) полученные 2 (или 4) массива преобразуются в один путем вычисления среднего по 2 (или 4) значениям с одинаковыми порядковыми номерами;

г) из объединенного массива выбираются минимальное C_{min} и максимальное C_{max} значения для расчета K_V по формуле (7).

$$K_V = \max \left[\left| \frac{\bar{C}_E}{C_{min}} - 1 \right|; \left| \frac{C_{min}}{\bar{C}_E} - 1 \right| \right] \quad (7)$$

Выше был представлен алгоритм, позволяющий определять значения коэффициента $K_V(t)$ и, соответственно, неопределенности СОА (или СЭА) радона с учетом продолжительности и режима измерений в конкретном экспериментальном помещении. Однако надежность табличных значений $K_V(t)$ может быть обеспечена, если этот алгоритм охватывает набор представительных экспериментальных помещений. Проблема представительности экспериментальных помещений, а точнее их совокупного набора обсуждается во второй части статьи, основываясь на имеющемся экспериментальном материале. Объем этого материала относительно небольшой, поэтому пока сложно сформулировать строгие критерии, обеспечивающие представительность набора помещений, как и результатов самого исследования.

Структура поправочного коэффициента

Структура формулы поправочного коэффициент k в случае учета влияния температуры на поведение радона в помещениях имеет следующий вид [44,47].

$$k = \frac{1}{K_T(\delta T) + 1} \quad \text{при} \quad \delta T = \frac{T_b - T_n}{\langle T_b \rangle - \langle T_n \rangle} - 1, \text{ где (8)}$$

$K_T(\delta T)$ – коэффициент температурного влияния (отн. ед.), зависящий от относительной разности температуры δT , по уточненным данным соответствует функции на рисунке 2; T_b и $\langle T_b \rangle$ – измеренная и среднегодовая температура внутри помещения, °C; T_n и $\langle T_n \rangle$ – измеренная и среднегодовая температура снаружи здания, °C.

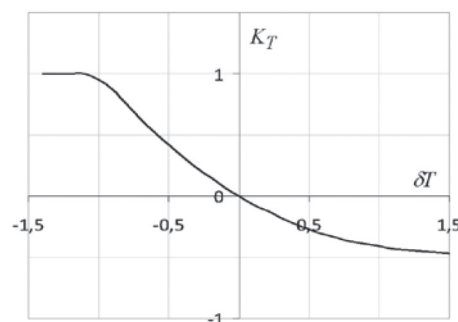


Рис. 2. Вид функции $K_T(\delta T)$.

[Fig. 2. The function $K_T(\delta T)$]

Важно уточнить, что применение коэффициента k существенно ограничивается набором следующих требований:

а) только закрытые помещения с естественной вентиляцией и стабильным источником поступления радона (строительные материалы);

б) продолжительность непрерывного измерения не более 2 недель;

в) только климатические зоны с регулируемым отопительным периодом.

Однако практически всем этим требованиям соответствуют новые незаселенные многоэтажные здания перед вводом их в эксплуатацию. Также этим требованиям отвечают эксплуатируемые многоэтажные производственные и общественные здания в период продолжительного (не менее 2 сут) отсутствия людей, например, в течение выходных дней. Таким образом, несмотря на набор ограничений, учет температурного влияния может применяться в значительной доле зданий на территории России.

Заключение

Анализ состояния проблемы оценки неопределенности среднегодового уровня радона в помещениях и его надежного сравнения с нормативом показывает необходимость совершенствования методов контроля радона в зданиях. Результаты контроля радона нельзя считать надежными, пока не будет внедрен предложенный принцип контроля, учитывающий современные требования метрологии и международных стандартов.

Внедрение в отечественную практику предложенного принципа контроля радона в помещениях целесообразно осуществить путем подготовки нового методического документа, учитывающего практический опыт и основные подходы, использованные в методических указаниях МУ 2.6.1.2838-11³ и МУ 2.6.1.037-2015⁵. Также необходимо организовать и провести исследования по верификации и уточнению коэффициента $K_F(t)$, поскольку его табличные значения были получены на ограниченной выборке зданий, в основном расположенных в Московском регионе.

Предложенный принцип контроля при наличии верифицированных значений $K_F(t)$ впервые позволяет на научной основе с использованием строгих алгоритмов выполнить расчетные исследования с целью разработки стратегии массового контроля и на ее основе предложить подходы к оптимизации надзорных мероприятий, направленных на выявление помещений с высокими уровнями радона.

Принимая во внимание современное состояние техники и коммуникаций, а также Программу «Цифровая экономика Российской Федерации» (Утв. Правительством РФ от 28.07.2017 г. № 1632-р), необходимо в поддержку реализации новой методики и стратегии массового контроля радона предусмотреть создание открытой национальной интернет-платформы для сбора, обработки и хранения результатов измерений радона, а также других природных источников ионизирующих излучений, включая сырье и строительные материалы. Визуализация этих результатов на многослойной электронной карте и свободный доступ к базам данных позволит не только более объективно оценивать дозы облучения населения и эффективно

выявлять проблемные территории и здания, но и, очевидно, послужит важным информационным источником для привлечения внимания самого населения и администраций разного уровня к проблеме радона и природной радиоактивности.

Литература

1. UNSCEAR, 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly United Nations: Vol. 1, Annex B, New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
2. Marenny A., Savkin M., Shinkarev S., 2000. Estimation of the radon-induced dose for Russia's population: methods and results. Radiat. Prot. Dosimetry 90 (4), 403–408.
3. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2015 году / А.Н. Барковский, Н.К. Барышков, А.А. Братилова, Т.А. Кормановская, Л.В. Репин, И.К. Романович, В.С. Степанов, Т.Н. Титова // Информационный сборник НИИРГ. – СПб., 2016. – 73 с.
4. WHO, 2016. Radon and health. World Health Organization. Updated June 2016. – Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en/> (Accessed: January 15, 2018).
5. ANSI/AARST MAH, 2014. Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay Products in Homes. – Available from: www.radonstandards.us (Accessed: January 16, 2018).
6. IAEA, 2017. Status of radon related activities in member states participating in technical cooperation projects in Europe. International Atomic Energy Agency, Series: IAEA-TECDOC-1810, Vienna, 2017.
7. EPA, 1992. A Citizens Guide to Radon. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 402-K-92-001.
8. George, A. The history, development and the present status of the radon measurements programme in the United States of America. Radiation Protection Dosimetry, 2015, 167 (1-3), 8–14.
9. Marenny A., Nefedov N., Vorozhtsov A., 1995. Results of radon concentration measurements in some regions of Russia. Radiation Measurements 25 (1-4), 649–653.
10. Стамат, И.П. Сезонные изменения суммарных показателей и содержания радона в воде артскважин / И.П. Стамат, В.В. Ступина, Ю.Н. Гончарова, А.В. Пашкова // Гигиенические аспекты обеспечения радиационной безопасности населения на территориях с повышенным уровнем радиации: матер. междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2008. – С. 138–140.
11. Маренный, А.М. Скрининговые исследования содержания радона в помещениях населенных пунктов / А.М. Маренный // Гигиенические аспекты обеспечения радиационной безопасности населения на территориях с повышенным уровнем радиации: матер. междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2008. – С. 99–101.
12. Соловьев, М.Ю. Содержание радона в воздухе вновь построенных и эксплуатируемых зданий в Ростовской области / М.Ю. Соловьев, М.В. Калинина, И.П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 62–66.
13. Губин, А.Т. Обследование территорий, обслуживаемых ФМБА России, на содержание радона в помещениях / А.Т. Губин, А.М. Маренный, В.А. Сакович, В.И. Астафуров, Н.А. Неведов, А.В. Пензев // Медицина экстремальных ситуаций. – 2012. – № 4(42). – С. 77–88.
14. Маренный, А.М. Обследование города Краснокаменск на содержание радона в помещениях / А.М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 3. – С. 47–52.
15. Маренный, А.М. Проведение обследований зданий различного назначения на содержание радона на территориях, обслуживаемых ФМБА России / А.М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 1. – С. 23–29.

16. UNSCEAR, 2006. Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Report to the General Assembly Scientific Annexes A and B (UNSCEAR 2006 Report). United Nations publication, New York (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).
17. Маренный, А.М. Методические аспекты измерений средней объемной активности радона в помещениях интегральным трековым методом / А.М. Маренный // АНРИ. – 2012. – № 4. – С. 13–19.
18. ISO 11665-8, 2012. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 8: Methodologies for initial and additional investigations in buildings.
19. EPA, 1997. National Radon Proficiency Program. Guidance on Quality Assurance. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 402-R-95-012, NAREL, Montgomery.
20. IAEA, 2013. National and regional surveys of radon concentration in dwellings. IAEA/AQ/33, ISSN 2074–7659, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2013.
21. IAEA, 2015. Protection of the Public against Exposure Indoors Due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. Specific Safety Guide No. SSG-32. International Atomic Energy Agency, Vienna 2015.
22. Karpinska, M., Mnich, Z., Kapala, J., 2004. Seasonal changes in radon concentrations in buildings in the region of north-eastern Poland. *Journal of Environmental Radioactivity* 77 (2), 101–109.
23. Stojanovska, Z. [et al.]. 2011. Seasonal indoor radon concentration in FYR of Macedonia. *Radiation Measurements* 46 (6-7), 602–610.
24. Gillmore, G.K., Phillips, P.S., Denman, A.R., 2005. The effects of geology and the impact of seasonal correction factors on indoor radon levels: a case study approach. *Journal of Environmental Radioactivity* 84, 469–479.
25. Groves-Kirkby, C. [et al.]. 2006. Time-integrating radon gas measurements in domestic premises: comparison of short-, medium- and long-term exposures, *Journal of Environmental Radioactivity* 86 (1), 92–109.
26. Denman, A.R. [et al.]. 2007. The value of Seasonal Correction Factors in assessing the health risk from domestic radon – A case study in Northamptonshire, UK. *Environment International* 33 (1), 34–44.
27. Groves-Kirkby, C., Denman, A., Phillips, P., 2009. Lorenz Curve and Gini Coefficient: Novel tools for analysing seasonal variation of environmental radon gas. *Journal of Environmental Management* 90, 2480–2487.
28. Burke, Q., Murphy, P., 2011. Regional variation of seasonal correction factors for indoor radon levels. *Radiation Measurements* 46 (10), 1168–1172.
29. Hunter, N., Muirhead, C., Miles, J., 2011. Two error components model for measurement error: application to radon in homes. *Journal of Environmental Radioactivity* 102, 799–805.
30. Kozak, K. [et al.]. 2011. Correction factors for determination of annual average radon concentration in dwellings of Poland resulting from seasonal variability of indoor radon. *Applied Radiation and Isotopes* 69 (10), 1459–1465.
31. Barros, N., Steck, D., Field, R., 2014. A comparison of winter short-term and annual average radon measurements in basements of a radon-prone region and evaluation of further radon testing indicators. *Health Physics* 106 (5), 535–544.
32. Barros, N., Steck, D., Field, R., 2016. Utility of short-term basement screening radon measurements to predict year-long residential radon concentration on upper floors. *Radiation Protection Dosimetry*, 171 (3) 405–413.
33. Wilson, D.L. [et al.]. 1991. Summer time elevation of Rn-222 levels in Huntsville, Alabama. *Health Physics* 60 (2), 189–197.
34. Papastefanou, C. [et al.]. 1994. Indoor radon concentrations in Greek apartment dwellings. *Health Physics* 66 (3), 270–273.
35. Pinel, J. [et al.]. 1995. Seasonal correction factors for indoor radon measurements in the United Kingdom. *Radiation Protection Dosimetry* 58 (2), 127–132.
36. Miles, J., 1998. Mapping radon-prone areas by lognormal modeling of house radon data. *Health Physics* 74 (3), 370–378.
37. Vaupotic, J., Hunyadi, I., Baradacs, E., 2001. Thorough investigation of radon in a school with elevated levels. *Radiation Measurements* 34 (1-6), 477–482.
38. Steck, D. [et al.]. 2004. Indoor radon exposure uncertainties caused by temporal variation. In: 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, Madrid, Spain, ISBN 84-87078-05-2.
39. Bochicchio F. [et al.]. 2005. Annual average and seasonal variations of residential radon concentration for all the Italian Regions. *Radiation Measurements* 40 (2-6), 686–694.
40. Font, L., 2009. On radon surveys: Design and data interpretation. *Radiation Measurements* 44 (9-10), 964–968.
41. Жуковский, М.В. Радоновая безопасность зданий / М.В. Жуковский, А.В. Кружалов, В.Б. Гурвич [и др.]. – Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 180 с.
42. Mackinnon, A., 2000. A spreadsheet for the calculation of comprehensive statistics for the assessment of diagnostic tests and inter-rater agreement *Computers in Biology and Medicine*, 30(3), 127–134.
43. ISO/IEC Guide 98-3, 2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement.
44. Цапалов, А.А. Зависимость объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температур воздуха / А.А. Цапалов, С.И. Кувшинников // АНРИ. – 2008. – № 2. – С. 37–43.
45. Цапалов, А.А. Оценка среднегодового уровня ЭРОА радона в помещениях на основе результатов краткосрочных измерений радиометром «АльфаАЭРО» / А.А. Цапалов // АНРИ. – 2008. – № 3. – С. 49–58.
46. Цапалов, А.А. Системное исследование динамики ЭРОА радона в помещениях и принципы контроля / А.А. Цапалов // АНРИ. – 2010. – № 2. – С. 2–14.
47. Цапалов, А.А. Принцип оценки среднегодовой ЭРОА радона в зданиях по результатам краткосрочных измерений / А.А. Цапалов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 3. – С. 23–27.
48. Цапалов, А.А. Результаты долговременных исследований закономерностей поведения ОА и ЭРОА радона в зданиях московского региона / А.А. Цапалов // АНРИ. – 2011. – № 3(66). – С. 52–64.
49. Цапалов, А.А. Закономерности поведения радоновой радиоактивности в помещениях зданий и принцип контроля / А.А. Цапалов // Вестник МГСУ. – 2011. – Т.2, №3. – С. 15–23.
50. Цапалов, А.А., Маренный А.М. Принципы радонового контроля в помещениях зданий / А.А. Цапалов, А.М. Маренный // АНРИ. – 2014. – № 1(76). – С. 6–14.
51. Tsapalov, A., Kovler, K., 2018. Indoor radon regulation using tabulated values of temporal radon variation. *Journal of Environmental Radioactivity* 183, 59–72.

Поступила: 17.01.2018 г.

Цапалов Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией радиационного контроля Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. **Адрес для переписки:** 121357, Москва, ул. Вересаева, 15; E-mail: andrey-ants@yandex.ru

Киселев Сергей Михайлович – кандидат биологических наук, главный научный сотрудник Федерального медицинского биологического центра им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

Маренный Альберт Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией природных источников ионизирующих излучений Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, Москва, Россия

Ковлер Константин Леонидович – кандидат технических наук, профессор, заведующий отделом строительных материалов и технологий факультета строительства и охраны окружающей среды Национального института исследований по строительству Израильского технологического института «Технион», Хайфа, Израиль

Кувшинников Сергей Иванович – врач по радиационной гигиене лаборатории радиационного контроля и физических факторов Федерального центра гигиены и эпидемиологии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

Для цитирования: Цапалов А.А., Киселев С.М., Маренный А.М., Ковлер К.Л., Кувшинников С.И. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 53-63. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-53-63.

Uncertainty of the results of the radon control in housings.

Part 1. The problem of assessment of the radon concentration and modern control principles

Andrey A. Tsapalov¹, Sergey M. Kiselev², Albert M. Marennyy³, Konstantin L. Kovler⁴, Sergey I. Kuvshinnikov⁵

¹Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

²Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

³Research and Technical Center of Radiation-chemical Safety and Hygiene of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

⁴Israel Technological University «Technion», Haifa, Izrael

⁵Federal Center of Hygiene and Epidemiology, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Moscow, Russia

Radon control in buildings is being performed for decades in different countries of the world, including Russia. However, there is a lack of unified standard for the assessment of the uncertainty of the results of the control, considering the protocol and duration of the measurements. It is obvious that the uncertainty of the control increases with the reduction of the duration of the measurements. The lack of data on confidence interval for the average annual radon concentration in housings does not allow correct and precise comparison with the regulatory level, both for the commissioned and operated buildings. Additionally, it complicates a development of the effective method, mass control strategy and identification of buildings with high radon concentrations. A reliable method of control, considering time variations of radon and duration of exposure, was developed in Russia several years ago, but it is not well-known and not applied on practice. This paper is focused on a novel principle of radon control, based on simple criteria, widely used in metrology and complying to the modern standards. This principle introduces a new parameter — the radon time variation coefficient $K_v(t)$, which reflects main constituent of the uncertainty of the average annual radon concentration depending on the protocol and duration of the measurements. A novel algorithm for the estimation of $K_v(t)$ is proposed, developed on the base of the results of continuous annual radon monitoring in representative experimental housings. Additionally, the structure of the correcting coefficient is presented, considering an impact of the temperature on the radon behavior. The use of the corrective coefficient allows lowering the $K_v(t)$ value, but its application is limited.

Key words: Radon, volume activity, equivalent activity, time variation coefficient, corrective coefficient, regulatory level, uncertainty, confidence interval, monitoring.

Andrey A. Tsapalov

Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements. **Address for correspondence:** Veresaeva Str., 15, Moscow, 121357, Russia; E-mail: andrey-ants@yandex.ru

References

1. UNSCEAR, 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly United Nations: Vol. 1, Annex B, New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
2. Marennyy A., Savkin M., Shinkarev S., 2000. Estimation of the radon-induced dose for Russia's population: methods and results. *Radiat. Prot. Dosimetry* 90 (4), 403–408.
3. Barkovsky A.N., Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Kormanovskaya T.A., Repin L.V., Romanovich I.K., Stepanov V.S., Titova T.N. Doses from ionizing radiation to the public of Russian Federation in 2015. Information bulletin. St-Petersburg, 2016, 73 p. (In Russian).
4. WHO, 2016. Radon and health. World Health Organization. Updated June 2016. – Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en/> (Accessed: January 15, 2018).
5. ANSI/AARST MAH, 2014. Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay Products in Homes. – Available from: www.radonstandards.us (Accessed: January 16, 2018).
6. IAEA, 2017. Status of radon related activities in member states participating in technical cooperation projects in Europe. International Atomic Energy Agency, Series: IAEA-TECDOC-1810, Vienna, 2017.
7. EPA, 1992. A Citizens Guide to Radon. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 402-K-92-001.
8. George A. The history, development and the present status of the radon measurements programme in the United States of America. *Radiation Protection Dosimetry*, 2015, 167 (1-3), 8–14.
9. Marennyy A., Nefedov N., Vorozhtsov A., 1995. Results of radon concentration measurements in some regions of Russia. *Radiation Measurements* 25 (1-4), 649–653.
10. Stamat I.P., Stupina V.V., Goncharova Yu.N., Pashkova A.V. Seasonal fluctuations in the summary indicators and radon concentration in the water of artesian wells. Proceedings of the international scientific-practical conference «Hygienic aspects of provision of the radiation safety of the population on the territories with in-creased levels of radiation». St-Petersburg, 2008, pp. 138–140. (In Russian).
11. Marennyy A.M. Screening studies on radon concentration in housings. Proceedings of the international scientific-practical conference «Hygienic aspects of provision of the radiation safety of the population on the territories with in-creased levels of radiation». St-Petersburg, 2008, pp. 99–101. (In Russian).
12. Soloviev M.Y., Kalinina M.V., Stamat I.P. Radon concentration in the air of newly built and operating buildings in the Rostov region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2010; Vol. 3, No. 2, pp. 62–66. (In Russian).
13. Gubin A.T., Marennyy A.M., Sakovich V.A., Astafurov V.I., Nefedov N.A., Penezhev A.V. Survey of the territories under FMBA, Russia, supervision on the radon concentration in housings. *Meditsina ekstremalnykh situatsiy = Medicine of Extreme Situations*, 2012, №4 (42), pp. 77–88. (In Russian).
14. Marennyy A.M., Kiselev S.M., Titov A.V., Zolotukhina S.B., Astafurov V.I., Dmitriev V.A., Zhuravleva L.A., Marennyy M.A., Nefedov N.A., Penezhev A.V., Khokhlova E.A. Survey in Krasnokamensk city on the content of indoor radon. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2013;6(3):47–52. (In Russian).
15. Marennyy A.M., Romanov V.V., Astafurov V.I., Gubin A.T., Kiselev S.M., Nefedov N.A., Penezhev A.V. Survey for indoor radon in dwellings on the territories supervised by FMBA of Russia. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2015;8(1):23–29. (In Russian).
16. UNSCEAR, 2006. Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Report to the General Assembly Scientific Annexes A and B (UNSCEAR 2006 Report). United Nations publication, New York (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).
17. Marennyy A.M. Methodical Aspects of Measurements Average Indoor Ra-don Volume Activity Using the Integral Track Method. *ANRI = ASAP*, 2012, №4, pp. 13–19. (In Russian).
18. ISO 11665-8, 2012. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 8: Methodologies for initial and additional investigations in buildings.
19. EPA, 1997. National Radon Proficiency Program. Guidance on Quality Assurance. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 402-R-95-012, NAREL, Montgomery.
20. IAEA, 2013. National and regional surveys of radon concentration in dwellings. IAEA/AQ/33, ISSN 2074–7659, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2013.
21. IAEA, 2015. Protection of the Public against Exposure Indoors Due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. Specific Safety Guide No. SSG-32. International Atomic Energy Agency, Vienna 2015.
22. Karpinska, M., Mnich, Z., Kapala, J., 2004. Seasonal changes in radon concentrations in buildings in the region of north-eastern Poland. *Journal of Environmental Radioactivity* 77 (2), 101–109.
23. Stojanovska, Z. [et al.]. 2011. Seasonal indoor radon concentration in FYR of Macedonia. *Radiation Measurements* 46 (6–7), 602–610.
24. Gillmore, G.K., Phillips, P.S., Denman, A.R., 2005. The effects of geology and the impact of seasonal correction factors on indoor radon levels: a case study approach. *Journal of Environmental Radioactivity* 84, 469–479.
25. Groves-Kirkby, C. [et al.]. 2006. Time-integrating radon gas measurements in domestic premises: comparison of short-, medium- and long-term exposures, *Journal of Environmental Radioactivity* 86 (1), 92–109.
26. Denman, A.R. [et al.]. 2007. The value of Seasonal Correction Factors in assessing the health risk from domestic radon – A case study in Northamptonshire, UK. *Environment International* 33 (1), 34–44.
27. Groves-Kirkby, C., Denman, A., Phillips, P., 2009. Lorenz Curve and Gini Coefficient: Novel tools for analysing seasonal variation of environmental radon gas. *J. Environ. Manag.*, Vol. 90, pp. 2480–2487.
28. Burke, Q., Murphy, P., 2011. Regional variation of seasonal correction factors for indoor radon levels. *Radiat. Meas.*, 46 (10), 1168–1172.
29. Hunter, N., Muirhead, C., Miles, J., 2011. Two error components model for measurement error: application to radon in homes. *J. Environ. Radioact.*, 102, 799–805.
30. Kozak, K. [et al.]. 2011. Correction factors for determination of annual average radon concentration in dwellings of Poland resulting from seasonal variability of indoor radon. *Appl. Radiat. Isot.* 69 (10), 1459–1465.
31. Barros, N., Steck, D., Field, R., 2014. A comparison of winter short-term and annual average radon measurements in basements of a radon-prone region and evaluation of further radon testing indicators. *Health Phys.*, 106 (5), 535–544.
32. Barros, N., Steck, D., Field, R., 2016. Utility of short-term basement screening radon measurements to predict year-long residential radon concentration on upper floors. *Radiat. Protect. Dosim.*, 171 (3) 405–413.
33. Wilson, D.L. [et al.]. 1991. Summer time elevation of Rn-222 levels in Huntsville, Alabama. *Health Phys.* 60 (2), 189–197.
34. Papastefanou, C. [et al.]. 1994. Indoor radon concentrations in Greek apartment dwellings. *Health Phys.* 66 (3), 270–273.
35. Pinel, J. [et al.]. 1995. Seasonal correction factors for indoor radon measurements in the United Kingdom. *Radiat. Protect. Dosim.*, 58 (2), 127–132.
36. Miles, J., 1998. Mapping radon-prone areas by lognormal modeling of house radon data. *Health Phys.* 74 (3), 370–378.
37. Vaupotic, J., Hunyadi, I., Baradacs, E., 2001. Thorough investigation of radon in a school with elevated levels. *Radiat. Meas.* 34 (1-6), 477–482.

38. Steck, D. [et al.]. 2004. Indoor radon exposure uncertainties caused by temporal variation. In: 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, Madrid, Spain, ISBN 84-87078-05-2.
39. Bochicchio F. [et al.]. 2005. Annual average and seasonal variations of residential radon concentration for all the Italian Regions. *Radiat. Meas.* 40 (2-6), 686–694.
40. Font, L., 2009. On radon surveys: Design and data interpretation. *Radiat. Meas.* 44 (9-10), 964–968.
41. Zhukovsky M.V., Kruzhakov A.V., Gurvich B.V. [et. al.] Radon safety of the buildings. Ekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2000, 180 p. (In Russian).
42. Mackinnon, A., 2000. A spreadsheet for the calculation of comprehensive statistics for the assessment of diagnostic tests and inter-rater agreement. *Computers in Biology and Medicine*, 30(3), 127–134.
43. ISO/IEC Guide 98-3, 2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement.
44. Tsapalov A.A., Kuvshinnikov S.I. Dependence of the radon volume activity in housings on the difference in inside and outside air temperatures. *ANRI = ASAP*, 2008, №2, pp. 27-43. (In Russian).
45. Tsapalov A.A. Assessment of the average annual level of radon equivalent equilibrium volume activity, based on the results of shortscale measurements using radiometer «AlphaAERO». *ANRI = ASAP*, 2008, №3, pp 49-58. (In Russian).
46. Tsapalov A.A. Systematic evaluation of the radon equivalent equilibrium volume activity dynamics in housings and control principles. *ANRI = ASAP*, 2010, №2, pp. 2-14. (In Russian).
47. Tsapalov A.A., Ermilov A.P., Gulabyan L.A., Gubin A.T., Kuvshinnikov S.I. Principle of estimation annual radon EEC in building by results of short-term measurements. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2010;3(3):23-27. (In Russian).
48. Tsapalov A.A. Results of the long-scale evaluation of the trends of the behavior of radon volume activity and equivalent equilibrium volume activity in buildings in Moscow region. *ANRI = ASAP*, 2001, №3(66), pp. 52-64. (In Russian).
49. Tsapalov A.A. Trends of the behavior of radon radioactivity in housings and control principles. *Vestnik MGSU = Information bulletin of MGSU*, 2011, vol.2, №3, pp. 15-23. (In Russian).
50. Tsapalov A.A., Marennyy A.M. Principles of radon control in the housings of the building. *ANRI = ASAP*, 2014, № 1(76), pp. 6-14. (In Russian).
51. Tsapalov, A., Kovler, K., 2018. Indoor radon regulation using tabulated values of temporal radon variation. *Journal of Environmental Radioactivity* 183, 59–72.

Received: January 17, 2018

For correspondence: Andrey A. Tsapalov – PhD, Head of Laboratory of Radiation Control, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (Veresaeva Str., 15, Moscow, 121357, Russia; E-mail: andrey-ants@yandex.ru)

Sergey M. Kiselev – PhD, Major Researcher of Public Radiation Protection Department, SRC Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

Albert M. Marennyy – PhD, Professor, Head of Laboratory of Natural Sources of Ionizing Radiation, Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

Konstantin L. Kovler – PhD, Assoc. Professor, Head of Department of Building Materials and Technology, National Building Research Institute, Faculty of Civil and Environmental Engineering «Technion» – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel

Sergey I. Kuvshinnikov – Radiation Hygiene Physician of Laboratory of Radiation Control and Physical Factors, Federal Budgetary Health Care Institution «Federal Center for Hygiene and Epidemiology», Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Moscow, Russia

For citation: Tsapalov A.A., Kiselev S.M., Marennyy A.M., Kovler K.L., Kuvshinnikov S.I. Uncertainty of the results of the radon control in housings. Part 1. The problem of assessment of the radon concentration and modern control principles. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 53-63. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-53-63.

Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 2. Экспериментальная оценка неопределенности временных вариаций радона

А.А. Цапалов¹, С.М. Киселев², А.М. Маренный³, К.Л. Ковлер⁴, С.И. Кувшинников⁵, А.С. Янкин⁶

¹Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

²Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна,
Федеральное Медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

³Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены,
Федеральное Медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

⁴Израильский технологический институт «Technion», Хайфа, Израиль

⁵Федеральный центр гигиены и эпидемиологии, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

⁶Общество с ограниченной ответственностью «Институт «Рязаньагроводпроект», Рязань, Россия

В первой части статьи подробно рассмотрена проблема контроля радона в зданиях, а также предложен надежный принцип контроля радона в помещениях, который вводит новый параметр, — коэффициент временных вариаций радона $K_v(t)$. Этот коэффициент выражает основную составляющую неопределенности среднегодового уровня радона в зависимости от режима и продолжительности измерений. Также предложен оригинальный алгоритм определения частных и табличных значений $K_v(t)$ на основе результатов непрерывных годовых мониторингов радона в представительных экспериментальных помещениях. В данной части статьи приводятся результаты годовых непрерывных мониторингов как объемной активности радона, так и его дочерних продуктов распада, проводившихся в 10 экспериментальных помещениях в период с 2006 по 2013 г. Эти помещения находились в 7 зданиях, в основном расположенных в Московском регионе. Все экспериментальные помещения имеют детальное описание. Применение оригинального алгоритма обработки результатов годовых мониторингов позволило определить частные и табличные значения коэффициента $K_v(t)$ в зависимости от режима и продолжительности измерений. Значения этого коэффициента снижаются почти в два раза, если учитывается температурное влияние. Однако возможность такого учета существенно ограничивается рядом условий. Кроме того, обсуждается важность учета геологического фактора. Приводится оценка репрезентативности полученных данных, а также предлагается способ для верификации и уточнения табличных значений коэффициента $K_v(t)$. Благодаря полученным результатам открывается возможность совершенствования подходов в области санитарно-эпидемиологического надзора в части практической реализации стратегии массового контроля радона и эффективного выявления зданий с повышенным содержанием радона.

Ключевые слова: радон, объемная активность, эквивалентная активность, коэффициент временных вариаций, поправочный коэффициент, неопределенность, экспериментальное помещение, мониторинг.

Введение

Контроль содержания радона в зданиях проводится уже несколько десятилетий во многих странах мира, включая Россию. Однако до сих пор результаты контроля радона в помещениях нельзя считать надежными, поскольку сложившаяся практика не предусматривает количественную оценку неопределенности среднегодовой объемной активности (СОА) радона, как и его среднегодовой экви-

валентной равновесной объемной активности (СЭА). Эта проблема достаточно подробно рассматривается в первой части статьи [1] (далее — Часть 1). Кроме того, в Части 1 представлен принцип, обеспечивающий надежность контроля радона в помещениях, поскольку он соответствует требованиям метрологии и современных стандартов. Этот принцип вводит новый параметр — коэффициент $K_v(t)$, который выражает неопределенность временных вариаций

Цапалов Андрей Анатольевич

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов.

Адрес для переписки: 121357, Москва, ул. Вересаева, 15; E-mail: andrey-ants@yandex.ru

радона, является важным компонентом неопределенности СОА (или СЭА) радона и зависит от продолжительности и режима измерений. Также в Части 1 подробно описан оригинальный способ определения коэффициента $K_v(t)$ на основе результатов непрерывных годовых мониторингов радона в представительных экспериментальных помещениях. В качестве табличных значений $K_v(t)$, применяемых непосредственно для контроля радона в помещениях, используются только максимальные значения, полученные по всем экспериментальным помещениям.

Данная часть статьи (Часть 2) посвящена описанию экспериментального определения частных и табличных значений коэффициента $K_v(t)$ с учётом температурного влияния, а также обсуждению полученных результатов, оценке их представительности и способу верификации.

Характеристика экспериментальных помещений

Экспериментальная часть исследований проводилась в период с 2006 по 2013 г. и охватывала 10 помещений с повышенным содержанием радона, выбранных в соответствии с требованиями Части 1. Эти помещения находились в 6 зданиях, расположенных в Москве и Московской области, и одно здание в Рязанской области. Объемная активность радона в наружном воздухе составляла около 10 Бк/м³.

Наиболее важные характеристики экспериментальных помещений приводятся в таблице 1, включая характеристики здания, геологии и климата, которые можно легко определить при осмотре объекта контроля, а также используя информацию из Интернета. Столь подробное описание объектов контроля необходимо для последующей классификации помещений и идентификации факторов (качественных признаков), влияющих на поведение радона и значения $K_v(t)$. Классификация помещений на основе простых признаков поможет в будущем существенно повысить эффективность процедуры контроля, но при условии наличия большого объема экспериментальных данных по разным помещениям разных зданий. Однако на текущем этапе исследований классификация помещений нецелесообразна, поскольку невозможно объективно определить признаки ранжирования из-за малого количества экспериментальных помещений и, соответственно, недостатка статистических данных в отношении значений коэффициента временных вариаций радона.

В экспериментальных помещениях (ЭП) 1, 3, 4, 5, 6 и 10 были всегда закрыты окна и двери, а люди почти не присутствовали. Другие четыре помещения ЭП 7-9, включая ЭП 2, эксплуатировались в нормальном режиме, и в них периодически присутствовали люди. ЭП 2 – это отдельная лабораторная комната внутри подвального помещения, в которой обеспечивался относительно стабильный микроклиматический режим за счет наличия дополнительных стен.

По аналогии с ЭП 2 было построено помещение ЭП 6, используемое в качестве радоновой комнаты с очень низким воздухообменом, в среднем равном 0,1 ч⁻¹. Отметим, что воздухообмен на таком уровне можно считать минимальным для разного типа помещений в любых зданиях.

В экспериментальных помещениях ЭП 1 и ЭП 6 использовался один и тот же искусственный источник радона (жидкий раствор Ra-226) с высокой и стабильной скоростью эманации, равной 3,0 Бк/с или 260 (500) Бк/(м³·ч) с учетом объема ЭП 1 (ЭП 6).

Экспериментальное помещение ЭП 3 отличалось тем, что весь его пол представлял собой открытый грунт, который, очевидно, являлся основным источником радона в этом помещении (причем его высота из-за неровного пола различалась почти в 2 раза, согласно таблице 1).

С целью более детального сравнительного изучения влияния погодных условий на поведение радона годовой мониторинг был запущен одновременно в помещениях ЭП 1 и ЭП 3, которые имеют принципиальные отличия. Согласно таблице 1, ЭП 1 – это небольшая закрытая комната внутри чердака со стабильным искусственным источником радона, а ЭП 3 – это большое подвальное помещение с естественным источником радона в виде грунта. Кроме того, эти помещения находились в разных зданиях, расстояние между которыми около 40 км. Тем не менее, в этих резко отличающихся помещениях наблюдалось схожее закономерное поведение радона [3].

В процессе мониторинга выяснилось, что экспериментальное помещение ЭП 5, как и само здание, находится в аварийном состоянии, т.к. в период таяния снега грунтовые воды затопливали подвал. Уровень воды в подвале составлял несколько сантиметров и сохранялся в течение нескольких месяцев.

Согласно таблице 1, в экспериментальных помещениях 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10 проводился годовой мониторинг объемной активности (ОА) радона. Параллельно или вместо ОА радона в ЭП 2, 3, 4, 5, 7, 10 проводился годовой мониторинг ЭРОА радона.

Особо отметим, что воздухообмен во всех экспериментальных помещениях осуществлялся за счет естественной вентиляции, что характерно для большинства зданий. Экспериментальные помещения обогревались либо за счет центрального отопления здания, либо индивидуально, как ЭП 10. В помещениях ЭП 1, 3, 5 и 6 центральное отопление не предусматривалось, однако ЭП 1 дополнительно отапливалось электрообогревателем.

Средства измерений

Для измерений ОА радона (и температуры) в режиме монитора использовались радиометры «AlphaGUARD» (Genitron Instruments GmbH, Германия) с периодом регистрации 1 ч и «RadonSCOUT» (Sarad, Германия) с периодом регистрации 3 ч. Измерения ЭРОА радона (и температуры) также выполнялись в режиме монитора с помощью аэрозольного радиометра радона РАА-3-01 «АльфаАЭРО» (НТЦ Амплитуда, Россия) [4]. Все эти радиометры зарегистрированы в Госреестре и продемонстрированы на рисунке 1.



Рис. 1. Радиометры радона: «AlphaGUARD» (а), «RadonSCOUT» (б), и аэрозольный радиометр ЭРОА радона: «АльфаАЭРО» (в)
[Fig. 1. Monitors of radon: AlphaGUARD (a) and RadonSCOUT (b), and monitor of radon progeny (EEC): AlphaAERO (c)]

Таблица 1

Характеристики экспериментальных помещений [2]

Обозначение	ЭП 1	ЭП 2	ЭП 3	ЭП 4	ЭП 5	ЭП 6	ЭП 7	ЭП 8	ЭП 9	ЭП 10
Дата начала годового мониторинга ОА (ЭРОА)	20.10.2006	08.10.2009	20.10.2006; (02.10.2009)	02.10.2009	05.10.2009	21.09.2012	23.11.2012 (12.11.2012)	02.11.2011	02.11.2011	20.10.2011 (20.10.2011)
Средства измерений	AlphaGUARD	АльфаАЭРО	AlphaGUARD; АльфаАЭРО	АльфаАЭРО	АльфаАЭРО	AlphaGUARD	RadonSCOUT АльфаАЭРО	RadonSCOUT	RadonSCOUT	RadonSCOUT АльфаАЭРО
СОА (СЭА) радона, Бк/м ³	880	(69.2)	76.4; (34.5)	(55.0)	(43.4)	4703	96.1; (40.3)	72.2	210	101; (41.2)
Средняя температура, °С	18.5	19.8	19.2; (20.4)	24.8	18.8	22.5	21.4	24.3	21.1	18.7
Этаж	Чердак	Подвал	Подвал	Подвал	Подвал	Подвал	Второй	Первый	Цоколь	Первый
Назначение	Технич.	Лаборатория	Технич.	Архив	Склад	Rn-комната	Офис	Кухня	Библиотека	Спальная
Присутствие людей	Нет	Да	Редко	Нет	Нет	Редко	Да	Да	Да	Нет
Размер, м	4×3.5×h3	12×10×h4	12×17×h(2÷3.7)	6×2.5×h3.2	5×4.1×h3.1	3×3×h2.4	8×5.6×h3.2	3×5×h4	3×4×h3	4×3.6×h2.4
Отопление	Да	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Да	Да	Да
Кондиционирование	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Стеклопакет	—	—	—	—	—	—	Да	Да	Да	Нет
Кол-во окон	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3
Кол-во дверей	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Кол-во внешних стен	1	0	3	1	1	0	1	2	2	2
Расположение	Московская обл., пос. Менделеево			Москва		Московская обл., Зеленоград		Московская обл., пос. Льялово		Рязанская обл.
Назначение	Офис	Офис	Офис	Офис	Офис	Офис	Офис	Жилое	Жилое	Жилое
Год постройки	1960	1970	1980	1980	1970	1975	2000	2003	2003	1926
Этажность	3	6	9	1200	4	2	2	3	3	1
Площадь основания, м ²	1150	1900	1200		630	2000		100	100	56
Асфальт вокруг*	Да	Нет	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет
Тип фундамента	Ленточный	Плита	Плита / Ленточный	Ленточный	Плита	Плита	Плита	Плита	Плита	Ленточный
Система вентиляции	Естеств.	Естеств.	Естеств.	Естеств.	Естеств.	Естеств.	Естеств.	Естеств.	Естеств.	Естеств.
Центр. отопление	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Нет
Центр. кондиционир.	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Материал стен	Кирпич	Бетон	Бетон	Бетон	Бетон	Кирпич	Кирпич	Кирпич	Кирпич	Кирпич
Материал пол (потолок)	Бетон	Бетон	Бетон	Бетон	Бетон	Бетон	Бетон	Бетон	Бетон	Дерево
Рельеф территории	Ровный	Ровный	Ровный	Ровный	Ровный	Ровный	Ровный	Ровный	Ровный	Ровный
Тип грунта	Глина	Песчаный суплинок	Песчаный суплинок	Песчаный суплинок	Глина	Глина	Глина	Глина	Глина	Песок/Суглин.
Проницаемость грунта	Низкая	Низкая	Средняя	Средняя	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Выше средней
Уровень грун. вод, м	4	4	20	20	4	4	4	4	4	7
Глубина промерзания, м	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4
Темп., °С	+17,8	+17,8	+19,2	+19,2	+17,8	+17,8	+17,8	+17,8	+17,8	+19,5
Среднегодовая	+6,0	+6,0	+7,1	+7,1	+6,0	+6,0	+6,0	+6,0	+6,0	+4,6
Холодный месяц	-9,8	-9,8	-6,7	-6,7	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-11,5
Ср. скорость ветра, м/с					2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,0
Количество осадков, мм					700	700	700	700	700	500
Количество ясных дней					82	82	82	82	82	130

* – асфальт или другое твердое покрытие вокруг здания.

Table 1

Characteristics of experimental rooms

Code	ER 1	ER 2	ER 3	ER 4	ER 5	ER 6	ER 7	ER 8	ER 9	ER 10
Start of annual monitoring the radon concentration (EEC*)	20.10.2006	08.10.2009	20.10.2006 ; (02.10.2009)	(02.10.2009)	(05.10.2009)	21.09.2012	23.11.2012 (12.11.2012)	02.11.2011	02.11.2011	20.10.2011 (20.10.2011)
Radon device	AlphaGUARD	AlphaAERO	AlphaGUARD ; AlphaAERO	AlphaAERO	AlphaAERO	AlphaGUARD	RadonSCOUT AlphaAERO	RadonSCOUT	RadonSCOUT	RadonSCOUT AlphaAERO
Average annual level of radon concentration (EEC), Bq·m ⁻³	880	(69.2)	76.4 ; (34.5)	(55.0)	(43.4)	4703	96.1 ; (40.3)	72.2	210	101 ; (41.2)
Average temperature, °C	18.5	19.8	19.2 ; (20.4)	24.8	18.8	22.5	21.4	24.3	21.1	18.7
Floor	Attic	Basement	Basement	Basement	Basement	Basement	First	Ground	Ground	Ground
Function	Technical	Laboratory	Technical	Archive	Store	Radon room	Office	Kitchen	Library	Bedroom
Occupancy	No	Yes	Rarely	No	No	Rarely	Yes	Yes	Yes	No
Size, m	4×3,5×h3	12×10×h4	12×17×h(2÷3,7)	6×2,5×h3,2	5×4,1×h3,1	3×3×h2,4	8×5,6×h3,2	3×5×h4	3×4×h3	4×3,6×h2,4
Heating	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Conditioning	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No	No
Tight windows	-	-	-	-	-	-	Yes	Yes	Yes	No
Number of doors	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3
Number of external walls	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Location	Moscow region, Mendeleevo			Moscow		Moscow region, Zelenograd		Moscow region, Ljalovo		Ryazan region
Function	Office	Office	Office	Office	Office	Office	Office	Residential	Residential	Residential
Year built	1960	1970	1980	1980	1970	1975	1975	2003	1926	1926
Storeys number	3	6	9	9	4	2	2	3	1	1
Building area, m ²	1150	1900	1200	1200	630	2000	2000	100	56	56
Asphalt pavement **	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No
Foundation type	Slab	Slab	Slab / Band	Slab / Band	Slab	Slab	Slab	Slab	Band	Band
Ventilation	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural
Central heating	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Central conditioning	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Material of walls	Brick	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Brick	Brick	Brick	Brick
Material of floors	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Wood
Territory relief	Smooth	Smooth	Smooth	Smooth	Smooth	Smooth	Smooth	Smooth	Smooth	Smooth
Soil type	Clay	Clay	Sandy loam	Sandy loam	Clay	Clay	Clay	Clay	Sand and loam	Sand and loam
Permeability	Low	Low	Middle	Middle	Low	Low	Low	Low	Above-middle	Above-middle
Groundwater depth, m	4	4	20	20	4	4	4	4	7	7
Soil freezing depth, m	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.4	1.4
Q	+ 17.8	+ 17.8	+ 19.2	+ 19.2	+ 17.8	+ 17.8	+ 17.8	+ 17.8	+ 19.5	+ 19.5
Warmest month	+ 6.0	+ 6.0	+ 7.1	+ 7.1	+ 6.0	+ 6.0	+ 6.0	+ 6.0	+ 4.6	+ 4.6
Annual average	- 9.8	- 9.8	- 6.7	- 6.7	- 9.8	- 9.8	- 9.8	- 9.8	- 11.5	- 11.5
Coldest month									2.0	2.0
Average wind speed, m/s					2.3				500	500
Rainfall, mm					700				130	130
Clear days per year					82					

* – EEC is the equilibrium equivalent concentration ; ** – the asphalt or other poorly permeable coating around the building.

В начале исследований с целью надежности выполнения годовых непрерывных мониторингов ОА радона в первых экспериментальных помещениях (ЭП 1, 3 и 4) параллельно с «AlphaGUARD» также выполнялись непрерывные измерения с помощью нестандартизированной установки, состоящей из детектора на основе камеры Лукаса, работающей в проточном режиме [3]. Результаты параллельных измерений показали надежность работы используемых радиометров, поэтому в дальнейшем при проведении следующих годовых мониторингов измерения не дублировались, тем более учитывая достаточно мягкие микроклиматические рабочие условия во всех экспериментальных помещениях.

Впервые были проведены непрерывные годовые измерения ЭРОА радона в режиме монитора благодаря применению радиометра «АльфаАЭРО». Период регистрации составлял 3 ч и начинался с прокачки воздуха через аэрозольный фильтр АФА-РСП-3 в течение 10 мин со скоростью 8 л/мин (еженедельно выполнялись замена фильтра и контроль работы детектора с помощью штатного точечного источника альфа-излучения). Измерение текущей активности фильтра выполнялось в режиме альфа-спектрометрии с учетом остаточной активности после предыдущих периодов работы. В «АльфаАЭРО» используется уникальный алгоритм расчета ЭРОА радона [4].

Поскольку $K_f(t)$ – безразмерная величина (см. Часть 1), определяемая как отношение текущих ОА (или ЭРОА) радона к СОА (или СЭА), то отсутствует необходимость учета систематической неопределенности измеряемой активности. Кроме того, учитывая, что измерения проводились в ЭП с повышенным содержанием радона, а период интегрирования при обработке результатов измерений составлял не менее 1 сут (табл. 2, исключая первую строку данных), статистическая неопределенность такой усредненной относительной активности не превышала нескольких процентов.

Результаты годовых мониторингов ОА и ЭРОА радона

Результаты годовых мониторингов ОА и ЭРОА радона в экспериментальных помещениях с периодом регистрации (усреднения) данных 3 ч приводятся на рисунке 2(а–в). Из этих рисунков видно, что все ЭП имели повышенный уровень радона. В большинстве случаев ОА и ЭРОА радона в летний период выше, чем в зимний. Даже при отсутствии людей в постоянно закрытых помещениях (ЭП 1, 3, 4, 10) наблюдались такие же существенные временные вариации ОА и ЭРОА радона, как и в помещениях ЭП 2, 7, 8, 9, которые эксплуатировались без каких-либо ограничений.

Из рисунка 2(а–в) видно, что частотные распределения ОА (или ЭРОА) радона не имеют общей закономерности (например, нормальной или лог-нормальной), а характер их временных вариаций в течение года в разных ЭП достаточно разнообразный. Тем не менее, несмотря на существенные отличия этих временных рядов, почти во всех случаях (кроме ЭП 5) наблюдается схожий характер непрерывного снижения во времени коэффициента $K_f(t)$, согласно рисункам 4 и 5.

Кроме того, поскольку в экспериментальных помещениях ЭП 7, 10 проводились одновременные мониторинги ОА и ЭРОА радона, на рисунке 3 приводятся временные вариации

фактора равновесия (отношение одновременно измеренных значений ОА и ЭРОА радона) по каждому из них.

Анализ результатов годового мониторинга в офисном помещении ЭП 7 производственного здания показывает, что ОА или ЭРОА радона в период выходных дней (суббота и воскресенье), когда здание закрыто и в нем нет людей, в среднем в 1,5–2,0 раза выше, чем в период осуществления производственного процесса (будние дни). Причем временные вариации как ОА, так и ЭРОА радона почти не отличались в абсолютном выражении между данными периодами. Соответственно, в относительном выражении вариации были ниже в 1,5–2,0 раза в период выходных. Также установлено, что средняя ОА радона в период только рабочего времени и круглосуточно в будние дни почти равны, но средняя ЭРОА радона примерно в 1,5 раза ниже в период рабочего времени, чем круглосуточно в будние дни.

В других ЭП подобные закономерности не обнаружены, т.к. ни в одном из них, включая ЭП 2, не было строгой цикличности интервалов разного пользования помещением и зданием.

Оценка временных вариаций ОА и ЭРОА радона

Оценка коэффициента временных вариаций ОА и ЭРОА радона выполнялась в соответствии с алгоритмом, подробно описанном в Части 1, на основе результатов годовых мониторингов (см. рис. 2), проводившихся в экспериментальных помещениях (см. табл. 1) при естественной вентиляции. Результаты такой оценки показаны на рисунке 4 (а, б) для случая одного измерения в течение года, а также на рисунке 5 (а, б), если в течение года проводились по 2 или 4 измерения с интервалом начала измерений 6 или 3 мес. соответственно. В подписях к рисунку 5 (а, б) при упоминании минимальной продолжительности одного из 2 или 4 измерений подразумевается, что длительность сезонных измерений (т.е. выполняемых в разное время года) может быть неодинаковой.

На рисунке 6 приводится зависимость коэффициента $K_f(t)$ от продолжительности непрерывных измерений в условиях естественной вентиляции помещений с учетом температурного влияния (см. Часть 1). Сравнение этой зависимости с рисунком 5 (а, б) показывает, что благодаря учету температурного влияния табличные значения $K_f(t)$ снижаются почти в 2 раза. Однако такое существенное снижение $K_f(t)$ наблюдается лишь при определенных условиях: стабильный источник радона, окна и двери постоянно закрыты, продолжительность измерений не превышает 2 недели. Расчетные исследования показывают, что учет температурного влияния не дает значимого эффекта, если выполняются долгосрочные измерения либо несколько измерений проводятся в разные сезоны года.

В случае ЭП 5 значения $K_f(t)$ не были приняты во внимание, т.к. оказались несопоставимо высокими вследствие аварийного состояния подвала в здании, о чем указывалось ранее. Тем не менее, это тоже полезный опыт, который обсуждается в следующем разделе.

Надежность контроля радона в зданиях гарантируется за счет реализации предложенного в Части 1 принципа контроля на основе экспериментально определенных значений $K_f(t)$. В таблице 2 приводятся табличные значения $K_f(t)$ в отношении вариаций ОА и ЭРОА радона в зависимости от продолжительности и режима измерений

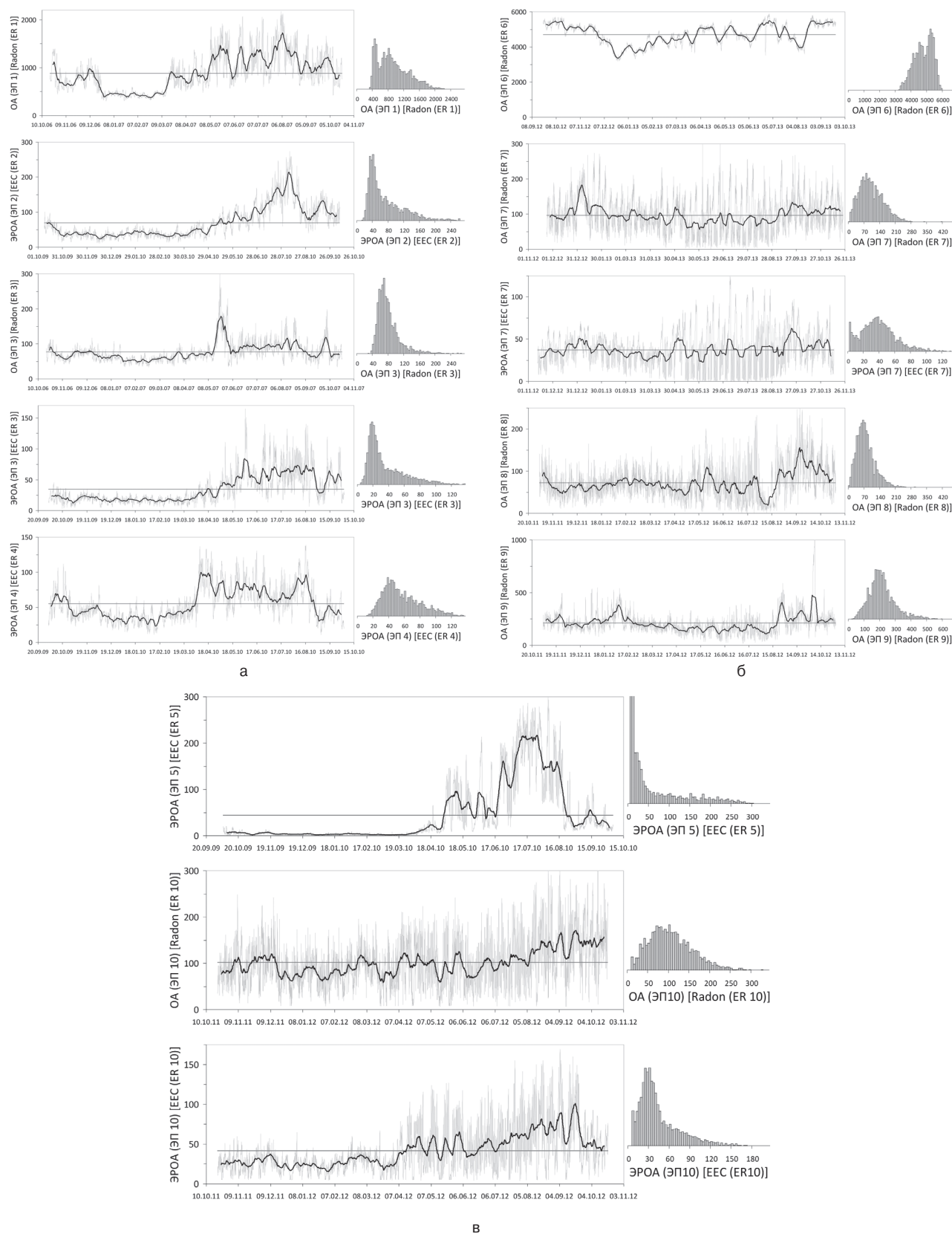


Рис. 2. Результаты годовых мониторингов ОА и ЭРОА радона ($\text{Бк}/\text{м}^3$) в экспериментальных помещениях ЭП 1–4 (а), ЭП 6–9 (б) и ЭП 5, 10 (в), а также недельные тренды (толстая кривая), СОА или СЭА (тонкая линия) и частотные распределения результатов измерений в соответствующих ЭП [2]

[Fig. 2.] The results of annual monitoring of the radon activity concentration (Bq/m^3) and EEC (equilibrium equivalent concentration in Bq/m^3) in the experimental rooms ER 1-4 (a), ER 6-9 (b) and ER 5, 10 (c), the weekly trends (thick lines), AAIR levels (thin lines) and the patterns of the measurement results' distributions [2]

в условиях естественной вентиляции помещений, также учитывая температурное влияние. Однако необходимо принимать во внимание, что данные, таблице 2 были получены на относительно ограниченном экспериментальном материале, поэтому они должны подлежать верификации и при необходимости уточняться. Эта проблема более подробно обсуждается в последнем разделе.

Обсуждение результатов

Достаточно интересными и важными являются результаты годового мониторинга фактора равновесия в двух экспериментальных помещениях (ЭП 7 и 10), согласно рисунку 3. Как видно из рисунка, во-первых, временные вариации не истинного, а инструментально определяемого фактора равновесия в экспрессном режиме являются чрезвычайно высокими. Даже недельный тренд фактора равновесия, независимо от характера эксплуатации помещений (см. табл. 1), тоже отличается значительными вариациями. Во-вторых, в отапливаемом помещении ЭП 10 жилого одноэтажного дома (но без жильцов) наблюдались ярко выраженные сезонные вариации фактора равновесия. Поэтому контроль фактора равновесия в краткосрочном и даже долгосрочном режимах не имеет смысла, т.к. не способствует уточнению ни степени влияния воздухообмена на радоновую обстановку в помещении, ни оценки индивидуальных или коллективных доз облучения от радона. При оценке доз наибольшая точность будет достигаться, если использовать наиболее вероятное значение фактора равновесия, равное 0,4 [5], либо 0,5 (согласно МУ 2.6.1.2838-11)¹ с некоторым запасом надежности, что также подтверждается результатами нашего предыдущего исследования [6].

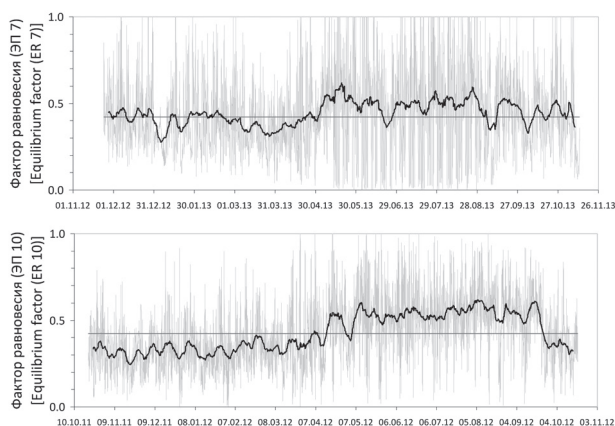


Рис. 3. Временные вариации фактора равновесия в двух экспериментальных помещениях (ЭП 7, 10), а также недельные тренды (толстая кривая) и среднегодовые значения (тонкая линия) [2]

[Fig. 3. Temporal variations of equilibrium factor in two experimental rooms (ER 7, 10), the weekly trends (thick lines) and annual average values (thin lines) [2]]

Вышеизложенные соображения и утверждения в полной мере относятся к помещениям с естественной вентиляцией. Однако вследствие работы механической вентиляции фактор равновесия может существенно снижаться, принимая значения 0,2 и ниже, что характерно для помещений зданий в основном производственного или общественного типа. Скорее всего, при стабильной работе вентиляции с увеличением ее мощности можно ожидать, что $K_f(t) \rightarrow 0$. В этом случае целесообразно ограничиться лишь краткосрочным измерением ЭРОА радона либо в экспрессном режиме, либо в режиме монитора в течение нескольких сут, что требует уточнения. Поэтому необходимо изучение характера и амплитуды временных вариаций ЭРОА и объемной активности радона в условиях стабильной работы механической вентиляции для проверки справедливости предположения, что $K_f(t) \rightarrow 0$. В случае производств, связанных с техногенными нестабильными источниками радона, для организации контроля необходима разработка специальных подходов и методов, учитывающих специфику производства.

Анализ зависимости коэффициента $K_f(t)$ от продолжительности и режима, а также других условий измерений, согласно таблице 2, приводит к следующим соображениям.

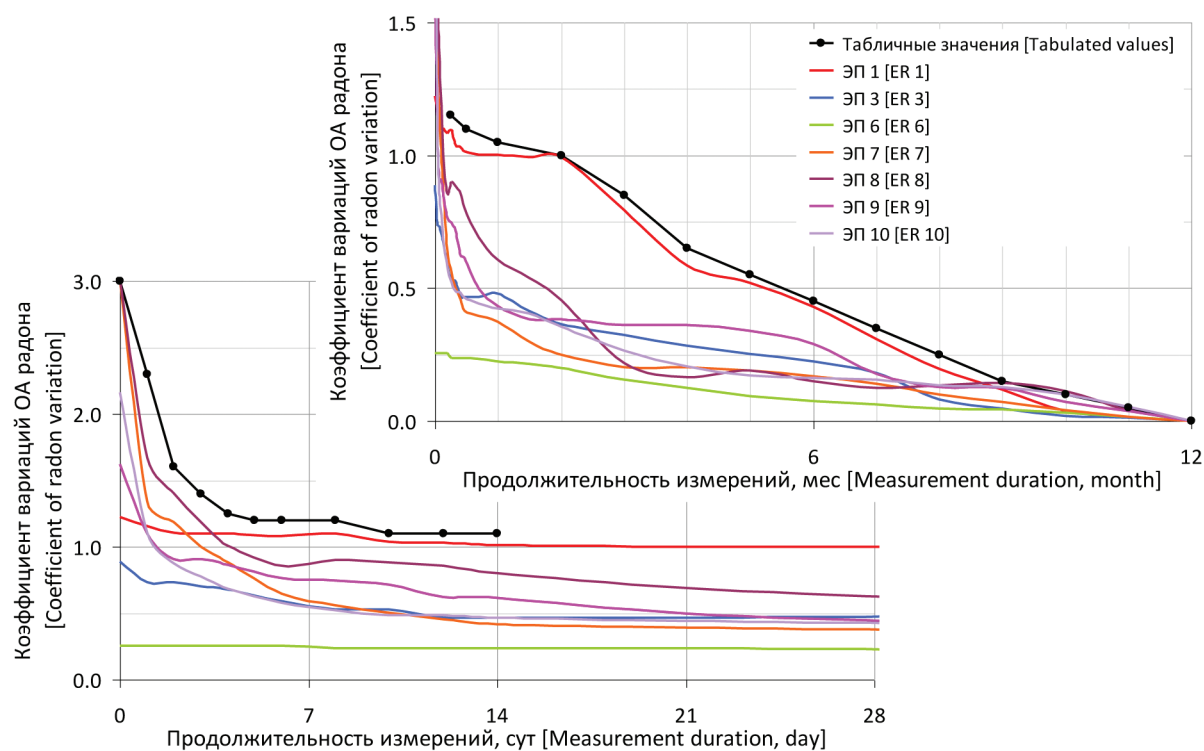
Временные вариации ЭРОА радона выше, чем вариации ОА радона в среднем на 20–60% в связи с дополнительным влиянием на ЭРОА таких факторов, как осаждение дочерних продуктов распада радона на поверхностях в помещении, включая человека, а также их дополнительный сток (удаление) за счет воздухообмена. В то же время если проводятся 4 измерения в разные сезоны, то вариации ОА и ЭРОА радона в среднем равны, как это можно видеть в последнем столбце таблицы 2.

Значительное, почти двукратное снижение коэффициента $K_f(t)$ достигается за счет учета температурного влияния, согласно рисунку 7. Однако такой подход возможен только в период краткосрочных измерений и лишь для помещений определенного типа, что может существенно ограничивать его практическое применение. Тем не менее, несмотря на целый набор ограничений, учет температурного влияния, как было показано в Части 1, может применяться в значительной доле зданий на территории России.

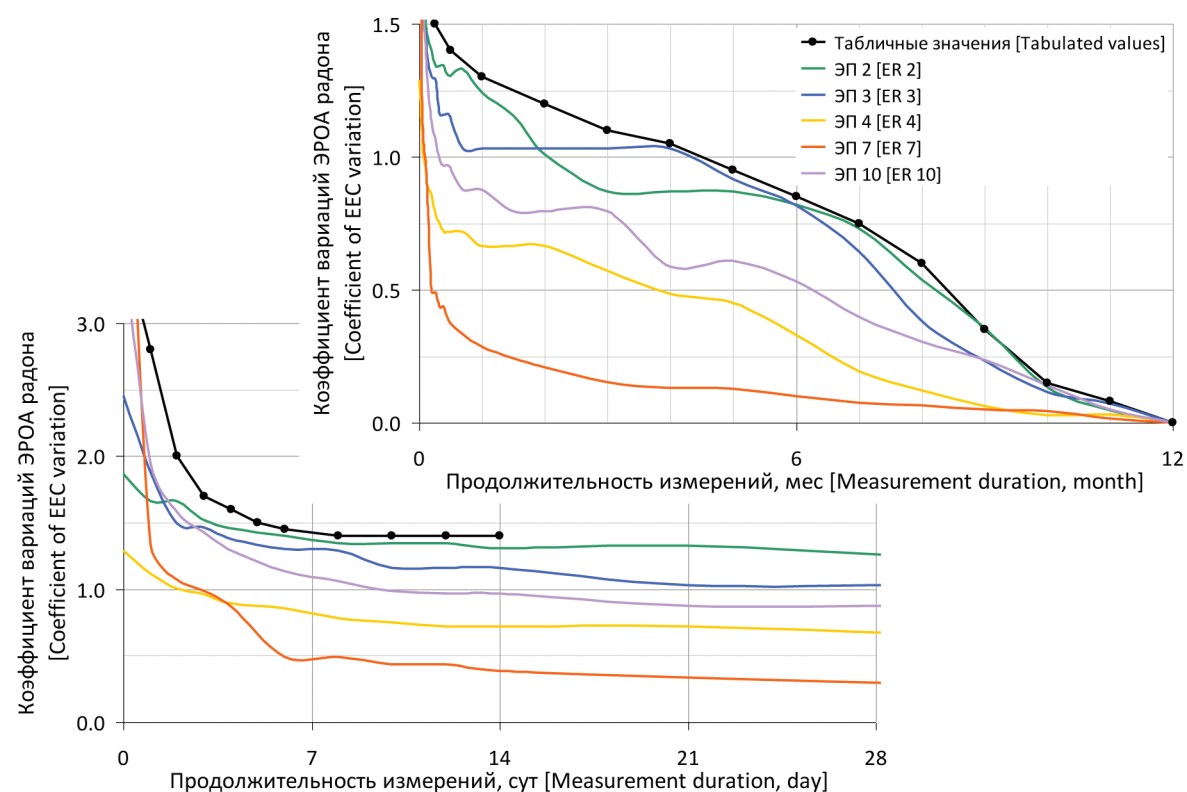
Возможно, табличные данные в отношении вариаций ОА радона при непрерывных измерениях в интервале от 1 до 8 мес. могут быть завышены (см. табл. 2), поскольку значения $K_f(t)$ для экспериментального помещения ЭП 1 в этот период существенно выше, чем в других экспериментальных помещениях, согласно рисунку 4(а). Такая разница может объясняться тем, что существенное снижение ОА радона в ЭП 1 (закрытая и отапливаемая комната на чердаке со стабильным источником радона) в холодный период, обусловленное увеличением естественного воздухообмена [3], не компенсируется за счет увеличения экскаляции почвенного радона внутрь здания. Тем не менее, мы предпочитаем консервативный подход в условиях ограниченного экспериментального материала.

Согласно рисункам 4 и 7, значительное снижение $K_f(t)$ в основном наблюдается в течение первых 7–10 сут непре-

¹ Методические указания МУ 2.6.1.2838-11. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности. Утв. 28.01.2011. взамен МУ 2.6.1.715-98. [Methodical guidance MU 2.6.1.2838-11. Radiation control and sanitary-epidemiological assessment of residential, public and industrial buildings and constructions after the completion of construction, general overhaul, renovation on the indicators of radiation safety. Approved 28.01.2011].



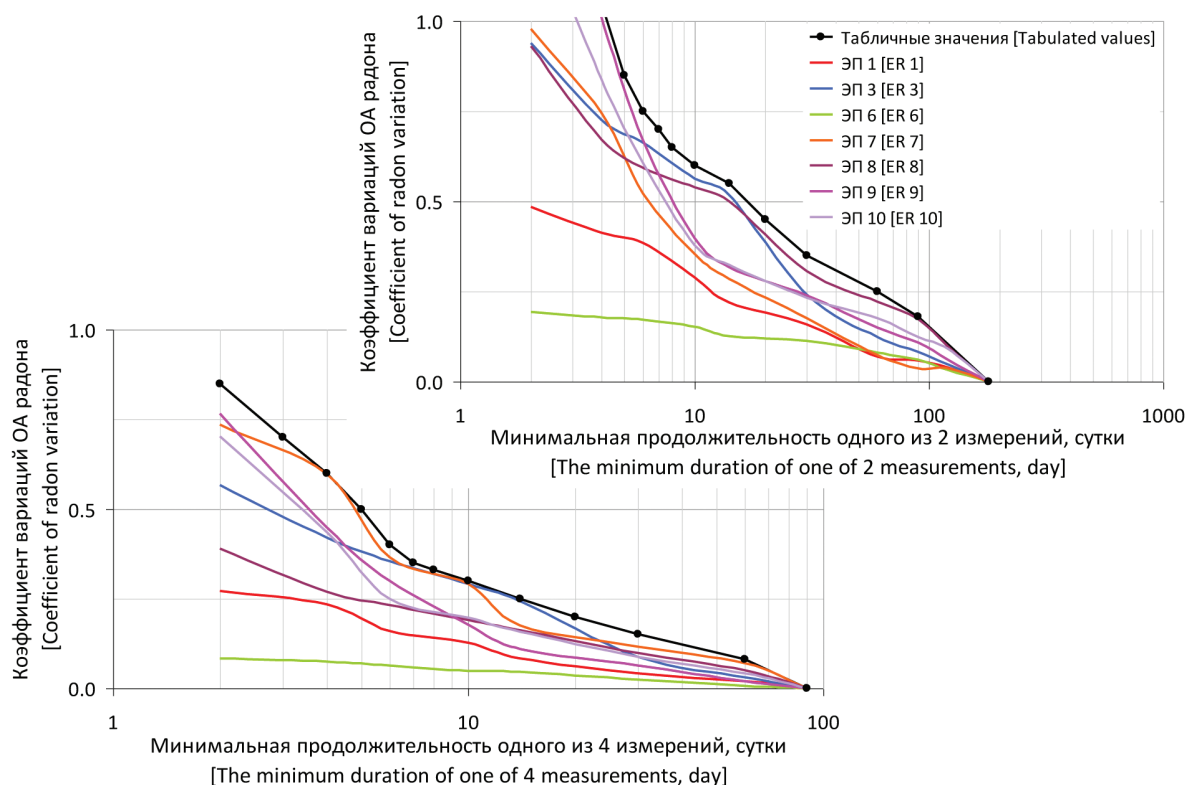
(a)



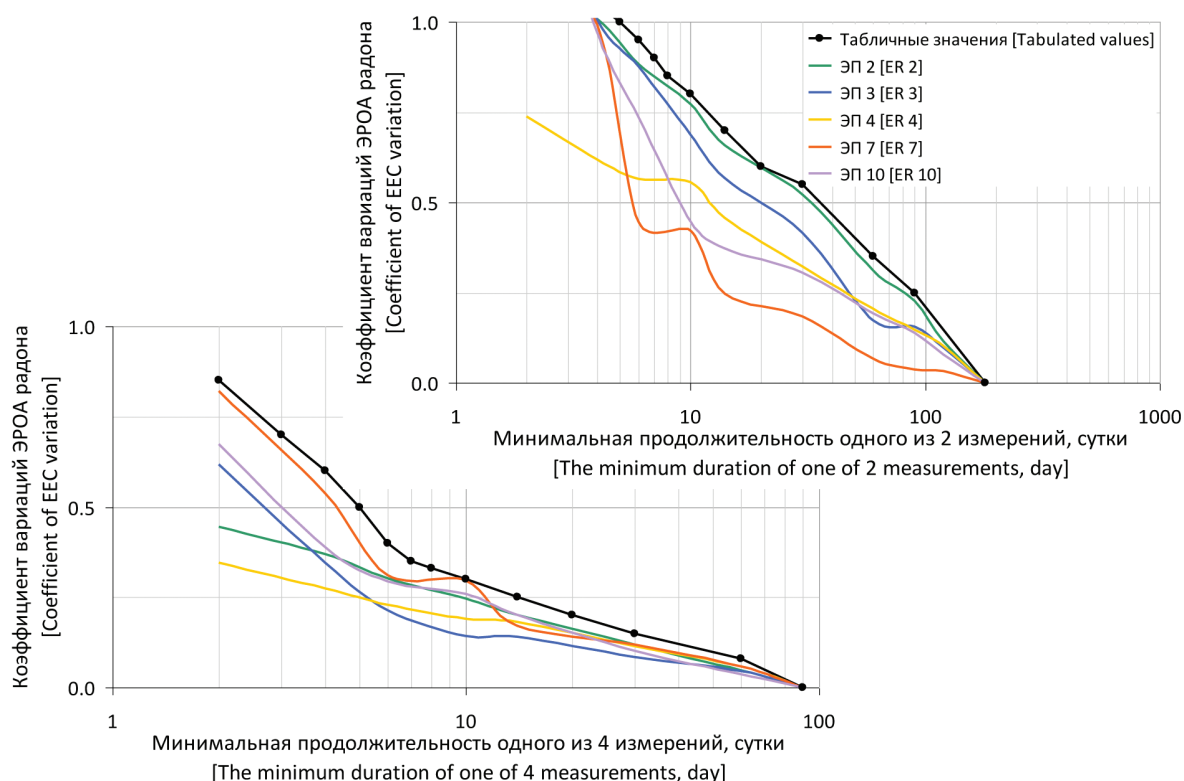
(b)

Рис. 4. Зависимость коэффициента временных вариаций ОА (а) и ЭРОА (b) радона от продолжительности непрерывных измерений в экспериментальных помещениях (ЭП) [2]

[Fig 4. Dependence of the coefficients of temporal variations of radon (a) and EEC (b) on the durations of continuous measurements in the experimental rooms (ER) [2]]



(a)



(b)

Рис. 5. Зависимость коэффициента временных вариаций ОА (а) и ЭРОА (б) радона от минимальной продолжительности одного из 2 или 4 измерений в экспериментальных помещениях (ЭП) с интервалом 6 или 3 мес. соответственно [2]

[Fig. 5.] Dependence of the coefficients of temporal variations of radon (a) and EEC (b) on the minimum duration of one of 2 (top) and 4 (bottom) measurements in the experimental rooms (ER) with an interval of 6 or 3 months, respectively [2]

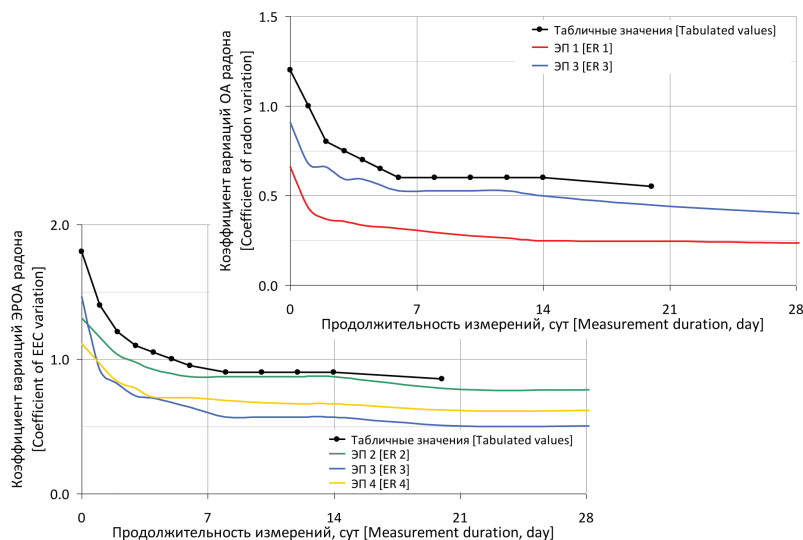


Рис. 6. Зависимость коэффициента временных вариаций ОА и ЭРОА радона от продолжительности непрерывных измерений в экспериментальных помещениях ЭП 1–4 (с постоянно закрытыми дверями и окнами и стабильным источником радона) с учетом температурного влияния

[Fig. 6. Dependence of the coefficient of temporal radon and EEC variation on the duration of continuous measurements in the experimental rooms ER 1-4 (at closed doors and windows, and a stable source of radon) taking into account the temperature effect]

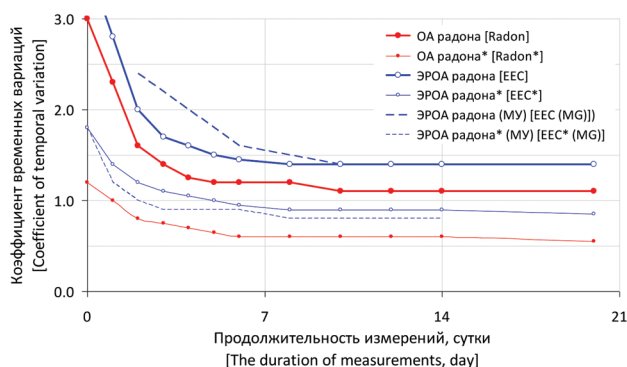


Рис. 7. Сравнение уточненных в данной работе табличных значений коэффициента временных вариаций ОА и ЭРОА радона с данными МУ 2.6.1.037-2015² (* учитывалось температурное влияние)

[Fig. 7. A comparison of précised tabulated values of the coefficients of temporal variation of radon and EEC in this study with the data from MG 2.6.1.037-2015² (* taking into account the temperature effect)]

рывных измерений. Затем в течение следующих нескольких недель и почти до 2 мес. измерений $K_V(t)$ снижается незначительно, например от 1,1 (110%) до 1,0 (100%) в отношении ОА радона (см. табл. 2). Поэтому краткосрочными целесообразно считать измерения, продолжительность которых не превышает 10 сут. Важно отметить, что поскольку в период краткосрочных измерений значения $K_V(t)$ остаются достаточно высокими (более 1,0 (100%) по

таблице 2), то не имеет смысла в этот период выполнять измерения ОА или ЭРОА радона с высокой точностью.

Проведение долгосрочных измерений продолжительностью от 2 мес. до 1 года не всегда эффективно из-за медленного снижения коэффициента $K_V(t)$ во времени, согласно таблице 2. Поэтому в определенных случаях целесообразно выполнение 2 или 4 измерений в разные сезоны года. Например, снижение значений $K_V(t)$ до уровня 0,25 (25%) достигается путем 2 или 4 измерений продолжительностью 2 мес. или 2 недели соответственно, причем тот же самый уровень точности ($K_V(t)=0.25$) достигается при непрерывном измерении продолжительностью 8 мес. Увеличение продолжительности или количества измерений для снижения значений $K_V(t)$ ниже 0,25 нецелесообразно, т.к. существуют межгодовые вариации СОА и СЭА радона в помещениях. В среднем амплитуда межгодовых вариаций СОА радона оценивается в диапазоне от 14% [7] до 26% [8] при максимальных значениях около 40% [9, 10] и даже 53% [11].

По нашему мнению, значительные межгодовые вариации СОА радона могут объясняться образованием новых трещин и отслоением изоляции в фундаментах зданий за счет старения материалов и деформаций грунтового основания, особенно в условиях повышенной сейсмической либо локальной геодинамической активности территории. Кроме того, подобные геологические процессы, по сравнению с естественным воздухообменом в зданиях, отличаются большей временной нестабильностью в долгосрочных интервалах (полуго-

² Методические указания МУ 2.6.1.037-2015. Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности. Утв. 14.05.2015. 40 с. [Methodical guidelines MG 2.6.1.037-2015. Estimation of the average annual of equilibrium equivalent concentration of radon isotope in the air of housings based on the measurements of different duration. Approved 14.05.2015. 40 p.].

Таблица 2

Табличные значения коэффициента временных вариаций ОА (ЭРОА) радона в зависимости от продолжительности и режима измерений в условиях естественной вентиляции помещений с учетом и без учета температурного влияния

[Table 2]

Table values of the temporal variation coefficient of the radon activity concentration (equilibrium equivalent concentration) depending on the duration and mode of measurements in natural ventilation conditions with and without consideration of the temperature impact]

Длительность измерения (минимальная, если несколько измерений) [Duration of the measurements (minimal if several measurements were performed)]	Одно непрерывное измерение [One continuous measurement]	Два измерения с интервалом начала 6 мес. (± 1 месяц) [Two measurements with an interval of the beginning of 6 months (±1 month)]	Четыре измерения с интервалом начала 3 мес. (± 2 недели) [Four measurements with an interval of the beginning of 3 months (±2 weeks)]		
	С учетом температурного влияния*, ** [Considering temperature impact]	Без учета температурного влияния (за исключением помещений с постоянно действующей механической вентиляцией, где $K_{\text{в}}(t) \rightarrow 0$) [Without considering the temperature impact (excluding the housings with constantly operating mechanical ventilation with $K_{\text{в}}(t) \rightarrow 0$)]			
От 1 мин до 4 ч [1 minute to 4 hours]	1,2 (1,8)	3,0 (3,6)*	–	–	
Сутки [Day]	1	1,00 (1,40)	2,30 (2,80)	–	–
	2	0,80 (1,20)	1,60 (2,00)	1,60 (1,60)	0,85 (0,85)
	3	0,75 (1,10)	1,40 (1,70)	1,30 (1,30)	0,70 (0,70)
	4	0,70 (1,05)	1,25 (1,60)	1,05 (1,05)	0,60 (0,60)
	5	0,65 (1,00)	1,20 (1,50)	0,85 (1,00)	0,50 (0,50)
	6	0,60 (0,95)	1,20 (1,45)	0,75 (0,95)	0,40 (0,40)
	7	0,60 (0,95)	1,20 (1,45)	0,70 (0,90)	0,35 (0,35)
	8	0,60 (0,90)	1,20 (1,40)	0,65 (0,85)	0,33 (0,33)
	10	0,60 (0,90)	1,10 (1,40)	0,60 (0,80)	0,30 (0,30)
	12	0,60 (0,90)	1,10 (1,40)	0,58 (0,75)	0,28 (0,28)
	14	0,60 (0,90)	1,10 (1,40)	0,55 (0,70)	0,25 (0,25)
	20	0,55 (0,85)	1,10 (1,40)	0,45 (0,60)	0,20 (0,20)
Месяц [Month]	1	–	1,05 (1,30)	0,35 (0,55)	0,15 (0,15)
	2	–	1,00 (1,20)	0,25 (0,35)	0,08 (0,08)
	3	–	0,85 (1,10)	0,18 (0,25)	0
	4	–	0,65 (1,05)	0,12 (0,18)	–
	5	–	0,55 (0,95)	0,06 (0,08)	–
	6	–	0,45 (0,85)	0	–
	7	–	0,35 (0,75)	–	–
	8	–	0,25 (0,60)	–	–
	9	–	0,15 (0,35)	–	–
	10	–	0,10 (0,15)	–	–
	11	–	0,05 (0,08)	–	–
	12	–	0	–	–

* — только для помещений с заранее и впоследствии закрытыми дверями и окнами [only for the housings with doors and windows closed in advance and afterwards];

** — только для помещений со стабильным источником радона (например, помещения выше второго этажа в многоэтажных зданиях, когда основным источником радона являются строительные материалы) [only for the housings with a stable source of radon (for example, housings above 2nd floor in multi-storey buildings when the main source of radon is from construction materials)].

дие, год и более). Тем более геологические явления, как и деградация фундамента, – это обычно скрытые процессы, снижающие надежность контроля радона в зданиях. Поэтому в регионах с нестабильными геологическими условиями необходимо выполнять измерения в разные сезоны года. Отметим, что два дополни-

тельных сезонных измерения, выполненных в течение следующего года, с учетом двух измерений в другие сезоны предыдущего года, могут рассматриваться как 4 сезонных измерения в течение одного года.

В то же время любые детектируемые и визуально распознаваемые факторы, влияющие на временные ва-

риации радона в зданиях, должны учитываться при проведении контроля. Гидрогеологическое состояние грунта в основании здания является одним из наиболее важных факторов такого влияния. Если грунт под зданием насыщен влагой, тем более если в подвале присутствует вода, то перенос радона из грунта внутрь здания практически отсутствует, как это видно на примере ЭП 5 (см. рис. 2 (в)). В этом помещении после снижения уровня грунтовых вод ЭРОА радона увеличивается по мере высыхания грунтового основания, достигая сверх нормативного уровня за счет интенсивного испарения влаги из эманулирующего грунта. В подобных случаях, проведение радонового контроля не имеет смысла, т.к. помещение или даже само здание находится в аварийном состоянии.

Репрезентативность и верификация результатов

Важной проблемой является репрезентативность данных, представленных в таблице 2. Результаты годовых мониторингов (см. рис. 2) показывают довольно разнообразное поведение радона в помещениях. Эти данные были получены в 10 экспериментальных помещениях в 7 зданиях, расположенных в пределах территории с почти однородной геологией и климатом. На первый взгляд, такое количество экспериментальных помещений в нашем исследовании не кажется представительным, по сравнению, например, с работой [12], охватывавшей 62 здания, либо с исследованиями [13] или [14] при охвате 132 и даже 390 зданий соответственно. Однако данные таблицы 3 свидетельствуют о вполне удовлетворительной сходимости результатов нашего исследования с результатами [12], если параметром для сравнения является коэффициент вариаций (КВ) радона в помещениях. В этом отношении представительность набора наших экспериментальных помещений близка к представительности набора из 62 зданий в исследовании [12]. В то же время такое сравнение не является достаточной гарантией репрезентативности полученных данных и поэтому

не отменяет необходимости верификации и уточнения результатов нашего исследования. Необходимо уточнить, что в таблице 3 приводятся значения КВ только с целью анализа репрезентативности результатов нашего исследования, но не для практического использования (см. Часть 1).

Возможно, по отдельности экспериментальные помещения выглядят не совсем представительно (5 подвалов из 10 помещений), но совокупность или набор ЭП в целом вполне представительны, поскольку имеют широкий охват по следующим характеристикам, согласно таблице 1:

- диапазон СОА радона составляет почти два порядка величины;
- источник радона (только грунт, грунт и стройматериалы, только стройматериалы за счет имитации искусственным источником в ЭП 1, 6);
- этаж (от подвала до чердака) и этажность зданий (от 1 до 9);
- назначение (технические, офисные и жилые помещения в производственных и жилых зданиях);
- режим эксплуатации (все закрыто и без людей либо эксплуатируется без ограничений при постоянном присутствии людей);
- размер помещений (от 3×3×2,4 до 12×17×3 м) и площадь зданий (от 56 до 2000 м²);
- наличие окон и внешних стен (имеются в разном количестве или отсутствуют);
- строительные материалы (дерево, кирпич, бетонные плиты) и конструкция фундамента (ленточный или монолит);
- год постройки здания (от 1926 до 2003 г.).

Таким образом, качественные признаки, несмотря на относительно небольшое количество экспериментальных помещений, свидетельствуют о вполне удовлетворительной представительности их совокупного набора, но в пределах одного региона с почти однородной геологией и климатом. Поэтому верификацию данных таблице 2 це-

Сравнение коэффициентов вариаций (КВ) по результатам нашего исследования с результатами [12], в зависимости от продолжительности измерений [2]

Таблица 3

Comparison of the variation coefficients from the current study with the results of [12] considering on the duration of the measurements [2]

[Table 3]

Продолжительность непрерывного измерения [Duration of the continuous measurement]	Среднее значение КВ по 7 экспериментальным помещениям (ЭП 1, 3, 6–10), в которых выполнялся мониторинг ОА радона (исключая ЭП 6)* [Mean value of the variation coefficient based on the seven experimental rooms (ER 1,3,6-10) where volume activity of radon was monitored (excluding ER 6)]	Согласно данным D.J. Steck и др. [12] (режим эксплуатации помещения) [According to D.J. Steck et. al. [12] (operating mode of the housing)]
2 сут [2 days]	0,66 (0,73)	0,76 (все закрыто) [(closed)]
4 сут [4 days]	0,59 (0,65)	0,70 (все закрыто) [(closed)]
1 мес. [1 month]	0,44 (0,48)	0,40 (обычный режим) [(normal)]
3 мес. [3 months]	0,31 (0,34)	0,30 (обычный режим) [(normal)]
4 мес. [4 months]	0,27 (0,29)	0,25 (обычный режим) [(normal)]
6 мес. [6 months]	0,18 (0,19)	0,17 (обычный режим) [(normal)]

* — ЭП 6 отличается очень низким (не характерным) воздухообменом [ER 6 has a very low (non-typical) air exchange rate].

лесообразно выполнить на основе результатов годовых непрерывных мониторингов ОА радона в экспериментальных помещениях других зданий, расположенных в регионах с другим климатом и иными геологическими условиями, по сравнению с Московским регионом. По нашему мнению, наиболее подходящими регионами для такой верификации могут быть, например, Северный Кавказ, а также Алтай и Забайкалье. Ландшафт и геология этих регионов характеризуются в основном горным рельефом, трещиноватыми породами и достаточно проницаемым грунтом, что существенно отличается от геологии Московского региона, как и сам климат.

В заключение хотелось бы отметить, что опыт авторов подсказывает, что по результатам верификации, даже в иных климатических и геологических условиях, уточненные табличные значения коэффициента $K_f(t)$ могут лишь незначительно отличаться от данных таблицы 2. Тем не менее, необходимо экспериментальное подтверждение.

Заключение

В период с 2006 по 2013 г. были проведены полные годовые мониторинги ОА и ЭРОА радона в 10 экспериментальных помещениях с повышенным содержанием радона в условиях естественной вентиляции. Эти помещения находились в 7 зданиях, в основном расположенных в Московском регионе. Обработка данных этих мониторингов с помощью оригинального алгоритма, представленного в Части 1, позволила получить ряд важных результатов:

1. Определены табличные значения коэффициента временных вариаций ОА и ЭРОА радона в зависимости от продолжительности и режима измерений (2 или 4 измерения в разные сезоны года), а также с учетом и без учета температурного влияния (см. табл. 2).

2. Учет температурного влияния позволяет снизить табличные значения $K_f(t)$ почти в 2 раза. Хотя применение такого учета имеет весьма существенные ограничения, тем не менее, он может применяться в значительной доле зданий на территории России (см. Часть 1).

3. По предварительным данным, ОА или ЭРОА радона в закрытых зданиях без присутствия людей в среднем в 1,5–2,0 раза выше, чем в условиях обычной эксплуатации. Кроме того, средняя ОА радона в период только рабочего времени и круглосуточно в будние дни почти равны, однако ЭРОА радона примерно в 1,5 раза ниже в период рабочего времени, чем круглосуточно в будние дни.

4. Временные вариации ЭРОА радона обычно выше, чем вариации ОА радона в среднем на 20–60%. Поэтому измерения ЭРОА вместо объемной активности радона, как и попытка инструментальной оценки фактора равновесия, не способствуют повышению надежности контроля радона в помещениях с естественной вентиляцией.

Видимо, измерения ЭРОА радона целесообразны лишь в помещениях производственных и общественных зданий в условиях стабильной работы мощной вентиляционной системы, когда $K_f(t) \rightarrow 0$, что, однако, требует экспериментального подтверждения.

5. Краткосрочными следует считать измерения, продолжительность которых не превышает 10 сут, поскольку лишь в этот период наблюдается резкое снижение коэффициента $K_f(t)$. Тем не менее, в этот период значения $K_f(t)$

все равно остаются достаточно высокими (неопределенность выше 100%), поэтому не имеет смысла выполнять краткосрочные измерения ОА или ЭРОА радона с высокой точностью.

6. Принимая во внимание существование межгодовых вариаций СОА радона в помещениях, нецелесообразно увеличивать продолжительность или количество сезонных измерений с целью снижения значений $K_f(t)$ ниже 0,25. В то же время при нестабильных геологических условиях необходимо выполнять несколько измерений в разные сезоны года. Кроме того, важно контролировать гидрогеологическое состояние грунтового основания здания, а также состояние его фундамента и изолированности коммуникационных каналов.

7. Несмотря на ограниченный экспериментальный материал, представительность результатов исследования оценивается на вполне удовлетворительном уровне. Тем не менее, полученные табличные значения коэффициента $K_f(t)$ должны подлежать верификации и при необходимости уточняться на основе дальнейшего накопления экспериментальных данных, учитывая рекомендации авторов в заключительном разделе.

8. Применение табличных значений коэффициента $K_f(t)$ позволяет надежно оценивать неопределенность СОА (или СЭА) радона и корректно выполнять сравнение определяемых среднегодовых значений с нормативным уровнем, согласно представленному в Части 1 принципу, как на стадии приемки, так и в эксплуатируемых зданиях. Кроме того, открывается возможность для разработки на научной основе (т.е. используя строгие алгоритмы и количественные критерии) универсальной стратегии массового контроля и эффективного выявления зданий с высоким уровнем радона.

Исследование было выполнено в рамках Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» при финансовой поддержке ФМБА России, а также при участии сотрудников Федерального центра Роспотребнадзора, Научно-исследовательского института строительной физики, ООО «НТЦ Амплитуда» и ООО «Рязаньагропроект».

Литература

1. Цапалов, А.А. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля / А.А. Цапалов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2018. – Т.11, № 1 (в печати).
2. Tsapalov, A., Kovler, K., 2018. Indoor radon regulation using tabulated values of temporal radon variation. Journal of Environmental Radioactivity 183, 59–72.
3. Цапалов, А.А. Зависимость объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температур воздуха / А.А. Цапалов, С.И. Кувшинников // АНРИ. – 2008. – № 2. – С. 37–43.
4. Цапалов, А.А. Оценка среднегодового уровня ЭРОА радона в помещениях на основе результатов краткосрочных измерений радиометром «АльфаАЭРО» / А.А. Цапалов // АНРИ. – 2008. – № 3. – С. 49–58.
5. UNSCEAR, 2006. Effects of ionizing radiation. Volume I: report to the general assembly scientific annexes A and B. (UNSCEAR 2006 Report) United Nations publication, New York (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).

6. Цапалов, А.А. Результаты долговременных исследований закономерностей поведения ОА и ЭРОА радона в зданиях московского региона / А.А. Цапалов // АНРИ. – 2011. – № 3(66). – С. 52–64.
7. Bochicchio, F. [et al.]. 2009. Results of the first 5 years of a study on year-to-year variations of radon concentration in Italian dwellings. *Radiation Measurements* 44 (9-10), 1064–1068.
8. Steck, D. 2009. Annual average radon variation over two decades. *Health Physics* 96 (1), 37–47.
9. Hunter, N., [et al.]. 2005. Year-to-year Variations in Radon Levels in a Sample of UK Houses with the Same Occupants. *Seventh International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE-VII)*. In: *Radioactivity in the Environment Book Series*, Vol. 7. Elsevier, pp. 438–447.
10. Lubin, J. [et al.]. 2005. Adjusting lung cancer risk for temporal and spatial variations in radon concentration in dwellings in Gansu province, China. *Radiation Research*. 163 (5), 571–579.
11. Darby, S., [et al.]. 1998. Risk of lung cancer associated with residential radon exposure in south-west England: a case-control study. *British Journal of Cancer* 78 (3), 394–408.
12. Steck, D. [et al.]. 2004. Indoor radon exposure uncertainties caused by temporal variation. In: *11th International Congress of the International Radiation Protection Association*, Madrid, Spain, ISBN 84-87078-05-2.
13. Kozak, K. [et al.]. 2011. Correction factors for determination of annual average radon concentration in dwellings of Poland resulting from seasonal variability of indoor radon. *Applied Radiation and Isotopes* 69 (10), 1459–1465.
14. Ruano-Ravina, A. [et al.]. 2008. Short-versus long-term radon detectors: a comparative study in Galicia, NW Spain. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99 (7) 1121–1126.

Поступила: 17.01.2018 г.

Цапалов Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией радиационного контроля Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. **Адрес для переписки:** 121357, Москва, ул. Вересаева, 15; E-mail: andrey-ants@yandex.ru

Киселев Сергей Михайлович – кандидат биологических наук, главный научный сотрудник Федерального медико-биологического центра им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

Маренный Альберт Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией природных источников ионизирующих излучений Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, Москва, Россия

Ковлер Константин Леонидович – кандидат технических наук, профессор, заведующий отделом строительных материалов и технологий факультета строительства и охраны окружающей среды Национального института исследований по строительству Израильского технологического института «Технион», Хайфа, Израиль

Кувшинников Сергей Иванович – врач по радиационной гигиене лаборатории радиационного контроля и физических факторов Федерального центра гигиены и эпидемиологии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

Янкин Александр Сергеевич – заведующий лабораторией радиационного контроля ООО «Институт «Рязаньагропроект»», Рязань, Россия

Для цитирования: Цапалов А.А., Киселев С.М., Маренный А.М., Ковлер К.Л., Кувшинников С.И., Янкин А.С. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 2. Экспериментальная оценка неопределенности временных вариаций радона // *Радиационная гигиена*. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 64–79. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-64-79.

Uncertainty of the results of the radon control in housings. Part 2. Experimental assessment of the temporal variations of radon

Andrey A. Tsapalov¹, Sergey M. Kiselev², Albert M. Marennyy³, Konstantin L. Kovler⁴, Sergey I. Kuvshinnikov⁵,
Alexander S. Yankin⁶

¹Institute of mineralogy, geochemistry and crystal chemistry of rare elements, Moscow, Russia

²Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

³Research and Technical Center of Radiation-chemical Safety and Hygiene of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Andrey A. Tsapalov

Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements. **Address for correspondence:** Veresaeva Str., 15, Moscow, 121357, Russia; E-mail: andrey-ants@yandex.ru

⁴Israel technological university «Technion», Haifa, Izrael

⁵Federal center of hygiene and epidemiology, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Moscow, Russia

⁶Institute «Ryazanagrovodproject», Ryazan, Russia

The first part of the paper was devoted to a detailed investigation of the problems of radon control in buildings as well as to the description of the accurate principle of radon control on housings, which is based on the new parameter — temporal variation coefficient $KV(t)$. This coefficient equalizes the main component of the uncertainty of the average annual level of radon depending on the protocol and duration of measurements. Additionally, a novel algorithm for the estimation of $KV(t)$ is proposed, developed on the base of the results of continuous annual radon monitoring in representative experimental housings. This part of the paper is focused on the results of the annual continuous monitoring of volume activities of radon and its daughter products in ten experimental housings in 2006–2013. These housings were located in seven buildings mainly in the Moscow region. All the experimental buildings have the detailed description. The use of original algorithm of the processing of the results of annual monitoring allowed estimating particular and table values of $KV(t)$ co-efficient, depending on the protocol and duration of the measurements. The values of the coefficient are lower up to a factor of two if the temperature is considered. However, the possibility of such consideration is significantly limited by the number of factors. Additionally, an importance of considering a geological factor is discussed. Evaluation of the representativeness of the data obtained and the method for verification and elaboration of the table values of $KV(t)$ are provided as well. Based on the results obtained, there is a possibility for the development of the approaches in the field of sanitary-epidemiologic surveillance in the field of practical realization of the strategy of mass radon control and effective identification of buildings with increased radon levels.

Key words: Radon, volume activity, equivalent activity, temporal variation coefficient, corrective coefficient, uncertainty, experimental housing, monitoring.

References

1. Tsapalov A.A., Kiselev S.M., Marennyy A.M., Kovler K.L., Kuvshinnikov S.I. Uncertainty of the results of the radon control in housings. Part 1 – The problem of assessment of the radon concentration and modern control principles. Radiatsionnaya ghygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 1 (In the press) (In Russian).
2. Tsapalov, A., Kovler, K., 2018. Indoor radon regulation using tabulated values of temporal radon variation. Journal of Environmental Radioactivity 183, 59–72.
3. Tsapalov A.A., Kuvshinnikov S.I. Dependence of the radon volume activity in housings on the difference in inside and outside air temperatures. ANRI = ASAP, 2008, №2, pp. 37–43. (In Russian).
4. Tsapalov A.A. Assessment of the average annual level of radon equivalent equilibrium volume activity, based on the results of shortscale measurements using radiometer «AlphaAERO». ANRI = ASAP, 2008, №3, pp 49–58. (In Russian).
5. UNSCEAR, 2006. Effects of ionizing radiation. Volume I: report to the general assembly scientific annexes A and B. (UNSCEAR 2006 Report) United Nations publication, New York (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).
6. Tsapalov A.A. results of the long-scale evaluation of the trends of the behavior of radon volume activity and equivalent equilibrium volume activity in buildings in Moscow region. ANRI, 2001, №3(66), pp. 52–64. (In Russian).
7. Bochicchio, F. [et al.]. 2009. Results of the first 5 years of a study on year-to-year variations of radon concentration in Italian dwellings. Radiation Measurements 44 (9-10), 1064–1068.
8. Steck, D. 2009. Annual average radon variation over two decades. Health Physics 96 (1), 37–47.
9. Hunter, N., [et al.]. 2005. Year-to-year Variations in Radon Levels in a Sample of UK Houses with the Same Occupants. Seventh International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE-VII). In: Radioactivity in the Environment Book Series, Vol. 7. Elsevier, pp. 438–447.
10. Lubin, J. [et al.]. 2005. Adjusting lung cancer risk for temporal and spatial variations in radon concentration in dwellings in Gansu province, China. Radiation Research. 163 (5), 571–579.
11. Darby, S., [et al.]. 1998. Risk of lung cancer associated with residential radon exposure in south-west England: a case-control study. British Journal of Cancer 78 (3), 394–408.
12. Steck, D. [et al.]. 2004. Indoor radon exposure uncertainties caused by temporal variation. In: 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, Madrid, Spain, ISBN 84-87078-05-2.
13. Kozak, K. [et al.]. 2011. Correction factors for determination of annual average radon concentration in dwellings of Poland resulting from seasonal variability of indoor radon. Applied Radiation and Isotopes 69 (10), 1459–1465.
14. Ruano-Ravina, A. [et al.]. 2008. Short-versus long-term radon detectors: a comparative study in Galicia, NW Spain. Journal of Environmental Radioactivity, 99 (7) 1121–1126.

Received: January 17, 2018

For correspondence: Andrey A. Tsapalov – PhD, Head of Laboratory of Radiation Control, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (Veresaeva Str., 15, Moscow, 121357, Russia; E-mail: andrey-ants@yandex.ru)

Sergey M. Kiselev – PhD, Major Researcher of Public Radiation Protection Department, SRC Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

Albert M. Marennyy – PhD, Professor, Head of Laboratory of Natural Sources of Ionizing Radiation, Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

Konstantin L. Kovler – PhD, Assoc. Professor, Head of Department of Building Materials and Technology, National Building Research Institute, Faculty of Civil and Environmental Engineering «Technion» – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel

Sergey I. Kuvshinnikov – Radiation Hygiene Physician of Laboratory of Radiation Control and Physical Factors, Federal Budgetary Health Care Institution «Federal Center for Hygiene and Epidemiology», Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Moscow, Russia

Alexander S. Yankin – engineer, Head of Laboratory of Radiation Control, «Institute «Ryazanagrowaterproject» Ltd., Ryazan, Russia

For citation: Tsapalov A.A., Kiselev S.M., Marennyy A.M., Kovler K.L., Kuvshinnikov S.I., Yankin A.S. Uncertainty of the results of the radon control in housings. Part 2. Experimental assessment of the temporal variations of radon. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 64-79. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-64-79.

Радоновая безопасность современных многоэтажных зданий различных классов энергетической эффективности

А.В. Васильев, И.В. Ярмошенко, М.В. Жуковский

Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Согласно полученным результатам радонового обследования г. Екатеринбурга, наблюдается значительный рост объемных активностей радона в помещениях зданий с повышенным классом энергоэффективности (B, B+, B++). Существующие в мировой практике рекомендации по использованию механической вентиляции с рекуперацией тепла в качестве основного сценария по снижению повышенных объемных активностей радона в энергоэффективных зданиях не показали очевидного преимущества. В реальной ситуации механическая система вентиляции не используется должным образом как в автоматическом, так и в ручном режимах в климатических условиях Среднего Урала.

Ключевые слова: радон, энергосбережение, защита.

Введение

Несмотря на высокую степень проработки проводимой энергосберегающей политики в строительной области, по-прежнему остаются нерешенными вопросы экологической безопасности строительства в связи с введением энергоэффективных решений в данной отрасли [1–3]. Так, достаточно остро стоит вопрос повышенного накопления загрязняющих и вредных веществ в зданиях, в частности радона. Радон представляет собой природный радиоактивный газ, образующийся в грунте и строительных материалах. Согласно эпидемиологическим данным [4, 5], существует прямая связь между раком легкого и радоном. Радон способен мигрировать и накапливаться в зданиях. Особенности конструкции и эксплуатации различных зданий в значительной степени определяют данные процессы [6].

В России требования к энергосберегающему строительству были установлены государственными органами с 1996 г. В последующие годы были введены новые нормативы, регулирующие сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, удельный расход тепла на отопление и другие параметры, направленные на увеличение энергосбережения. Установление новых норм может привести к применению строительных решений, которые создают условия для повышенного накопления вредных и загрязняющих веществ в новых зданиях. Данные решения включают увеличение теплозащитных свойств ограждающих конструкций, замену устаревших дверей и окон в жилых домах, специальные требования к планировочным решениям помещений, входящих в состав общего домового пользова-

ния. В данной работе сделан акцент на проблеме облучения радоном в современных энергоэффективных зданиях в г. Екатеринбурге. Для этого города характерен высокий уровень энергоемкости, связанный с большой продолжительностью отопительного сезона. В статье проведен анализ влияния параметров объемно-планировочных решений современных многоэтажных зданий г. Екатеринбурга различных классов энергетической эффективности на объемные активности (ОА) радона в жилых помещениях.

Материалы и методы

В анализе были использованы данные радонового обследования [7], дополненные измерениями объемной активности радона в энергоэффективных домах г. Екатеринбурга за последние 5 лет [8, 9]. Общее количество домов в объединенной выборке домов составило 452. Измерения объемной активности радона проводились трековыми детекторами (LR 115). Период измерения составил 2–3 мес. Для определения среднегодового значения ОА радона при необходимости проводилась температурная нормализация [7]. Для каждого из домов был установлен присвоенный класс энергоэффективности, жилая и общая площадь, количество помещений в каждом доме. Общее количество домов с присвоенным на момент исследования классом энергоэффективности составило 65, согласно данным компаний, управляющих ЖКХ. Класс энергоэффективности дома в России определяется по величине отклонения значения удельного расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение здания от нормируемого уровня (табл.).

Васильев Алексей Владимирович

Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук.

Адрес для переписки: 620219, Россия, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: vav@ecko.uran.ru

Таблица

Класс энергоэффективности здания

[Table

Class of the energy efficiency of the building]

Наименование [Name]	Класс [Class]	Обозначение [Code]	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии от нормативного, % [Deviation of calculated (actual) value of the intensity of the energy discharge from the specified]	Мероприятия, рекомендуемые органам администраций субъектов РФ [Recommended actions for the organs of the administrations in the regions of Russian Federation]
При проектировании и эксплуатации новых, реконструируемых, модернизируемых зданий [For the design and maintenance of new, reconstructed and renovated buildings]				
Очень высокий [Very high]	A+	A	Ниже -60 От -45 до -59,9 [below -60 from -45 to -59,9]	Экономическое стимулирование [Economical motivation]
Высокий [High]	B++	B+	От -35 до -44,9 От -25 до -34,9 От -10 до -24,9 [from -35 to -44,9 from -25 to -34,9 from -10 to -24,9]	Экономическое стимулирование в зависимости от года строительства [Economical motivation based on the year of the construction]
Нормальный [Normal]	C		От +5 до -9,9 [from +5 to -9,9]	–
При эксплуатации существующих зданий [For the maintenance of the existing buildings]				
Пониженный [Lowered]	D		От +5,1 до +50 [from +5,1 to +50]	Желательна модернизация здания после 2020 г. [Renovation of the building after 2020 is recommended]
Низкий [low]	E		Более +50 [above+50]	Необходимо немедленное утепление здания [Immediate heat insulation of the building is required]

Более детальные исследования были проведены в одном доме с наивысшим классом энергоэффективности «А». Данный дом отличается отсутствием системы водяного отопления и наличием системы механической вентиляции с рекуперацией тепла. Отопление в доме осуществляется посредством теплых электрических полов. В данном доме измерения ОА радона и разности температур между внутренним объемом помещения и наружной атмосферой проводились в квартире на первом этаже в течение 1,5 мес. с шагом в 1 ч (с января по март 2017 г.). В качестве средства измерения был использован радон-монитор AlphaGUARD. Измерения проводились в холодное время года. Разность температур между внутренним объемом помещения и наружной атмосферой составила от 25 до 45 °С. Это позволило определить доминирующий механизм поступления радона в помещение и скорость данного поступления методами, предложенными ранее в работах [8, 10]. Также вышеуказанными методами были определены скорость поступления радона и кратность воздухообмена помещения в стационарном режиме эксплуатации. Кратность воздухообмена в активном режиме эксплуатации была принята равной одному обмену в час, согласно данным паспорта на вентиляционную систему.

Результаты и обсуждение

На основании полученных в ходе анализа данных была построена диаграмма, демонстрирующая распределе-

ние значений ОА радона в жилищах г. Екатеринбурга в зависимости от класса энергоэффективности (рис. 1). Согласно полученным результатам, наблюдается значительный рост ОА радона в помещениях зданий с повышенным классом энергоэффективности (B, B+, B++).

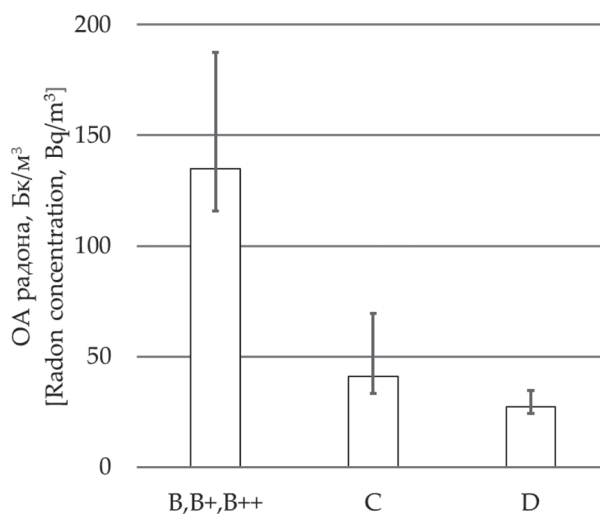


Рис. 1. Значение ОА радона в зданиях г. Екатеринбурга в зависимости от класса энергоэффективности
[Fig. 1. Ranges of the volume activities of the radon in the buildings of Ekaterinburg based on their energy efficiency class]

Увеличение уровней ОА радона в современных зданиях связано с новыми технологиями строительства. Использование различных технологий и различных типов ограждающих конструкций (железобетонных панелей, кирпича, монолитного бетона и пр.) может приводить к значительным различиям в уровнях ОА радона. Как было показано ранее в работе [10], самые низкие ОА радона в помещениях были достигнуты в период с 1970 по 1989 г. в панельных домах. Дома указанных годов постройки отличается высокое значение отношения жилой к общей площади помещений здания. При этом места общедомового пользования (лифтовые, общедомовые площадки, колясочные и пр.) и некоторые офисные помещения в новых домах, как правило, отличается низкий воздухообмен, в особенности в холодный период года. Увеличение ОА радона в нежилых помещениях здания с низким воздухообменом повышает общий уровень ОА радона в здании. Косвенным подтверждением данной гипотезы является приведенная на рисунке 2 зависимость, демонстрирующая влияние объемно-планировочного решения на достигнутые значения ОА радона в обследованных помещениях.

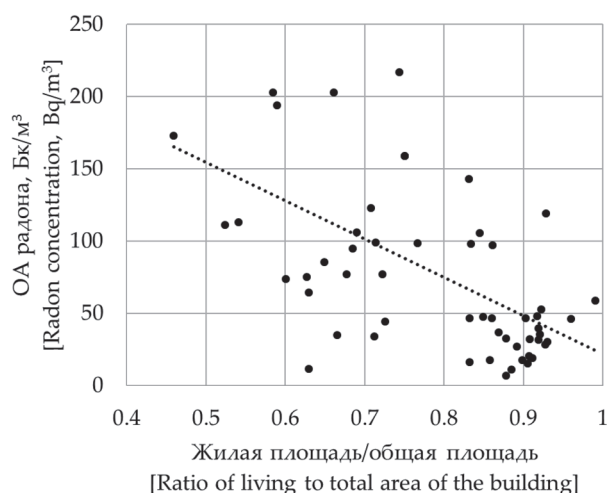


Рис. 2. Значение ОА радона в зависимости от объемно-планировочного решения здания

[Fig. 2. Values of the volume activity of the radon based on the layout and arrangement of the buildings]

Согласно [10], доля современных панельных домов, возведенных за период с 2001 по 2013 г., не превышает 30% от общего числа домов, построенных за этот период. Таким образом, увеличение количества зданий с высоким классом энергоэффективности и возведенных с использованием современных объемно-планировочных решений способствует повышению среднего городского уровня ОА радона, что противоречит концепции планомерного снижения облучения населения радоном.

По результатам мониторирующих измерений ОА радона в доме с классом энергоэффективности «А» было получено среднее значение ОА радона 130 Бк/м³. Также была проведена оценка скорости поступления радона. Скорость поступления радона по результатам анализа была неизменна от ΔT в диапазоне от 25 до 45 °C и составила в среднем 35 Бк/(м³·ч). Такая оценка полностью соответствует значениям, полученным ранее для других энергоэффективных домов в г. Екатеринбурге [9].

Существенное влияние на величину ОА радона оказывает скорость воздухообмена между внешней средой и помещением [8]. Основными причинами возникновения воздухообмена между внутренним объемом здания и внешней атмосферой при отсутствии источников принудительной вентиляции являются разность температур между внутренним объемом помещений и наружной атмосферой и ветровой напор. Как было показано в работах [9, 10], значение кратности воздухообмена помещений с естественной системой вентиляции находится в стационарном режиме эксплуатации на достаточно низком уровне – 0,2–0,3 обмена в час. Для дома с классом энергоэффективности «А» был получен аналогичный результат (рис. 3).

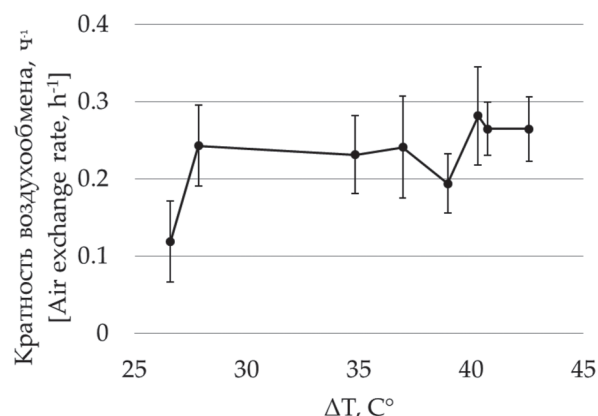


Рис. 3. Кратность воздухообмена помещения в зависимости от разности температур между внутренним объемом помещения и наружной атмосферой (указаны средние значения и стандартные отклонения)

[Fig. 3. Air exchange rate of the housing dependent of the differences of the temperature between the inner volume of the housing and outside air given as mean±standard deviation]

При этом в работах [2, 3, 11] в качестве основного сценария снижения повышенных ОА радона в помещениях рассматривается применение механических систем принудительной вентиляции с рекуперацией тепла. Однако в условиях климата Среднего Урала в г. Екатеринбурге применение таких систем не показало очевидного преимущества с точки зрения снижения концентраций загрязняющих веществ.

Заключение

Согласно полученным результатам, наблюдается значительный рост ОА радона в помещениях зданий с повышенным классом энергоэффективности. В 4 обследованных жилых помещениях в зданиях с высоким классом энергоэффективности из 17 обнаружена ОА радона, при которой среднегодовая ЭРОА изотопов радона будет превышать величину 100 Бк/м³. По результатам проведенных исследований кратность воздухообмена помещений энергоэффективных зданий остается недостаточной по причине низкой воздухопроницаемости ограждающих конструкций, входных дверей и окон. Основным типом вентиляции в новых жилых зданиях в г. Екатеринбурге является естественная вентиляция. Жильцы вынуждены

контролировать воздухообмен помещений открытием окон или вентиляционных проточных клапанов (если они предусмотрены). В свою очередь, информационно-разъяснительная работа с населением в отношении энергосбережения ведется в контексте снижения затрат на услуги ЖКХ. В частности, в отношении систем вентиляции населению рекомендуют не оставлять форточки постоянно открытыми, а механическую вентиляцию постоянно включенной.

Зачастую требуемый воздухообмен не обеспечивается жильцами как по соображениям комфорта (в холодное время года), так и по соображениям экономии электроэнергии (в случае применения приточно-вытяжных систем вентиляции). Для увеличения воздухообмена помещений без ухудшения условий проживания и снижения энергозатрат может быть рекомендовано использование рекуперации тепла в системах вентиляции (т.е. системы, позволяющей существенно экономить тепловую энергию посредством обогрева входящего свежего воздуха исходящим без их смешения). Однако само по себе применение таких систем вентиляции не является достаточным, поскольку зачастую приточная система вентиляции используется не по графику и не в автоматическом режиме, что не дает очевидного преимущества перед естественным проветриванием.

Литература

1. Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*. 2008; 40: 394–398.
2. Milner J, Shrubsole C, Das P, Jones B, Ridley I, Chalabi Z, Hamilton I, Armstrong B, Davies M, Wilkinson P. Home energy efficiency and radon related risk of lung cancer: modelling study. *BMJ*. 2014; 348: 1–12.
3. Santos Hugo RR, Leal Vitor MS. Energy vs. ventilation rate in buildings: A comprehensive scenario-based assessment in the European context. *Energy and Buildings*. 2012; 54: 111–121.
4. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H [et al.] Radon in homes and lung cancer risk: a collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. 2005; 330: 223–227.
5. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M [et al.] Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of seven North American case-control studies. *Epidemiology*. 2005; 16: 137–145.
6. Ярмошенко, И.В. Радон как фактор облучения населения России / И.В. Ярмошенко // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – Т. 2 (18). – С. 108–116.
7. Yarmoshenko I, Onishchenko A, Zhukovsky M. Establishing a regional reference indoor radon level on the basis of radon survey data. *J Radiol Prot*. 2013; 33: 329–338.
8. Васильев, А.В. Радонная безопасность современных многоэтажных зданий / А.В. Васильев, И.В. Ярмошенко, М.В. Жуковский // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2014. – Т. 3(7). – С. 19–25.
9. Vasilyev A., Yarmoshenko I. Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia. *Rad Prot Dosim*. 2016; 174: 419–422.
10. Yarmoshenko I, Vasilyev A, Onishchenko A, Kiselev S, Zhukovsky M. Indoor radon problem in energy efficient multi-storey buildings. *Radiat Prot Dosim*. 2014; 160: 53–55.
11. Collignan B, Lorkowski C, Améon R. Development of a methodology to characterize radon entry in dwellings. *Building and Environ*. 2012; 57: 176–183.

Поступила: 13.02.2018

Васильев Алексей Владимирович – кандидат технических наук, научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук. **Адрес для переписки:** 620219, Россия, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: vav@ecko.uran.ru

Ярмошенко Илья Владимирович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора Института промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Жуковский Михаил Владимирович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, директор Института промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Для цитирования: Васильев А.В., Ярмошенко И.В., Жуковский М.В. Радонная безопасность современных многоэтажных зданий различных классов энергетической эффективности // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 80–84. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-80-84.

Radon safety of modern multi-storey buildings with different energy efficiency classes

Aleksey V. Vasilyev, Ilya V. Yarmoshenko, Mikhail V. Zhukovsky

Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

According to results of the survey in Ekaterinburg, Russia, indoor radon concentrations above the city average level have been found in each of the studied buildings with high energy efficiency class. Measures to increase energy efficiency were confirmed to decrease the air exchange rate and accumulation of high radon concentrations indoors. Despite of recommendations to use mechanical ventilation with heat recovery as the main scenario for reducing elevated radon concentrations in energy-efficient buildings, the use of such systems did not show an obvious advantage. In real situation, mechanical ventilation system is not used properly both in the automatic and manual mode, which does not give an obvious advantage over the natural ventilation in the climate of the Middle Urals in Ekaterinburg.

Key words: radon, energy efficiency, protection.

References

1. Prez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*. 2008; 40: 394–398.
2. Milner J, Shrubsole C, Das P, Jones B, Ridley I, Chalabi Z, Hamilton I, Armstrong B, Davies M, Wilkinson P. Home energy efficiency and radon related risk of lung cancer: modelling study. *BMJ*. 2014; 348: 1–12.
3. Santos Hugo RR, Leal Vitor MS. Energy vs. ventilation rate in buildings: A comprehensive scenario-based assessment in the European context. *Energy and Buildings*. 2012; 54: 111–121.
4. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios J M, Baysson H [et al.] Radon in homes and lung cancer risk: a collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. 2005; 330: 223–227.
5. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M [et al.] Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of seven North American case-control studies. *Epidemiology*. 2005; 16: 137–145.
6. Yarmoshenko I.V. Radon as a factor of the exposure of the Russian population. *Biosfernaya sovmetimost: chelovek, region, tehnologii = Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2017, Vol. 2 (18), pp. 108–116. (In Russian).
7. Yarmoshenko I, Onishchenko A, Zhukovsky M. Establishing a regional reference indoor radon level on the basis of radon survey data. *J Radiol Prot*. 2013; 33: 329–338.
8. Vasilyev A.V., Yarmoshenko I.V., Zhukovsky M.V. Radon safety of the modern multi-storey buildings, *Biosfernaya sovmetimost: chelovek, region, tehnologii = Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2014, Vol. 3(7), pp. 19–25. (In Russian).
9. Vasilyev A, Yarmoshenko I, Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia. *Rad Prot Dosim*. 2016; 174: 419–422.
10. Yarmoshenko I, Vasilyev A, Onishchenko A, Kiselev S, Zhukovsky M. Indoor radon problem in energy efficient multi-storey buildings. *Radiat Prot Dosim*. 2014; 160: 53–55.
11. Collignan B, Lorkowski C, Améon R. Development of a methodology to characterize radon entry in dwellings. *Building and Environ*. 2012; 57: 176–183.

Received: February 13, 2018

For correspondence: Aleksey V. Vasilyev – Candidate of Technical Science, Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Sofia Kovalevskaya Str., 20, Ekaterinburg, 620219, Russia ; Email: vav@ecko.uran.ru)

Ilya V. Yarmoshenko – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Deputy Director, Senior Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Mikhail V. Zhukovsky – Doctor of Technical Science, Professor, Director, Chief Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

For citation: Vasilyev A.V., Yarmoshenko I.V., Zhukovsky M.V. Radon safety of modern multi-storey buildings with different energy efficiency classes. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No 1, pp. 80–84. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-80-84.

Aleksey V. Vasilyev

Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Address for correspondence: Sofia Kovalevskaya Str., 20, Ekaterinburg, 620219, Russia; Email: vav@ecko.uran.ru

Потенциально возможные дозы облучения населения за счет потребления минеральной природной лечебной воды

М.В. Кадука¹, Л.Н. Басалаева¹, Т.А. Бекашева¹, С.А. Иванов¹, Н.В. Салазкина¹, В.В. Ступина¹,
А.Н. Кадука²

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский противотуберкулезный диспансер № 3, Санкт-Петербург, Россия

Минеральные природные столовые, лечебно-столовые и лечебные воды обычно характеризуются повышенной минерализацией, так что их годовое потребление для питья и приготовления пищи значительно ниже стандартного водопотребления взрослого населения. Ограничение облучения населения за счет потребления минеральных природных столовых и лечебно-столовых вод может достигаться введением ограничений на их потребление. Цель исследования – провести оценку потенциально возможных доз облучения населения за счет потребления минеральной природной лечебной воды на примере воды, которая используется для питьевой терапии в комплексе санаторно-курортного лечения пациентов в одном из санаториев г. Санкт-Петербурга. Данные о величинах удельной активности радионуклидов в минеральной лечебной воде, которые использовали для оценки доз облучения пациентов этого санатория за счет ее потребления, были получены в результате радиохимического анализа, проведенного по методикам, разработанным в институте радиационной гигиены. Полученные результаты исследования и их анализ показали, что потенциально возможные максимальные годовые эффективные дозы облучения пациентов за счет применения природной минеральной лечебной воды для питьевой терапии в комплексе санаторно-курортного лечения заведомо не превысят рекомендованный ВОЗ референтный дозовый уровень 0,1 мЗв/год вследствие малых назначаемых врачом доз потребления воды. Поскольку минеральные лечебные воды принимаются по назначению врача в ограниченном количестве и их прием связан с лечебными свойствами этих вод, то очевидно, что вводить ограничения на содержание природных радионуклидов в минеральных лечебных водах нецелесообразно. При назначении курсов лечения с использованием минеральных лечебных вод должен применяться принцип обоснования назначения процедур путем сопоставления терапевтических (лечебных) выгод, которые они приносят, с радиационным ущербом для здоровья, который может причинить облучение. При обосновании лечебных процедур перед их назначением необходимо выполнить оценку эффективных доз внутреннего облучения разных возрастных групп населения при использовании минеральных природных лечебных вод.

Ключевые слова: минеральная природная лечебная вода, природные радионуклиды, радиохимический анализ, уровни вмешательства, условие соответствия воды требованиям радиационной безопасности, дозы облучения населения.

Введение

При установлении требований к показателям радиационной безопасности воды источников питьевого водоснабжения населения в НРБ-99/2009¹ минеральные природные воды выделены в отдельную категорию вод, требующую специального рассмотрения. Различные подходы по установлению требований к показателям

радиационной безопасности воды источников питьевого водоснабжения населения и к минеральным природным водам используются и в странах Евросоюза [1]. Показателем соответствия воды требованиям радиационной безопасности является сумма отношений удельных активностей выделенных радионуклидов к соответствующим уровням вмешательства.

¹ СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009 [Sanitary Rules and Norms 2.6.1.2523-09 "Radiation Safety Standard. NRB 99/2009"]

Кадука Марина Валерьевна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: kaduka@mail.ru

Если величина суммы отношений удельных активностей радионуклидов к соответствующим уровням вмешательства не превышает 1 ($\Sigma(A_i/U_{Bi}) \leq 1,0$, условие 1), то в соответствии с п. 5.3.5 НРБ-99/2009¹ мероприятия по снижению радиоактивности питьевой воды не являются обязательными. При невыполнении условия (1) рассматривается вопрос о целесообразности разработки и осуществления защитных мероприятий с учетом принципа оптимизации, согласно п. 5.3.5 НРБ-99/2009¹ и п. 5. МУ 2.6.1.2719-10². Если при совместном присутствии в воде действующих источников питьевого водоснабжения нескольких природных радионуклидов условие 1 превышено не более чем в 10 раз (условие 2), то вода признается соответствующей требованиям радиационной безопасности при обязательном установлении производственного контроля за содержанием основных радионуклидов в воде (п. 13. МУ 2.6.1.2719-10², п. 4.3.4. – 4.3.9. СанПиН 2.6.1.2800-10³). При этом рассматриваются возможные способы снижения удельной активности отдельных радионуклидов в воде и принимается решение о целесообразности осуществления защитных мероприятий, направленных на уменьшение содержания радионуклидов в питьевой воде согласно СанПиН 2.6.1.2800-10³.

При этом необходимо учитывать, что любая корректировка состава минеральных вод, в том числе направленная на снижение содержания радионуклидов в воде, одновременно приводит к изменению ее минерального и химического состава, а также других свойств и, неизбежно, – к снижению потребительских и бальнеологических характеристик воды [2]. Кроме того, минеральные природные столовые, лечебно-столовые и лечебные воды обычно характеризуются повышенной минерализацией [2–4], так что их годовое потребление для питья и приготовления пищи значительно ниже стандартного водопотребления взрослого населения, принимаемого как 730 кг за год согласно НРБ-99/2009¹. Поэтому ограничение облучения населения за счет потребления минеральных природных столовых и лечебно-столовых вод может достигаться введением ограничений на их потребление.

Радиационно-гигиеническая оценка минеральных природных вод с выраженным лечебным эффектом, которые применяются только по назначению или под наблюдением врача, должна осуществляться с учетом количества воды на курс лечения (Рекомендации⁴). Поскольку минеральные лечебные воды принимаются по назначению врача и в ограниченном количестве и их прием связан с лечебными свойствами этих вод, то очевидно, что вводить ограничения на содержание природных радионуклидов в минеральных лечебных водах нецелесообразно. При назначении курсов лечения с использованием минеральных лечебных вод должен применяться принцип обоснования назначения процедур путем сопоставления терапевтических (лечебных) выгод, которые они приносят, с радиационным ущербом для здоровья, который может причинить облучение. При обосновании лечебных процедур перед их назначением необходимо выполнить оценку эффективных доз внутреннего облучения разных возрастных групп населения при использовании минеральных природных лечебных вод [2].

Цель исследования – провести оценку потенциально возможных доз облучения населения за счет потребления минеральной природной лечебной воды.

Материалы и методы

Объектом в данной работе является природная минеральная лечебная вода, которая используется для питьевой терапии в комплексе санаторно-курортного лечения пациентов в одном из санаториев г. Санкт-Петербурга (далее – Санаторий). Вода для питьевой терапии используется непосредственно из скважины без физической обработки. Данные о величинах удельной активности радионуклидов в минеральной лечебной воде, добываемой из артезианской скважины, расположенной на территории Санатория и используемой для питьевой терапии, были получены в результате радиохимического анализа отобранных из нее проб воды по методикам, разработанным в институте: МР 2.6.1.0064-12⁵, МВИ № 1212/07, МВИ № 1058/07 [5-6].

¹ СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009 [Sanitary Rules and Norms 2.6.1.2523-09 "Radiation Safety Standard. NRB 99/2009"]

² Методические указания МУ 2.6.1.2719-10. Изменение 1 к МУ 2.6.1.1981-05 «Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов» [Methodical Instructions MI 2.6.1.2719-10. Changing 1 to MI 2.6.1.1981-05 "Radiation control and hygienic assessment of drinking water supplies and drinking water concerning the indexes of radiation protection. Optimization of protective measures applied to drinking water with enhanced radionuclides content supplies"]

³ СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения» [Sanitary Rules and Norms 2.6.1.2800-10 "Hygienic requirements to limitation of population exposure from natural ionizing irradiation sources"]

⁴ Рекомендации по контролю и санитарно-эпидемиологической оценке минеральной природной воды по показателям радиационной безопасности. Приложение к письму Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 21 августа 2006 г. N 0100/9009-06-32 "О радиационном контроле за питьевой и минеральной водой" [Recommendations for control and sanitary-epidemiological assessment on mineral natural water concerning the indexes of radiation protection. Annex to the letter of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights protection and Human Well-being dated August 21, 2006 N 0100/9009-06-32 "On drinking and mineral water radiation control"]

⁵ Методические рекомендации МР 2.6.1.0064-12 «Радиационный контроль питьевой воды методами радиохимического анализа», 63 с. [Methodical Recommendations MR 2.6.1.0064-12 "Radiation control of the drinking water using radiochemical analysis methodics". Moscow, Rospotrebnadzor, 63 p.]

Результаты и обсуждение

В период с 2003 по 2017 г. (включительно) был осуществлен анализ 19 проб природной минеральной лечебной воды, добываемой из артезианской скважины, расположенной на территории Санатория и используемой для питьевой терапии в комплексе санаторно-курортного лечения пациентов. В 16 отобранных пробах были определены величины удельной суммарной альфа- и бета-активности (A_α и A_β) и удельной активности ^{40}K , в 3 пробах - величины A_α и A_β и удельной активности природных радионуклидов ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{234}U , ^{40}K , ^{222}Rn , а также рассчитан показатель соответствия воды требованиям радиационной безопасности: $\Sigma(A_i/U_{Bi})$. Максимальная неопределенность измерения показателей не превышала 50%. Полученные величины удельной суммарной альфа- и бета-активности и удельной активности ^{40}K в воде обследованной скважины, представлены в таблице 1.

Минерализация проанализированных проб минеральной природной лечебной воды варьировала от 0,67

до 1,6 г/л при среднем значении 1,1 г/л. Наблюдалось стабильное превышение критерия предварительной оценки воды требованиям радиационной безопасности по A_α . Для 68% проб было обнаружено превышение по измеренному значению A_β . При этом для всех проб воды значение A_β за вычетом значения удельной активности ^{40}K (содержание в воде не нормируется) оказалось меньше 1,0 Бк/кг, таким образом, согласно п. 4.3.6. СанПиН 2.6.1.2800-10³, не превысило критерий предварительной оценки соответствия воды требованиям радиационной безопасности по удельной суммарной бета-активности.

Результаты анализа изотопного состава проб воды из артезианской скважины Санатория, выполненных в 2003 г., 2007 г. и 2010 г., приведены в таблице 2.

Как показывают данные, приведенные в таблице 2, для воды из обследованной скважины наблюдается стабильное превышение уровней вмешательства, установленных НРБ-99/2009 для ^{226}Ra , ^{228}Ra (в 2003 г. – с учетом

Таблица 1

Удельная суммарная активность радионуклидов (альфа-активность A_α , бета-активность A_β) и удельная активность ^{40}K в пробах минеральной природной лечебной воды из скважины Санатория, Бк/кг

[Table 1]

Gross specific activity (gross-alpha A_α , gross-beta A_β) and specific activity of ^{40}K in the samples of mineral natural medical water from the Sanatorium groundwater supply, Bq/kg

Определяемый показатель [Defined index]	Число проб [Number of samples]	Среднее значение [Mean value]	Диапазон значений [Range of the values]	Гигиенический критерий* [Hygienic criteria]
A_α	19	3,6	0,90 – 5,6	0,2
A_β	19	1,2	0,55 – 2,1	1,0
^{40}K	19	0,94	0,46 – 1,4	-

* Приведены значения контрольных уровней в соответствии с пунктом 5.3.5. НРБ 99/2009¹ [The control levels are provided according to paragraph 5.3.5 of the Radiation Safety Standard NRB 99/2009¹]

Таблица 2

Удельная активность природных радионуклидов в пробах воды из артезианской скважины Санатория, Бк/кг

[Table 2]

[Specific activity of natural radionuclides in the water samples from the Sanatorium groundwater supply, Bq/kg]

Определяемый показатель [Defined index]	Год исследования [The year of investigation]			Среднее значение* [Mean value]	КУ, УВ** [CL, GL]
	2003	2007	2010		
^{226}Ra	3,08±0,92	3,24±0,97	3,09±0,62	3,137±0,05	0,49
^{224}Ra	<0,002	0,14±0,04	<0,002	0,048±0,08	2,1
^{228}Ra	0,20±0,06	0,21±0,06	0,27±0,05	0,227±0,02	0,20
^{210}Pb	0,012±0,004	0,008±0,003	0,004±0,002	0,008±0,002	0,20
^{210}Po	0,004±0,002	<0,002	<0,002	0,003±0,001	0,11
^{238}U	0,014±0,004	0,006±0,003	0,016±0,005	0,012±0,003	3,0
^{234}U	0,018±0,005	0,009±0,004	0,022±0,007	0,016±0,004	2,8
^{222}Rn	67±20	65±20	62±19	65±1,5	60
$\Sigma A_i/U_{Bi}$	8,51±1,93	8,88±2,03	8,74±1,33	8,71±0,11	1

* Приведены средние значения и значения стандартной ошибки средней величины [The mean values and standard error of mean value are provided].

** Приведены значения КУ в соответствии с пунктом 5.3.5. НРБ 99/2009 и УВ в соответствии с Приложением 2а НРБ 99/2009¹ [The control levels are provided according to paragraph 5.3.5; guidance levels – according to the Annex 2a of the Radiation Safety Standard NRB 99/2009¹].

неопределенности измерений по МУ 2.6.1.1981-05⁶) и ^{222}Rn . Диапазон значений величины $\Sigma(\text{Ai}/\text{YBi})$ составил 8,51–8,88, при среднем значении 8,71. При этом значение величины $\Sigma(\text{Ai}/\text{YBi})$ с учетом неопределенности измерений по МУ 2.6.1.1981-05 (консервативный подход) составило 10,44 в 2003 г., 10,91 в 2007 г. и 10,07 в 2010 г. Соответственно, для всех исследованных проб значение величины $\Sigma(\text{Ai}/\text{YBi})$ превысило условие (2), согласно которому вода признается соответствующей требованиям радиационной безопасности при обязательном установлении производственного контроля за содержанием основных радионуклидов в воде (МУ 2.6.1.2719-10², СанПиН 2.6.1.2800-10³).

При этом вода из обследованной скважины обладает выраженным лечебным эффектом и используется для питьевой терапии в комплексе санаторно-курортного лечения пациентов Санатория под наблюдением медицинского персонала и по назначению лечащего врача. В таком случае, согласно Рекомендациям⁴ вопрос об использовании таких вод решается с учетом ожидаемых доз облучения при потреблении воды и значений других показателей ее безопасности с учетом количества воды на курс лечения.

Оценка доз облучения пациентов Санатория была проведена с учетом того, что для питьевой терапии в

комплексе санаторно-курортного лечения назначаются следующие дозы воды из обследованной скважины:

- разовая доза – 0,1 кг;
- суточная доза – 0,3 кг;
- доза на максимальный курс лечения (21 день) – 6,3 кг;
- доза на минимальный курс лечения (7 дней) – 2,1 кг.

При оценке доз облучения пациентов исходили из того, что потенциально возможные максимальные годовые эффективные дозы облучения пациентов будут достигнуты в случае прохождения лечения 2 раза в год с потреблением воды из обследованной скважины в течение 42 дней за год. Максимально возможное потребление воды в этом случае составит 12,6 кг за год. Предполагалось, что среднегодовое содержание природных радионуклидов в воде из обследованной скважины соответствует их максимальным измеренным значениям с учетом неопределенности измерений, которые приняты по данным, приведенным в таблице 2.

В таблице 3 приведены оценочные значения средних годовых эффективных доз (СГЭД) облучения пациентов за счет потребления воды из указанной скважины при минимальном курсе питьевой терапии, максимальном курсе питьевой терапии и максимальном курсе питьевой терапии для случая прохождения санаторно-курортного лече-

Таблица 3

Средние годовые эффективные дозы (СГЭД) внутреннего облучения пациентов за счет потребления воды из обследованной скважины

[Table 3]

Annual average effective internal exposure doses (AAEID) of patients due to consumption of the water from investigated groundwater supply

Нуклид [Nuclide]	Удельная активность Бк/кг*) [Specific activity, Bq/kg]	Дозовый коэффициент, мкЗв/Бк [Dose coefficient, μSv/Bq]	СГЭД, мЗв/год [AAEID, mSv/year]		
			Пациенты при курсе [For patients, using treatment course]		Максимальный курс (42 дня) [Maximal treatment course, 42 days]
			7 дней [7 days]	21 день [21 day]	
^{226}Ra	4,21	0,280	0,0025	0,0075	0,015
^{224}Ra	0,18	0,065	0,000025	0,000075	0,00015
^{228}Ra	0,32	0,690	0,00047	0,00141	0,00282
^{210}Po	0,006	1,200	0,000016	0,000048	0,000096
^{210}Pb	0,016	0,690	0,000023	0,000069	0,000138
^{238}U	0,021	0,045	0,000002	0,000006	0,000012
^{234}U	0,029	0,049	0,000003	0,000009	0,000018
^{222}Rn	87	**))	0,00042	0,00126	0,00252
Всего за счет природных радионуклидов в воде [Total from natural radionuclides in water]			0,0035	0,0104	0,0208

* Значения удельной активности радионуклидов приведены с учетом неопределенности измерений [The values of radionuclide specific activity are provided with considering of measurement uncertainty]

** Оценка вклада ^{222}Rn , содержащегося в воде из скважины, в дозу облучения пациентов выполнена для критического пути облучения за счет радона, содержащегося в воде (п. 5.3.5 НРБ-99/2009') [Estimation of ^{222}Rn containing in the water from groundwater supply contribution in the patients exposure doses was carried out for the critical path of exposure according to paragraph 5.3.5 NRB 99/2009']

⁶ Методические указания МУ 2.6.1.1981-05. Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов [Methodical Instructions MI 2.6.1.1981-05 "Radiation control and hygienic assessment of drinking water supplies and drinking water concerning the indexes of radiation protection. Optimization of protective measures applied to drinking water with enhanced radionuclides content supplies"]

ния 2 раза в течение одного года. Консервативная оценка доз, с учетом ошибки измерений, выполнена в соответствии с МУ 2.6.1.1981-05⁶.

Основной вклад (более 97%) в дозу облучения пациентов за счет потребления воды из обследованной скважины, которая используется для питьевой терапии в комплексе санаторно-курортного лечения в Санатории, вносят три природных радионуклида: ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{222}Rn .

Как следует из полученных данных, наиболее вероятная оценка максимальных годовых эффективных доз облучения пациентов за счет природных радионуклидов в воде обследованной скважины, которая используется для питьевой терапии в комплексе санаторно-курортного лечения пациентов Санатория, не превысит 0,0035 мЗв/год и 0,0104 мЗв/год при продолжительности лечения 7 дней и 21 день соответственно. Наиболее вероятная оценка максимальных годовых эффективных доз облучения пациентов Санатория (в случае прохождения лечения 2 раза в год с потреблением воды из обследованной скважины в течение 42 дней за год) за счет природных радионуклидов в воде скважины не превысит 0,021 мЗв/год.

Результаты проведенных исследований и их анализ доказывают, что в случае применения воды для питьевой терапии в условиях нахождения пациента на лечении в Санатории, дозы облучения пациентов за счет потребления лечебной минеральной воды не превысят (с пятикратным запасом) рекомендованный ВОЗ референтный дозовый уровень 0,1 мЗв/год [7] даже для гипотетического (маловероятного) случая пребывания пациента в санатории 42 дня в году, несмотря на то, что значение величины $\Sigma(A_i/YBi)$ для воды обследованной скважины превышает условие (2).

При сроке пребывания пациентов Санатория с потреблением воды из обследованной скважины менее чем 200 дней за год и при условии соблюдения заявленной суточной дозы потребления 0,3 кг, всего 60 кг за год (что, вероятнее всего, и будет выполняться для абсолютного большинства пациентов), величины максимально возможных доз облучения за счет потребления воды из обследованной скважины не превысят 0,1 мЗв/год.

С учетом вышеизложенного и основываясь на положениях Рекомендаций⁴, согласно которым вопрос об использовании минеральных природных вод с выраженным лечебным эффектом, которые применяются только по назначению врача, должен решаться с учетом ожидаемых доз облучения пациентов при потреблении воды с учетом количества воды на курс лечения, минеральная природная вода из обследованной скважины может быть признана соответствующей требованиям радиационной безопасности. При этом должен обязательно проводиться производственный контроль за содержанием основных дозообразующих радионуклидов в воде. Требования к производственному контролю за содержанием радионуклидов в минеральных природных водах должны устанавливаться в соответствии с положениями МУ 2.6.1.2719-10² и СанПиН 2.6.1.2800-10³.

Выводы

1. Для минеральных природных лечебных вод, обычно характеризующихся высокой степенью минерализации, следует ожидать стабильное превышение критерия предварительной оценки воды требованиям радиацион-

ной безопасности по A_α . Превышение критерия предварительной оценки воды требованиям радиационной безопасности по A_β может быть обусловлено присутствием ^{40}K , содержание которого в воде не нормируется.

2. Минеральные природные лечебные воды могут характеризоваться стабильным превышением уровней вмешательства для отдельных радионуклидов, установленных НРБ-99/2009, и, соответственно, несоблюдением условия соответствия воды требованиям радиационной безопасности (условие 1).

3. Для минеральных природных лечебных вод можно ожидать превышение условия (2), согласно которому вода признается соответствующей требованиям радиационной безопасности при обязательном установлении производственного контроля за содержанием основных радионуклидов в воде. Однако для природных минеральных лечебных вод нецелесообразно разрабатывать и осуществлять защитные мероприятия, направленные на уменьшение содержания радионуклидов в воде, так как это может привести к изменению их минерального и химического состава, что приведет к изменению свойств и характеристик минеральной воды, а следовательно и лечебных эффектов.

4. Поскольку минеральные лечебные воды принимаются по назначению врача и в ограниченном количестве и их прием связан с лечебными свойствами этих вод, то очевидно, что вводить ограничения на содержание природных радионуклидов в минеральных лечебных водах нецелесообразно.

5. При назначении курсов лечения с использованием минеральных лечебных вод должен применяться принцип обоснования назначения процедур путем сопоставления терапевтических (лечебных) выгод, которые они приносят, с радиационным ущербом для здоровья, который может причинить облучение.

6. При обосновании лечебных процедур перед их назначением необходимо выполнить оценку эффективных доз внутреннего облучения разных возрастных групп населения при использовании минеральных природных лечебных вод.

7. Вероятнее всего, дозы облучения пациентов за счет использования природной минеральной лечебной воды для питьевой терапии в комплексе санаторно-курортного лечения не превысят рекомендованный ВОЗ референтный дозовый уровень 0,1 мЗв/год, вследствие малых (обычно не более 300 мл в день) назначаемых врачом доз потребления воды.

Литература

1. Директива Европейского парламента и Совета от 18 июня 2009 г. по добыче и размещению в торговой сети природных минеральных вод. 2009/54/ЕС. - Комиссия ЕС, 2009. - 14 с.
2. Стамат, И.П. О нормировании показателей радиационной безопасности минеральных природных вод / И.П. Стамат, В.В. Ступина // Радиационная гигиена. - 2014. - Т.7 №2. - С. 30-36.
3. Стамат, И.П. Особенности организации и осуществления производственного контроля показателей радиационной безопасности минеральных природных питьевых столовых и лечебно-столовых вод / И.П. Стамат, М.В. Кадука; под ред. д.м.н. С.А. Горбанева, проф. д.м.н. К.Б. Фридмана // Матер. межрегиональной науч.-практ. конф. Северо-Западного Федерального округа «Чистая

- вода – здоровый город. Гигиенические проблемы питьевого водоснабжения Северо-Запада». – СПб.: Книжный формат, 2016. – С. 34-39.
4. Кадука, М.В. Гигиеническая диагностика радиационных показателей минеральной воды Санкт-Петербурга и Ленинградской области в современных условиях / М.В. Кадука, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекашева, С.А. Иванов, Н.В. Салазкина, А.Н. Кадука; под общ. ред. д.м.н., профессора М.П. Захарченко // Сб. матер. 13-й Евразийской науч. конф. Донозология-2017 на тему «Проблемы гигиенической донозологической диагностики и первичной профилактики заболеваний в современных условиях», 14-15 декабря 2017 г. – СПб.: Крисмас+, 2017. – С. 239-242.
 5. Методика выполнения измерений удельной активности радионуклидов ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr и суммарной удельной активности альфа-, бета-излучающих радионуклидов в воде с применением альфа-бета радиометра и альфа-спектрометра. Свидетельство ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» Федерального государственного агентства по техническому регулированию и метрологии № 1212/07 от 26 октября 2007 г. – 42 с.
 6. Методика выполнения измерений. Удельная активность радона-222 в воде. Свидетельство ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» Федерального государственного агентства по техническому регулированию и метрологии № 1058/07 от 18.10.2007 г., 13 с.
 7. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. 1: 4rd ed. ISBN 978 92 4 154815 1. Geneva, 2011, pp. 203-217.

Received: February 12, 2018

Кадука Марина Валерьевна – заведующая радиохимической лабораторией Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, дом 8; E-mail: kaduka@mail.ru

Басалаева Лариса Николаевна – старший научный сотрудник радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Бекашева Тамара Анатольевна – ведущий инженер-исследователь радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Иванов Сергей Анатольевич – младший научный сотрудник радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Салазкина Нина Викторовна – ведущий инженер-исследователь радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Ступина Вероника Вячеславовна – ведущий инженер-исследователь радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Кадука Александра Николаевна – врач-фтизиатр участковый Санкт-Петербургского противотуберкулезного диспансера № 3, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Кадука М.В., Басалаева Л.Н., Бекашева Т.А., Иванов С.А., Салазкина Н.В., Ступина В.В., Кадука А.Н. Потенциально возможные дозы облучения населения за счет потребления минеральной природной лечебной воды // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 85-92. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-85-92_

Potentially possible population exposure doses due to mineral natural medical water consumption

Marina V. Kaduka¹, Larisa N. Basalaeva¹, Tamara A. Bekyasheva¹, Sergey A. Ivanov¹, Nina V. Salazkina¹,
Veronika V. Stupina¹, Aleksandra N. Kaduka²

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg Tuberculosis Treatment Center №3, Saint-Petersburg, Russia

Mineral natural table, medical-table and medical water is usually characterized by enhanced mineralization, so annual consumption of such water for drinking and cooking is much lower than standard water consumption of adult population. The limitation of population exposure due to mineral natural table and medical-table water could be achieved by the implementation of limitation of their consumption. The aim of the investigation is to estimate potentially possible population exposure doses from mineral natural medical water consumption on an example of the water which is used for drinking therapy in the complex of sanatorium health resort treatment of patients in one of the sanatoriums of Saint-Petersburg. The data on mineral medical water radionuclides specific activity values used for patients exposure doses estimation was obtained during implemented radiochemical analysis carried out using the techniques developed in the Institute of Radiation Hygiene. Obtained results of the investigations and their analysis demonstrated that potentially possible patients' maximal annual effective exposure doses due to implementation of mineral natural medical water for drinking therapy in the complex of sanatorium health resort treatment will not exceed definitely the reference dose level, recommended by WHO, equal to 0.1 mSv/year because of a low amount of water consumption prescribed by a physician. It is clear unreasonable to set limitations on natural radionuclides content in mineral medical water because patients take it as a medicine according to physician prescribing and the consumption of such water is connected with their therapy properties. Principle of justification of the procedures appointment has to be applied when the course of mineral medical water treatment is prescribed. The essence of the principle is to compare therapy (medical) benefits as a result of treatment with the damage to health as a result of radiation exposure. It is necessary to estimate the effective internal exposure doses due to mineral natural medical water consumption for different age groups of population for the process of justification of therapy procedures.

Key words: mineral natural medical water, natural radionuclide, radiochemical analysis, guidance levels, the index of conformance of the water to the requirements of the radiation safety, population exposure doses.

References

1. Directive 2009/54/EC of the European Parliament and of the Council of 18 June 2009 on the exploitation and marketing of natural mineral waters. European commission, 2009, 14 p.
2. Stamat I.P., Stupina V.V. On standardization of radiation protection indexes of natural mineral waters. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2014;7(2):30-36. (In Russian).
3. Stamat I.P., Kaduka M.V. Peculiarities of organization and implementation of required control of mineral natural drinking table and medical-table water concerning radiation protection indexes. Materials of interregional scientific-practical conference of North-Western Federal Region «Pure water – healthy city. Hygienic problems of drinking water service of North-Western Region». Edited by doctor of medical sciences Gorbanev S.A., professor Fridman K.B. Saint-Petersburg, Book format, 2016, pp. 34-39. (In Russian).
4. Kaduka M.V., Basalaeva L.N., Bekyasheva T.A., Ivanov S.A., Salazkina N.V., Kaduka A.N. Hygienic characteristics of the radiation indicators of the mineral water in St-Petersburg and Leningrad region in modern conditions. Proceedings of the 13th Eurasian scientific conference Prenozone - 2017 «Problems of hygienic prenozone diagnostics and primordial prevention of the diseases in modern conditions» 14-15 December 2017. Edited by professor Zaharchenko M.P. St-Petersburg: Krismas+, 2017, pp. 239-242. (In Russian).
5. Procedure of measurements of the specific activities of ²³⁸U, ²³⁴U, ²³²Th, ²³⁰Th, ²²⁸Th, ²²⁸Ra, ²²⁶Ra, ²²⁴Ra, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr radionuclides and gross activity of alpha, beta-emitting radionuclides in water using alpha-beta radiometer and alpha-spectrometer. Certificate of FGUP «D.I. Mendeleyev Institute for Metrology» № 1212/07 from 26.10.2007, 42 p. (In Russian).
6. Procedure of measurements of the specific activity of radon-222 in water. Certificate of FGUP «D.I. Mendeleyev Institute for Metrology» № 1058/07 from 18.10.2007, 13 p. (In Russian).
7. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. 1: 4rd ed. ISBN 978 92 4 154815 1. Geneva, 2011, pp. 203-217.

Received: February 12, 2018

Marina V. Kaduka

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: kaduka@mail.ru

For correspondence: Marina V. Kaduka – Head of Radiochemical Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: kaduka@mail.ru)

Larisa N. Basalaeva – Senior Scientist, Radiochemical Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Tamara A. Bekyasheva – Leading Engineer-researcher, Radiochemical Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Sergey A. Ivanov – Junior Scientist, Radiochemical Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Nina V. Salazkina – Leading Engineer-researcher, Radiochemical Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Veronika V. Stupina – Leading Engineer-researcher, Radiochemical Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Aleksandra N. Kaduka – Phthisiatritian, St-Petersburg Tuberculosis Treatment Center № 3, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Kaduka M.V., Basalaeva L.N., Bekyasheva T.A., Ivanov S.A., Salazkina N.V., Stupina V.V., Kaduka A.N. Potentially possible population exposure doses due to consumption of natural mineral medical water. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 85-94. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-85-92

Estimation of the conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for adult patients

Aleksandr V. Vodovатов¹, Vladislav Yu. Golikov¹,
Irina G. Kamyshanskaya^{2,3}, Kseniya V. Zinkevich³, Christian Bernhardtsson⁴

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, St-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg state University, Department of Oncology, St-Petersburg, Russia

³ Urban Mariinsky hospital, St-Petersburg, Russia

⁴ Medical Radiation Physics, Department of Translational Medicine, Lund University, Skåne University Hospital, Malmö, Sweden

Fluoroscopic examinations of the upper gastro-intestinal tract and, especially, barium meal examinations, are commonly performed in a majority of hospitals. These examinations are associated both with substantial individual patient doses and contribution to the collective dose from medical exposure. Effective dose estimation for this type of examinations is complicated due to: 1) the necessity to simulate the moving X-ray irradiation field; 2) differences in study structure for the individual patients; 3) subjectivity of the operators; and 4) differences in the X-ray equipment. The aim of the current study was to estimate conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for the over couch and under couch exposure conditions. The study was based on data collected in the X-ray unit of the surgical department of the St-Petersburg Mariinsky hospital. A model of patient exposure during barium meal examination was developed based on the collected data on fluoroscopy protocols and adult patient irradiation geometry. Conversion coefficients were calculated using PCXMC 2.0 software. Complete examinations were converted into a set of typical fluoroscopy phases and X-ray images, specified by the examined anatomical region and the projection of patient exposure. Conversion coefficients from dose-area product to effective dose were calculated for each phase of the examination and for the complete examination. The resulting values of the conversion coefficients are comparable with published data. Variations in the absolute values of the conversion coefficients can be explained by differences in clinical protocols, models for the estimation of the effective dose and parameters of barium meal examinations. The proposed approach for estimation of effective dose considers such important features of fluoroscopic examinations as: 1) non-uniform structure of examination, 2) significant movement of the X-ray tube within a single fluoroscopic phase, and 3) the variety of exposure geometries within complete examination.

Key words: barium meal, fluoroscopy, effective dose, conversion coefficients.

Fluoroscopic examinations contribute significantly to the collective dose from medical exposure, both in Russia (7% in 2015) [1] and European countries (2–50%) [2]. The examinations of the upper gastrointestinal tract (UGIT) with barium contrast (barium meal, BM) are among the most common fluoroscopic examinations. These examinations are performed in a majority of hospitals both for adult and pediatric patients, corresponding to 38% contribution to the collective dose from fluoroscopic examinations in Russia [1]. Hence, it is important to justify and optimize fluoroscopic examinations. Besides that, according to the Russian Federal State law №3-FZ “On Radiation Safety of the Public”¹, each patient should be informed about the dose and possible consequences

(radiation detriment) from the medical exposure. That is fulfilled by using the effective dose (E, mSv). For the medical exposure of the patients, E is commonly calculated using a dedicated software (PCXMC 2.0, CALDoseX, EDEREX, etc) based on the measurable dose quantity: dose-area product (DAP, cGy×cm²).

However, for the fluoroscopic examinations, the process of effective dose calculation is complicated due to necessity to simulate the moving X-ray irradiation field. Modelling of the irradiation for different anatomical regions in different projections can be influenced by variability of the conversion coefficients (CCs)² from dose-area product to effective dose within a single fluoroscopic examination. It complicates the

¹ Russian Federal State law №3-FZ “On Radiation Safety of the Public”. 09.01.1996, (1996). Available from (in Russian): <http://kremlin.ru/acts/bank/8724> Accessed 10.02.2018.

² A conversion coefficient relates the protection unmeasurable quantity (effective dose) to a measurable quantity characterizing a radiation field (dose-area product). The dimension is $\mu\text{Sv}\times\text{cGy}^{-1}\times\text{cm}^{-2}$.

Aleksandr V. Vodovатов

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com

Introduction

estimation of a single CC for the fluoroscopic examination. A common practice is to simplify the fluoroscopy assuming that the patient was irradiated only in one projection [3], or in several projections, but only for a single anatomic region [4]. Additionally, only a limited set of CCs is currently available for certain exposure conditions [4, 5]. Hence, using the existing CCs may lead to an incorrect estimation of the effective dose.

In Russian practice, CCs from DAP to E for BM examinations are presented in Methodical Guidelines "Assessment of effective dose to the patients undergoing X-ray examinations"³. They are provided only for posterior-anterior (PA) projection, corresponding to the under couch position of the X-ray tube. However, in present time, more than 60% of the fluoroscopy X-ray units in Russia are remotely controlled, with the standard over couch position of the X-ray tube (see Figure 1).

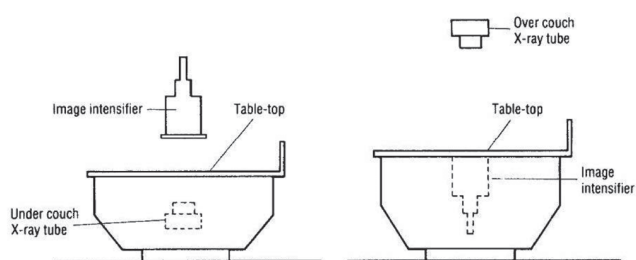


Fig. 1. Comparison of the over couch and under couch X-ray unit designs [6]

Hence, it is necessary to update the existing CCs, since they do not reflect the actual exposure conditions of the patients.

The aim of the current study was to estimate conversion coefficients from DAP to E for the BM examinations based on data collection in a typical general practice hospital in St-Petersburg, Russia. That required the evaluation of the structure of the selected fluoroscopic examinations, to collect the relevant parameters of the examinations, to develop a model of patient exposure and to calculate CCs using the PCXMC 2.0 software [7].

Materials and methods

Data collection

Data for the effective dose estimation was collected in the X-ray room belonging to surgical department in St-Petersburg "Urban Mariinsky hospital" for a sample of patients undergone BM examinations (40 patients in 2016–2017). Data on age and anthropometric characteristics of the patients is presented in Table 1.

The BM examinations were performed on the digital KRT-Electron (JSC "NIPK "Electron", Russia) X-ray unit. The KRT-Electron is a remotely guided X-ray unit with the over-couch X-ray tube and a 12' CCD-matrix detector, commonly used for fluoroscopic examinations. The following settings were used: focal-image distance 115 cm; total filtration of 5 mm

Al with anti-scatter grid: 110 lines/inch, R=13:1, F = 180 cm. Imaging was performed using default vendor protocols with automated brightness control (ABC) without the digital image intensification. The X-ray unit was equipped with the DRK-1 clinical dosimeter (NPP "DOZA", Russia), calibrated using a reference ionization chamber prior to the study.

Table 1

Data on anthropometric characteristics for the pulled patient sample. The age, height, weight, and BMI are given as a mean value $\pm$ 1 standard deviation (min–max) for the patient sample

Parameter	Mean $\pm$ SD, min–max
Age (years)	61 $\pm$ 11, (37–81)
Height (cm)	168 $\pm$ 10, (153–185)
Weight (kg)	71.0 $\pm$ 16.0, (49–94)
BMI ($\frac{kg}{m^2}$)	25.2 $\pm$ 5.3, (18–35)

Patient positioning, examination structure, fluoroscopy frame rate and total time of irradiation were selected by the radiologist (a resident with 5 years of experience) individually for each patient based on his personal preferences, patient condition and preliminary diagnosis.

Each examination was converted into a set of typical fluoroscopy phases and X-ray images, specified by the examined anatomical region and the projection of patient exposure. The following data was collected for each fluoroscopy phase and for each X-ray image taken for each patient: patient position (standing, supine, prone, recumbent), projection, total fluoroscopy time (s), fluoroscopy frame rate (frames $\times$ s⁻¹), field size (cm $\times$ cm), average tube voltage (kV), total DAP (cGy $\times$ cm²). Data was collected manually by the authors during the examination using dedicated spreadsheets. All examinations were exported from the PACS and digitally recorded in DICOM format; these records were used for modelling of the exposure of the patients with the PCXMC 2.0 and for verification of the collected data.

Development of a model for patient exposure for BM examinations

Each fluoroscopic phase was described by a set of discrete irradiation fields, corresponding to locations of the relevant organs and tissues. If there was no significant movement of the X-ray tube and if only a single organ was irradiated (i.e. fluoroscopy of the stomach and duodenum with contrast), the phase consisted of a single irradiation field. On the other hand, if different organs were exposed and if the tube movement was significant (i.e. survey fluoroscopy of the UGIT without contrast), the phase consisted of several irradiation fields, each corresponding to relevant anatomic location. Exposure parameters for each irradiation field within a single phase were considered to be constant. The number of irradiation fields and their locations for the specific fluoroscopic phases were selected in cooperation with the radiologists based on their experience and digital records of the examinations.

A total of eight projections were selected to describe the exposure of a patient (see Table 2). It was assumed that all oblique projections laid in a transverse plane and formed a 45° angle with the AP/PA axis [5].

³ Methodical guidance 2.6.1.2944-11. Assessment of effective dose to the patients undergoing X-ray examinations. Rospotrebnadzor, Moscow, (2011). (In Russian).

Table 2

Selected irradiation projections and the corresponding PCXMC angles

Projection	PCXMC tube angle, °
Anteroposterior (AP)	270
Posteroanterior (PA)	90
Left lateral (LATL)	0
Right lateral (LATR)	180
Left posterior oblique (LPO)	225
Right posterior oblique (RPO)	315
Left anterior oblique (LAO)	135
Right anterior oblique (RAO)	45

Examples of coordinates of the centers of corresponding irradiation fields for selected fluoroscopic phases are presented in Table 3. These coordinates correspond to an arbitrary point inside the phantom, through which the central axis of the x-ray beam is directed. The origin of the phantom's coordinate system is located at the center of the bottom of the phantom trunk section. The positive z-axis is directed upwards, the positive y-axis to the back of the phantom, and the positive x-axis to the left-hand side of the phantom [7].

An example of the set of fields for a survey fluoroscopy of the UGIT is presented in Figure 2. For single X-ray images, it was assumed that the coordinates matched the coordinates of the last irradiation field for the corresponding fluoroscopic phase.

Calculation of conversion coefficients

CCs were calculated using standard adult (PCXMC 2.0 default, 178.6 cm height and 73.2 kg body mass) parameters both for the over couch and under couch irradiation geometries (see Fig. 1). For the latter, the study structure was kept the same, but the irradiation angles were inverted by 180°.

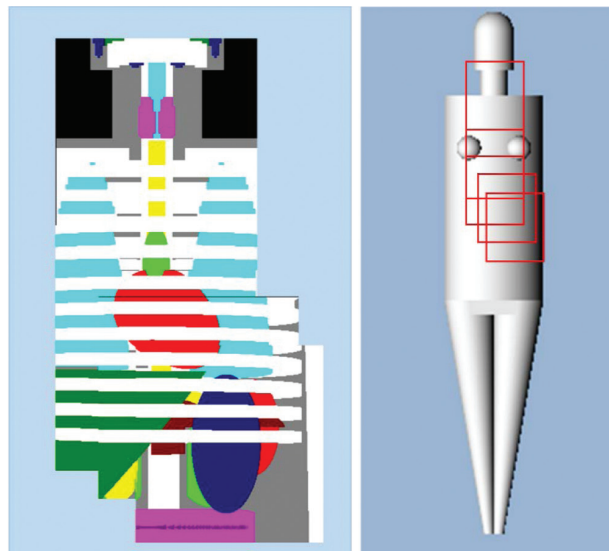


Fig. 2. A set of fields in AP projection for the survey fluoroscopy of the UGIT without barium contrast. See Table 3 for the respective field coordinates. The images correspond to a 28×28 cm field size and a 115 cm FID

Table 3

Coordinates of the centers of irradiation fields (PCXMC 2.0) for the selected fluoroscopic phases for different projections. Data is presented for a standard adult (73.2 kg body mass, 178.6 cm total height)

Projection	Survey fluoroscopy of the UGIT without barium contrast			Fluoroscopy of the esophagus with barium contrast			Fluoroscopy of the stomach and duodenum with barium contrast		
	X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z
270	0	2	70	0	2	70	8	-7	35
	0	2	50	0	2	50			
	0	2	43	0	2	43			
	5	-2	40	5	-2	40			
	8	-7	35						
90	0	3	70	0	3	70	8	-1	35
	0	3	50	0	3	50			
	0	3	43	0	3	43			
	5	-1	40	5	-1	40			
	8	-1	35						
180	-1	2.5	70	-1	2.5	70	4	-4	35
	-1	2.5	50	-1	2.5	50			
	-1	2.5	43	-1	2.5	43			
	5	-2	40	5	-2	40			
	4	-4	35						

Projection	Survey fluoroscopy of the UGIT without barium contrast			Fluoroscopy of the esophagus with barium contrast			Fluoroscopy of the stomach and duodenum with barium contrast		
	X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z
0	1	2.5	70	1	2.5	70	11	-4	35
	1	2.5	50	1	2.5	50			
	1	2.5	43	1	2.5	43			
	6	-1.5	40	6	-1.5	40			
	11	-4	35						
45	0.3	3	70	0.3	3	70	10	-1.5	35
	0.3	3	50	0.3	3	50			
	0.3	3	43	0.3	3	43			
	6	-1.5	40	6	-1.5	40			
	10	-1.5	35						
135	-0.3	3	70	-0.3	3	70	5.5	-1.5	35
	-0.3	3	50	-0.3	3	50			
	-0.3	3	43	-0.3	3	43			
	5	-1.5	40	5	-1.5	40			
	5.5	-1.5	35						
225	-0.3	2.2	70	-0.3	2.2	70	5.5	-6.5	35
	-0.3	2.2	50	-0.3	2.2	50			
	-0.3	2.2	43	-0.3	2.2	43			
	5	-2.5	40	5	-2.5	40			
	5.5	-6.5	35						
315	0.3	2.2	70	0.3	2.2	70	10	-6.5	35
	0.3	2.2	50	0.3	2.2	50			
	0.3	2.2	43	0.3	2.2	43			
	6	-2	40	6	-2	40			
	10	-6.5	35						

* dimensionless [7]

To estimate the CCs for the complete BM fluoroscopic examinations, the following method was used:

- Calculation of the CCs for each fluoroscopic phase and X-ray image for each projection for each patient;
- Estimation of DAP contribution of each projection into the total DAP for the complete examination for the whole patient sample;
- Estimation of the weighted mean CC for the complete fluoroscopic examination using Eq. 1:

$$K_{60,103} = \sum^{projection} \frac{DAP_{projection}}{DAP_{total}} \cdot K_{60,103 projection} \cdot \frac{\mu Sv}{cGy \cdot cm^2} \quad (1)$$

where $K_{60,103}$ are the CC for the complete fluoroscopic examination estimated using tissue weighting coefficients from the ICRP Publications 60 and 103 [8], respectively; $DAP_{projection}$ is the DAP (cGy×cm²) for fluoroscopic phases and X-ray images for the selected projection for the whole patient sample; DAP_{total} is the total DAP (cGy×cm²) for all fluoroscopic phases and X-ray images for the whole patient sample for the selected type of fluoroscopic examination; $K_{60,103 projection}$ are the CC for single fluoroscopic phase or X-ray image, calculated using tissue weighting coefficients from the ICRP Publications 60 and 103 [8], respectively.

Statistical evaluation was performed using Statistica 10 software. Differences were considered to be significant with $p < 0.05$.

Results

Structure and main parameters of BM examinations are presented in Table 4.

Table 4

Structure and main parameters of the BM examinations given as mean±1 SD (min–max)	
Parameter	Mean±SD, (min–max)
Number of fluoroscopic phases	10±4, (3–20)
Number of X-ray images	8±5, (0–18)
Tube voltage, kV	91±12, (61–127)
Fluoroscopy speed, frames·s ⁻¹	5.0±1.7, (2.5–10)
Total fluoroscopy time, s	152±66, (27–303)
Typical irradiation field size, cm×cm	28×28

Data on dose-area product for BM examinations is presented in Table 5.

Table 5

DAP values for BM examinations given as mean±1 SD (min-max)

Parameter	Mean±SD, (min-max)
Total DAP from fluoroscopy, cGy·cm ²	2644±1873, (209-9526)
Total DAP from X-ray images, cGy·cm ²	531±538, (0-2343)
Total DAP for the complete fluoroscopic examination, cGy·cm ²	3175±2155, (251-10309)

Data on the effective doses for the over couch and under couch irradiation geometries, estimated using tissue weighting coefficients from the ICRP Publications 60 and 103 is presented in Table 6.

Data on the contribution of different projections (see Table 2) into total DAP is presented in Table 7 for the whole patient sample.

The resulting values of the CCs for the complete BM examination for the under couch and over couch irradiation geometries, are presented in Table 8.

Discussion

The proposed approach for the estimation of the CCs considers important features of fluoroscopic examinations: non-uniform structure of examination, movement of the X-ray tube and the variety of exposure geometries. Segmentation of the fluoroscopic examination into a set of typical fluoroscopic phases allows evaluating the impact of the differences in CCs for individual phases on a resulting conversion coefficient for the complete examination. A similar approach was used in [9] for the barium swallow examinations.

The PCXMC 2.0 software allows two approaches for setting the coordinates of the irradiation field: as a coordinate of the center of the relevant anatomic organ or as a coordinate of the corresponding point on the phantom surface. These two approaches had been compared prior to the study; the differences in the estimated organ and effective doses did not exceed 5–7%. Hence, the first approach of defining the irradiation field was used for the convenience of modelling.

Several approaches for describing the tube movement within a single fluoroscopic phase were evaluated, varying the number of irradiation fields per phase and their exact locations. The resulting sets of fields (see Table 3) were

Table 6

Effective doses (E) for the over couch and under couch irradiation geometries given as mean±1 SD (min-max)

X-ray tube position	ICRP Publication	Total E from fluoroscopy, mSv	Total E from X-ray images, mSv	Total E for the complete fluoroscopic examination, mSv
Over couch	ICRP Pub 60	6.7±5.1 (0.6-26.0)	1.2±1.2 (0-4.9)	7.9±5.7 (0.7-27.8)
	ICRP Pub 103	7.1±5.4 (0.7-27.3)	1.3±1.3 (0-5.1)	8.4±5.9 (0.8-29.2)
Under couch	ICRP Pub 60	5.6±4.6 (0.4-22.0)	1.0±1.1 (0-4.5)	6.7±5.3 (0.5-23.4)
	ICRP Pub 103	5.9±4.9 (0.4-23.7)	1.0±1.1 (0-4.6)	6.9±5.6 (0.5-25.2)

Table 7

Contribution of different projections into total DAP (%), for over couch and under couch irradiation geometries with corresponding conversion coefficients. Data on the conversion coefficients is given as mean±1 SD (min-max)

X-ray tube position	AP	PA	LATL	LATR	LPO	RPO	LAO	RAO
Over couch	45%	8%	14%	4%	7%	1%	5%	17%
Under couch	8%	45%	4%	14%	17%	5%	1%	7%
CCs for individual projections, $\mu\text{Sv}\cdot\text{cGy}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$, ICRP Pub 60	3.1±0.3 (2.3-3.8)	1.9±0.2 (1.4-2.6)	1.9±0.2 (1.3-2.4)	1.2±0.2 (0.9-1.8)	2.3±0.2 (1.4-2.8)	3.2±0.4 (2.3-3.8)	1.8±0.2 (1.4-2.3)	1.7±0.2 (1.0-2.3)
CCs for individual projections, $\mu\text{Sv}\cdot\text{cGy}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$, ICRP Pub 103	3.4±0.3 (2.7-4.2)	1.9±0.2 (1.4-2.7)	1.9±0.2 (1.3-2.4)	1.2±0.2 (0.9-1.9)	2.4±0.3 (1.5-3.3)	3.4±0.4 (2.7-4.1)	1.7±0.2 (1.3-2.2)	1.7±0.2 (1.1-2.3)

Table 8

CCs ($\mu\text{Sv}\cdot\text{cGy}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$) for the complete BM examination estimated using tissue weighting coefficients from ICRP Publications 60 and 103 for the under couch and over couch irradiation geometries given as mean±1 SD (min-max)

Position of tube	CCs for the complete BM examination, $\mu\text{Sv}\cdot\text{cGy}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$, ICRP Pub 60	CCs for the complete BM examination, $\mu\text{Sv}\cdot\text{cGy}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$, ICRP Pub 103
Over couch	2.40±0.14	2.54±0.14
Under couch	2.01±0.17	2.06±0.17

selected as a compromise between the speed of calculation and a reproduction of real patient exposure.

The major difference, compared to other available methods of effective dose estimation [4, 5], is the inclusion of the multi-field phases of the survey fluoroscopy of the UGIT and fluoroscopy of the esophagus.

Patient data collection was designed to monitor the differences in fluoroscopic protocols due to the operator subjectivity in the same department. The distributions of the effective doses and conversion coefficients for individual patients for 2016 and 2017 patient samples were checked for normality (the Kolmogorov-Smirnov test) and then compared using the Mann-Whitney U-test. No significant differences were found between 2016 and 2017 samples ($p < 0.05$). Comparison of the 2016 and 2017 distributions of the effective dose and conversion coefficients, using tissue weighting coefficients from the ICRP Publication 60 [8] for the over couch irradiation geometry is presented in Figure 4.

Differences in the individual conversion coefficients in a range of $2.3 - 2.6 \mu\text{Sv} \times \text{cGy}^{-1} \times \text{cm}^{-2}$ (95% confidence interval) allow using a mean value of $2.4 \mu\text{Sv} \times \text{cGy}^{-1} \times \text{cm}^{-2}$ to describe the complete BM fluoroscopic examination.

Comparison of the estimated CCs for the complete BM examination with the available literature data is presented in Table 9.

The results of the current study are comparable with other published CCs. The differences in the absolute values of the CCs can be explained by various factors. The most important is the difference in the clinical protocols between the countries and hospitals. Another factor is the difference between the methods used for effective dose estimation, mainly selection of specific anatomic regions and projections to be included into a model of BM examination. By definition, CCs depend on the patient irradiation geometry (anatomical region or organs of interest, projection, focal-image distance, irradiation field size) and the energy characteristics of the X-ray beam (tube voltage, total filtration). All of these factors are influenced by the operator subjectivity and the characteristics of the X-ray unit, requiring consideration for an accurate dose estimation in a specific X-ray room or medical facility.

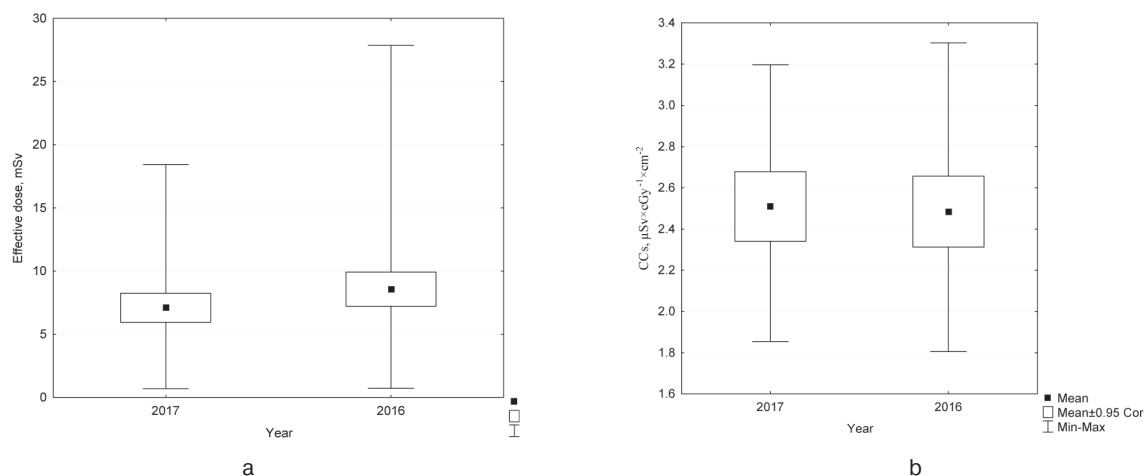


Fig. 4. Distributions of the effective dose (a) and conversion coefficients(b) for individual patients for the 2016 and 2017 patient samples. Calculations were performed for the over couch position of the X-ray tube using tissue weighting coefficients from the ICRP Publication 60

Table 9
Comparison of the conversion coefficients from DAP to E (ICRP 60) for BM examinations

Source	Country	CC for BM examination, $\mu\text{Sv} \times \text{cGy}^{-1} \times \text{cm}^{-2}$
Current study	Russia	Over couch: 2.4 Under couch: 2.0
Methodical guidance 2.6.1.2944-11	Russia	1.9
Delichas et al. [10]	Greece	3.4
Hart et al. [4]	United Kingdom	2.0
Hart et al. [5]	United Kingdom	1.7-2.4
Ciraj et al.[11]	Serbia/ Montenegro	1.9-2.4
Gyekye et al. [12]	Ghana	3.2

It can be seen from Table 9, that the existing CC for the BM examination in the PA projection matches the CC for the under couch X-ray tube position, estimated in the current study. However, the difference between the CCs for the over couch X-ray tube position is significant - 26% (Mann-Whitney U-test, $p < 0.05$). That derived CC would be included in the updated version of the methodical guidelines on effective dose estimation, allowing more accurate patient dose estimation.

Conclusions

CCs for BM fluoroscopic examinations were calculated using PCXMC 2.0 software based on the data collected in a major St-Petersburg University hospital. We developed a model of the BM examination, consisting of standardized fluoroscopic phases and X-ray images. The following CCs for the complete BM examination were estimated: 2.40 ± 0.14 (1SD) and 2.54 ± 0.14 (1 SD) $\mu\text{Sv} \times \text{cGy}^{-1} \times \text{cm}^{-2}$ for the over couch tube position; 2.01 ± 0.17 (1 SD) and 2.06 ± 0.17 (1 SD) $\mu\text{Sv} \times \text{cGy}^{-1} \times \text{cm}^{-2}$ for the under couch tube position based on the tissue weighting factors from ICRP Publications 60 and 103, respectively. This data can be used for the estimation

of the CCs for the fluoroscopic examinations of the UGIT with different study structure. Comparison of results of this study with the data published by others indicates some variations in the CCs values presented, which can be explained by differences in the parameters of BM examinations.

References

1. Barkovsky A.N. [et. al.]. Doses from ionizing radiation to the public of Russian Federation in 2015. Information bulletin. St-Petersburg, 2016, 73 p. (in Russian).
2. European Commission. Medical Radiation Exposure of the European Population. Radiation Protection 180 pt. 1. European Commission (2014).
3. Hart D., Jones D.G. and Wall B.F. Estimation of effective dose in diagnostic radiology from entrance dose and dose-area product measurements. NRPB Report R-262 (London: HMSO) (1994).
4. Wall B.F., Haylock R., Jansen J.T.M., Hillier M.C., Hart D. and Shrimpton P.C. Radiation Risks from Medical X-ray Examinations as a Function of the Age and Sex of the Patient. HPA-CRCE-028. Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, Health Protection Agency (2011). Available on: <https://pdfs.semanticscholar.org/d90f/22c2c119c618c6822eb094087464e5ca3c4b.pdf> (Accessed 10.02.2018).
5. Hart D. and Wall B.F. Estimation of effective dose from dose-area product measurements for barium meals and barium enemas. Br. J. Radiol. 67, 485-489 (1994).
6. Student radiographer. Guide to learning radiography. Fluoroscopy equipment. Available on: <https://studentradiographer.com/?p=873> (Accessed 10.02.2018).
7. Tapiovaara M., Siiskonen T., 2008. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. 2nd Ed. STUK, Finalnd.
8. ICRP – International Commission on Radiological Protection, 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP, Vol. 37, No. 2–4.
9. Bonilha H.S., Wilmskoetter J., Tipnis S.V., Martin-Harris B. and Huda W. Effective dose per unit kerma-area product conversion factors in adults undergoing modified barium swallow studies. Rad. Prot. Dos. 1-9 (2017). doi:10.1093/rpd/ncx006.
10. Delichas M.G., Hatzioannou K., Papanastassiou E., Albanopoulou P., Chatzi E., Sioundas A. and Psarrakos K. Radiation doses to patients undergoing barium meal and barium enema examinations. Rad. Prot. Dos. 109(1-3), 243-247 (2004).
11. Ciraj O., Markovic S., Kosutic D. Patient doses for barium meal examinations in Serbia and Montenegro and potentials for dose reduction through changes in equipment settings. Rad. Prot. Dos. 114(1-3), 158-163 (2005).
12. Gyekey P.K., Schandorf C., Boadu M., Yeboah J., Amoako J.K. Patient dose assessment due to fluoroscopic exposure for some selected fluoroscopic procedures in Ghana. Rad. Prot. Dos. 136(3), 203-208 (2009).

Received: February 19, 2018

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – PhD, the acting head of the Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovattoff@gmail.com)

Vladislav Yu. Golikov – leading scientist, the Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Irina G. Kamyshanskaya – MD, PhD, associate Professor, Saint-Petersburg State University, Department of Oncology, head of X-ray Department, St-Petersburg «Urban Mariinsky hospital», Saint-Petersburg, Russia

Kseniya V. Zinkevich – resident, St-Petersburg «Urban Mariinsky hospital», Saint-Petersburg, Russia

Christian Bernhardsson – PhD, associated professor, Medical Radiation Physics, Department of Translational Medicine, Lund University, Skåne University Hospital, Malmö, Sweden

For citation: Vodovatov A.V., Golikov V.Yu., Kamyshanskaya I.G., Zinkevich K.V., Bernhardsson C. Estimation of the conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for adult patients. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 93-100. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100.

Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для рентгеноскопических исследований желудка с бариевым контрастом для взрослых пациентов

А.В. Водоватов¹, В.Ю. Голиков¹, И.Г. Камышанская^{2,3}, К.В. Зинкевич³, К. Бернхардссон⁴

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

² Городская Мариинская больница, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Группа медицинской физики, департамент естественных наук Лундского университета, университетский госпиталь региона Скона, Мальмо, Швеция

Рентгеноскопические исследования верхнего отдела желудочно-кишечного тракта и, в особенности, исследования желудка с бариевым контрастом, являются широко распространенными и выполняются практически во всех медицинских организациях. Данные исследования сопровождаются как значительными индивидуальными дозами пациентов, так и существенным вкладом в коллективную дозу населения Российской Федерации от медицинского облучения. Определение эффективных доз пациентов для данных исследований затруднено в связи с: 1) необходимостью учитывать движущееся поле облучения; 2) различиями в структуре исследования между индивидуальными пациентами; 3) субъективными факторами при выполнении данных исследований врачами-рентгенологами; и 4) различиями в рентгеновских аппаратах. Целью данного исследования являлось определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для рентгеноскопических исследований желудка с бариевым контрастом для различных условий расположения рентгеновской трубки (над и под столом). Исследование было выполнено на основе данных, собранных в хирургическом отделении Санкт-Петербургской городской Мариинской больницы. По результатам сбора данных по параметрам проведения и структуре исследования была разработана модель облучения пациента при выполнении рентгеноскопии желудка с бариевым контрастом. Коэффициенты перехода определяли с использованием программного обеспечения РСХМС 2.0. Рентгеноскопические исследования были разделены на набор стандартных фаз просвечивания и рентгеновских снимков, соответствующих исследуемым анатомическим зонам и проекциям облучения. Коэффициенты перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе были определены как для каждой из фаз, так и для полного рентгеноскопического исследования желудка с бариевым контрастом. Полученные результаты сравнимы с опубликованными данными. Различия в абсолютных значениях коэффициентов перехода могут быть объяснены различиями в протоколах и параметрах проведения рентгеноскопических исследований желудка, а также в использованных моделях для расчета эффективной дозы. Предложенный в данной работе подход к оценке эффективной дозы учитывает все важные особенности рентгеноскопических исследований: 1) различия в структуре исследования; 2) существенное перемещение рентгеновской трубки в рамках одной фазы рентгеноскопии и 3) различия в геометрии облучения пациента в рамках одного рентгеноскопического исследования.

Ключевые слова: рентгеноскопия, коэффициенты перехода, эффективная доза, рентгеноскопия желудка с бариевым контрастом.

Водоватов Александр Валерьевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: vodovatoff@gmail.com

Проблемы риск – коммуникации: общественные организации и их роль в формировании общественного мнения по вопросам радиационной безопасности населения

А.М. Библин, Н.М. Вишнякова, К.В. Варфоломеева,
С.А. Зеленцова, Е.В. Храмов, Р.Р. Ахматдинов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Мероприятия, связанные с развитием и совершенствованием атомной отрасли, как правило, воспринимаются населением неоднозначно. Ведущую роль в формировании общественного мнения по наиболее актуальным вопросам жизни общества, в частности, по вопросам экологии и радиационной безопасности играют средства массовой информации и Интернет. Общественные организации также могут оказывать влияние на адекватное восприятие населением вопросов радиационной безопасности в регионе. Материалы и методы: в ходе исследования выполнен первичный анализ данных социологического исследования в трех регионах Северо-Запада Российской Федерации: Санкт-Петербурге, Ленинградской и Мурманской областях, проведена оценка сайтов общественных организаций, активности общественных организаций в Интернете, социальных сетях. Результаты: исследование показало, что общественные организации активно используют в своей практике Интернет и социальные сети. У всех значимых общественных организаций имеются сайты и официальные аккаунты в социальных сетях. По количеству подписчиков в социальных сетях выделяются две общественные организации – «Гринпис» и Всемирный фонд дикой природы, имеющие более 400 000 подписчиков каждая. Социальная сеть «ВКонтакте» является наиболее эффективным способом коммуникации с населением, суммарное количество подписчиков на группы ключевых общественных организаций «ВКонтакте» составляет более 500 тысяч человек. Эти же две организации являются как наиболее известными, так и пользующимися наибольшим доверием у населения. «Гринпис» знают 26% респондентов, Всемирный фонд дикой природы знаком 11%. На вопрос «О деятельности каких общественных организаций, занимающихся вопросами радиационной безопасности, Вы слышали?» в Мурманской области 48% респондентов назвали хотя бы одну общественную организацию, в то время как в Санкт-Петербурге и Ленинградской области 18% и 29% соответственно. Общественные организации имеют достаточный потенциал влияния на адекватное восприятие населением вопросов радиационной безопасности в регионе, однако в настоящее время данный потенциал не реализуется в полной мере. Вследствие этого активность общественных организаций должна быть объектом исследования при планировании работы по формированию адекватного восприятия радиационного фактора населением.

Ключевые слова: общественные организации, радиационная безопасность, социологическое исследование, общественное мнение, риск-коммуникация, население, Интернет.

Введение

Мероприятия, связанные с развитием и совершенствованием атомной отрасли (строительство атомных станций, пунктов захоронения радиоактивных отходов и т.п.), как правило, воспринимаются населением неоднозначно [1–3].

Собственное мнение человека об опасности складывается на основании информации, которую он получает в учебных заведениях, от людей, живущих рядом, из средств массовой информации и в процессе активной

деятельности общественных организаций (ОО), имеющей, как правило, агитационный характер. При этом наиболее сложной для человека является ситуация, когда источники информации о степени радиационной опасности являются противоречивыми. В таких случаях человек с большим доверием относится к завышенной оценке опасности, в соответствии с которой он и строит модель своего поведения.

Ведущую роль в формировании общественного мнения по наиболее актуальным вопросам жизни общества, в частности по вопросам экологии и радиационной безо-

Библин Артём Михайлович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.biblin@niirg.ru

пасности (РБ), играют средства массовой информации, Интернет [4, 5, 6]. ОО также имеют достаточный потенциал влияния на адекватное восприятие населением вопросов РБ в регионе. Направленность публикаций и публичных выступлений может склонить общественность как к адекватному восприятию обсуждаемых проблем, так и к протестным настроениям.

Одним из этапов «Программы организации информационной работы с населением по вопросам радиационной безопасности в регионах реализации мероприятий ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года», разработанной специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, является изучение роли ОО в формировании общественного мнения в отношении проводимых мероприятий, направленных на дальнейшее развитие атомной отрасли [3].

Федеральный закон от 19.05.1995, № 82-ФЗ «Об общественных объединениях» определяет общественные объединения как добровольные, самоуправляемые, некоммерческие формирования, созданные по инициативе граждан, объединившихся на основе общности интересов для реализации общих целей, указанных в уставе общественных объединений. Российское законодательство выделяет шесть организационно-правовых форм общественных объединений: общественные организации (ОО), общественные движения, общественные фонды, общественные учреждения, органы общественной самостоятельности и политические партии. В данной статье рассматривается деятельность общественных организаций в области экологии и РБ.

ОО различаются не только по своим организационным формам, но и по территориальной сфере деятельности. В зависимости от этого выделяются общероссийские, межрегиональные, региональные и местные ОО. Общероссийские общественные объединения действуют на территориях более половины субъектов Российской Федерации и имеют там свои подразделения (организации, отделения или филиалы и представительства). Территориальная сфера деятельности других видов общественных объединений меньше. Так, региональное общественное объединение осуществляет свою деятельность на территории только одного субъекта РФ, а местное – в пределах территории органа местного самоуправления (например, населенного пункта) [7]. В Российской Федерации действуют также Международные общественные организации, т.е. такие ОО, у которых в соответствии с уставом создается хотя бы одно структурное подразделение, осуществляющее свою деятельность в иностранных государствах.

ОО являются неотъемлемым элементом демократического общества. На современном этапе развития нашего государства они выступают своего рода связующим звеном между основными системами и институтами гражданского общества [8]. При этом зачастую ОО экологической направленности позиционирует себя как самостоятельную часть гражданского общества, не консолидируя свои действия с другими ОО [9].

Результаты социологических исследований, проведенных ВЦИОМ в 2014 и в 2017 гг. [10, 11], показывают рост интереса населения Российской Федерации к ОО, сфера интересов которых находится в области экологии.

Так, с 3% в 2014 г. до 12% в 2017 г. увеличилось число лиц, которые хотели бы стать членами той или иной экологической ОО. Опрос 2017 г. показывает, что еще 31% респондентов не исключает для себя такой возможности (10% в 2017 году).

Цель исследования – оценка роли ОО в области информирования о радиационном факторе и их значимость в формировании у населения отношения к вопросам РБ и проводимым мероприятиям, направленным на дальнейшее развитие атомной отрасли.

Задачи исследования

1. Определить ОО, являющиеся ключевыми при создании информационного поля по вопросам РБ для населения в Северо-Западном регионе РФ.
2. Определить ОО, являющиеся наиболее известными по результатам социологического опроса, т.е. значимыми для населения.
3. Изучить восприятие населением деятельности ОО в области информирования о вопросах, связанных с РБ, в том числе степень доверия населения к предоставляемой ОО информации и участия в проектах, касающихся вопросов РБ и реализации мероприятий Программы.
4. Определить основные методы информационной работы ОО с населением по результатам анализа их сайтов и провести анализ активности ОО в социальных сетях в сети Интернет.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были выбраны ОО, ведущие свою деятельность в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Мурманской областях, сфера деятельности которых включает вопросы реализации мероприятий Программы, развития атомной отрасли и информирования населения о вопросах РБ.

На первом этапе исследования определялись ключевые ОО, т.е. ОО, наиболее важные при планировании информационной работы с населением и исследовании информационного поля по вопросам РБ для населения. Нами были проанализированы данные о 370 различных ОО, осуществляющих свою деятельность на территориях Санкт-Петербурга, Ленинградской и Мурманской областей.

Выбор ключевых ОО осуществлялся по следующим критериям:

- ОО должны осуществлять свою деятельность на территории Санкт-Петербурга, Ленинградской и Мурманской областей.
- Цели, задачи и программа ОО должны отражать вопросы РБ населения в регионах исследования; быть актуальными, иметь общественный интерес.
- Проведение ОО мероприятий с целью информирования населения о проблемах РБ населения в регионах исследования.
- Участие ОО в работе общественных советов и в мероприятиях («круглый стол», массовые общественные акции, конференции, встречи и т. д.), посвященных вопросам экологической, радиационной и ядерной безопасности, проводимых в регионах исследования.

Сбор первичных социологических данных выполнен с помощью метода массового опроса населения по месту жительства. Объем анкеты для Санкт-Петербурга

и Ленинградской области составил 49 вопросов, для Мурманской области – 43 вопроса. Отдельный блок вопросов анкеты был посвящен исследованию отношения населения к работе общественных организаций, т.е. социологические исследования позволили выделить значимые ОО, которые в ходе опроса набрали количество упоминаний, превышающее стандартную ошибку для региона.

Для значимых ОО проводился качественный и количественный анализ активности в Интернете.

Генеральная совокупность исследования в обоих регионах – взрослое (18 лет и старше) население, постоянно проживающее на территории субъекта РФ. Отбор респондентов производился по маршрутной методике с контролем наполнения демографических квот.

Общее количество опрошенных составило 3 171 человек, в том числе в Санкт-Петербурге – 1 006, в Ленинградской области – 1 363, в Мурманской области – 802. Размер случайной ошибки для подвыборок по субъектам РФ составил: по Санкт-Петербургу – 3,2%, по Ленинградской области – 2,7%, по Мурманской области – 3,5% при доверительной вероятности 95,4%. Социологическое исследование в Санкт-Петербурге и Ленинградской области проводилось в 2016 г., в Мурманской области – в 2017 г.

Результаты и обсуждение

В результате исследования был проведен анализ деятельности 370 различных ОО, действующих на территории выбранных регионов. Из них выделено 8 ключевых ОО, действующих на территории Мурманской области и 14 ключевых ОО, действующих на территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга. Выбранные ключевые ОО были включены в анкеты для проведения социологического исследования с целью определения значимых ОО.

В ходе социологического исследования респондентам в блоке вопросов, посвященных исследованию отношения населения к работе ОО, цели, задачи и программы которых отражают вопросы РБ, предлагалось ответить на 4 вопроса:

1. О деятельности каких общественных организаций, занимающихся вопросами радиационной безопасности, Вы слышали?
2. Каким общественным организациям, занимающимся вопросами радиационной безопасности, Вы наиболее доверяете?
3. Являетесь ли Вы или кто-либо из ваших родных и близких членом какой-либо общественной организации? Если да, то какой?
4. Принимали Вы участие в работе общественных организаций, занимающихся вопросами радиационной безопасности?

Распределение ответов на вопросы о знаниях об ОО и о доверии к ОО в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Мурманской областях, т.е. определение значимых ОО представлены в таблице 1. В таблице 1 представлены ОО, оказавшиеся значимыми хотя бы в одном регионе. ОО, процент упоминаний которых респондентами оказался ниже стандартной ошибки для региона, вошли в ответ «Другие».

Об эффективности проводимой ОО коммуникационной деятельности можно судить по информированности

населения о существовании ОО. Как показали социологические исследования, знания населения об отдельных ключевых ОО в регионах существенно различаются (рис. 1). В Санкт-Петербурге и Ленинградской области о деятельности ключевых ОО знают менее трети респондентов (21% и 29% соответственно). Не смогли вспомнить название ни одного ключевого ОО, предлагаемого в перечне вариантов в анкете, но что-то слышали о проводимых ими работах 6% респондентов в Санкт-Петербурге и 11% в Ленинградской области.

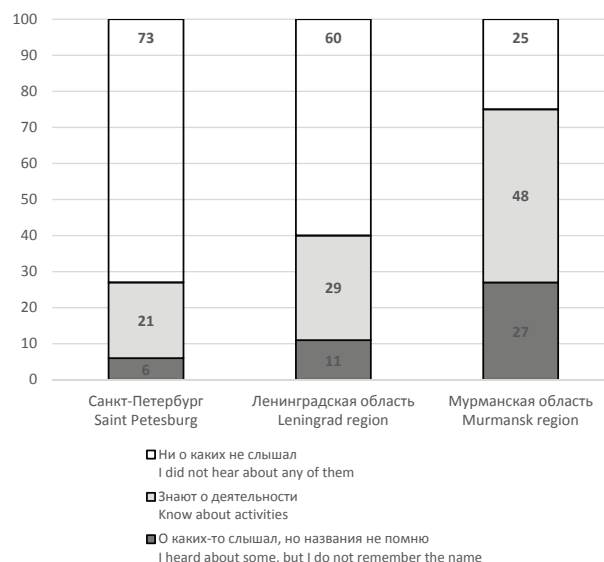


Рис. 1. Уровень знания населения об отдельных ключевых ОО в регионах исследования, %

[Fig. 1. Level of awareness of the public on the main NGOs in the surveyed regions, %]

Больше половины респондентов не слышали о ключевых ОО Санкт-Петербурга и Ленинградской области (73% и 60%), что указывает на достаточно низкую эффективность их активности в информировании населения о проблемах РБ и вопросах развития атомной отрасли.

В Мурманской области ситуация характеризуется достаточно высокой информированностью населения о деятельности ключевых ОО – около половины (48%) опрошенных знают о деятельности в их регионе ОО, отраженных в анкете. Еще около трети (27%) что-то слышали о ведении проектов, касающихся развития атомной отрасли и вопросах РБ населения, в их регионе, но не смогли вспомнить ни одного названия ОО, которые их проводили. Следовательно, 75% населения региона Мурманской области в той или иной степени осведомлено о проведении проектов, касающихся РБ населения на их территории.

Во всех регионах исследования две ОО являются самыми знакомыми (значимыми) для респондентов – это «Гринпис» и WWF, о которых слышали 26% и 11% из всего числа опрошенных.

Следует отметить, что в Мурманской области уровень известности WWF (19%) незначительно превышает уровень знаний о значимых ОО регионального масштаба работы: Мурманской областной ОО «Кольский эко-

Таблица 1

Данные по знанию и доверию населения к значимым ОО в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Мурманской областях

[Table 1]

Data on the knowledge and trust of the public to the relevant non-governmental organizations (NGO) in Saint Petersburg, Leningrad and Murmansk regions]

ОО [Non-governmental organizations(NGO)]	Знают (% от всей выборки) [Know (% from the whole sample)]				Доверяют (% от знающих хотя бы одно ОО) [Trust (% from knowing at least one NGO)]		
	Санкт-Петербург [St-Petersburg]	Ленинградская область [Leningrad region]	Мурманская область [Murmansk region]	Всего [Total]	Санкт-Петербург [St-Petersburg]	Ленинградская область [Leningrad region]	Мурманская область [Murmansk region]
Всемирный фонд дикой природы (WWF) [World Wildlife Fund (WWF)]	5,86%	10,27%	18,83%	11,04%	11,85%	18,93%	21,99%
Независимая международная орга- низация «Гринпис» [Independent international organiza- tion "Greenpeace"]	18,29%	24,06%	40,27%	26,33%	50,71%	51,41%	40,05%
Международное экологическое объединение «Беллона» [The Bellona Foundation]	1,09%	1,17%	8,48%	3,00%	1,42%	2,81%	3,66%
Общероссийская общественная ор- ганизация «Российский Социально- экологический союз» [Russian Socio-Ecological Union]	0,30%	0,59%	5,61%	1,42%	0,47%	2,05%	2,36%
Региональная общественная благотворительная экологическая организация «Зеленый мир» [Green World (GW)]	2,19%	5,58%	—	3,09%	3,32%	11,76%	—
Мурманское отделение обществен- ной организации «Всероссийское общество охраны природы» (ВООП). [All-Russian Society for Nature Conservation, Murmansk region department]	—	—	15,71%	3,97%	—	—	15,45%
Мурманская областная молодежная общественная экологическая орга- низация «Природа и молодежь» [Murmansk regional youth ecological organization "Nature and youth"]	—	—	10,72%	2,71%	—	—	11,78%
Мурманская областная обще- ственная организация «Кольский экологический центр». [Murmansk regional non-govern- mental organization "Kola ecological center"]	—	—	16,46%	4,16%	—	—	18,06%
Другие [Other]	8,46%	10,86%	3,36%	8,77%	20,85%	24,55%	20,85%
О каких-то слышал, но названия не помню [Heard of some organization, but don't remember particular names]	5,77%	11,08%	26,93%	13,40%	—*	—*	—*
Ни о каких не слышал [Didn't hear of any of the NGO]	73,26%	60,23%	25,44%	55,57%	—*	—*	—*

* У респондентов отсутствовал такой вариант ответа.

[* That option was missing from the respondents]

логический центр» (17%) и Мурманском отделении ОО «Всероссийское общество охраны природы» (16%).

В Ленинградской области, помимо «Гринпис» и WWF, количество ответов, превышающих стандартную ошибку, получила только Региональная общественная благотворительная экологическая организация «Зеленый Мир», о деятельности которой известно 6% респондентов.

В Санкт-Петербурге, кроме «Гринпис» и WWF, ни одна ОО не получила количество ответов, превышающих стандартную ошибку.

Полученные результаты исследования отражают современные реалии. «Гринпис», благодаря проведению резонансных, провокационных демонстраций, митингов, акций и протестных действий в борьбе с острыми экологическими проблемами, в том числе и проблемами РБ населения как частного, так и глобального масштаба, уже не одно десятилетие привлекает внимание общественности к своей деятельности. WWF характеризуется активной, но при этом менее «агрессивной» техникой привлечения внимания к своей деятельности.

Коммуникационная деятельность значимых ОО, в том числе региональных, более социально важна для населения Мурманской области по сравнению с этими показателями для населения Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Это объясняется наличием в регионе большого количества радиационно-опасных объектов военного и мирного назначения.

Одним из факторов, влияющих на оценку эффективности проводимой значимыми ОО коммуникационной деятельности, является не только осведомленность населения о деятельности ОО, но и степень доверия к предоставляемой ими информации, а также участие в их проектах.

Один из вопросов анкеты был посвящен доверию респондентов регионов исследования к информационной деятельности ключевых ОО. В ходе опроса респондентам, назвавшим хотя бы одно ОО, занимающееся вопросами РБ, предлагали назвать то (те) ОО, которым респондент доверяет. В Санкт-Петербурге на доверие к какому-либо ОО указал 21% респондентов, в Ленинградской области – 27%, в Мурманской области – 48%.

Анализ анкет показал, что информированные о наличии ОО жители, как правило, доверяют тем значимым ОО, которые им известны. Наибольший рейтинг доверия в Санкт-Петербурге и Ленинградской области отмечен у двух организаций – «Гринпис» (рейтинг доверия 51% и 12%) и WWF (рейтинг доверия 51% и 19%). Среди региональных ОО следует отметить «Зеленый мир», известность и доверие к которому существенно выше (12%), чем у всех остальных организаций.

Полученный рейтинг доверия в Мурманской области практически воспроизводит рейтинг известности значимых ОО: чем известнее ОО, тем больше жителей региона выражают свое доверие к распространяемой ею информации.

Также в перечень задаваемых респондентам вопросов входили вопросы, посвященные членству в значимых ОО и участию в их работе. По результатам опросов выявлено, что в Санкт-Петербурге из всех опрошенных респондентов ни один не состоит в ОО и не принимает непосредственного участия в организованных ими мероприятиях.

В Ленинградской области опрошенное население чуть активней – 3% от опрошенных респондентов являются членами значимых ОО, 2% принимают участие в проводимых ими мероприятиях. Таким образом, практически все названные респондентами ОО оказались представлены в выборке людьми, включенными в их деятельность.

В Мурманской области 9% от числа опрошенных в регионе респондентов являются членами значимых ОО, 5% указывают на участие в проводимых ими мероприятиях. Характерно, что на участие в мероприятиях, проводимых значимыми ОО, указало меньшее количество респондентов, чем заявившее о членстве в значимых ОО. Возможной причиной этого могут быть либо формальное членство населения в ОО, либо низкая активность организации в регионе, т.е. отсутствие мероприятий, в которых могли бы принять участие и члены организации, и другие жители, либо низкая социальная активность самого населения. Преобладание показателей количества членов значимых ОО над количеством участвующих в проводимых ими мероприятиях говорит о востребованности общественной активности организаций экологического и радиационного профиля, то есть определенная часть населения готова поддержать инициативы в области РБ населения, для чего вступает в соответствующие организации. Однако действующие в регионе ОО не справляются с задачей вовлечения населения в конкретную деятельность.

По данным официальных сайтов значимых ОО для исследуемых субъектов Российской Федерации проведено исследование об их целях, задачах и масштабе деятельности (табл. 2).

Все значимые ОО заявляют одной из своих задач защиту окружающей среды и повышение уровня знаний населения о РБ. При этом часть значимых ОО, таких как Независимая международная организация «Гринпис», Мурманская областная молодежная общественная экологическая организация «Природа и молодежь», Общероссийская общественная организация «Социально-экологический союз», Региональная общественная благотворительная экологическая организация «Зеленый мир» (Ленинградская область), по данным их официальных сайтов, проводят негативную политику по отношению к проектам атомной отрасли и предвзято отражают вопросы РБ населения. Это обстоятельство необходимо учитывать при формировании программы информационной работы с населением в Северо-Западном регионе.

На основании проведенного анализа сайтов значимых ОО и их представительств в социальных сетях были определены основные методы, используемые ими при коммуникационной деятельности с населением. ОО в своей работе используют широкий перечень способов ведения информационной работы с населением: расклейка и раздача листовок, брошюр, буклетов; издание и распространение собственных печатных газет, видеофильмов; проведение одиночных и массовых пикетов, акций протестов, митингов, флэшмобов, конкурсов, экскурсий; совместные работы с авторитетными группами населения (лекции, семинары для авторитетных групп населения, круглые столы и др.), взаимодействие с традиционными СМИ (печатные издания и телерадиовещание), ведение групп в социальных сетях и т.д.

Цели, задачи и масштаб деятельности значимых ОО Санкт-Петербурга, Ленинградской и Мурманской областей
(по данным официальных сайтов ОО)

Таблица 2

[Table 2]

Branch and scale of activities of the main NGO in St-Petersburg, Leningrad and Murmansk regions
(based on the official data from the NGO websites)]

№ п/п №	Наименование ОО [Name of NGO]	Масштаб деятельности [Scale of activity]	Направления деятельности значимых ОО [Branch of activities of the main NGO]	Официальный сайт [Official website]
1	Независимая международная организация «Гринпис» [Greenpeace]	Международный [International]	Защита окружающей среды, пропаганда экологического образа жизни, экологическое просвещение, глобальное изменение климата и др. в том числе, радиационная опасность. Один из проектов – «Безъядерное будущее» [Protection of the environment, propaganda of the ecological way of life, ecological education, global climate change, etc. including radiation safety. One of the projects – “Non-nuclear future”]	greenpeace.org
2	Международное экологическое объединение «Беллона» [The Bellona Foundation]	Международный [International]	Защита прав человека на благоприятную окружающую среду. Программа включает «Атомный проект». Одной из задач является повышения ядерной и радиационной безопасности [Protection of the human rights on the hospitable environment. Program includes the “Atomic project”. One of the objectives – strengthening nuclear and radiation safety]	bellona.ru
3	Общероссийская общественная организация «Российский Социально-экологический союз» [Russian Socio-Ecological Union]	Общероссийский [All-Russian]	Достижение гармонии между обществом и природой, сохранение и восстановление природной и культурной среды, предотвращение акций и тенденций, ведущих к разрушению природных и духовных ценностей и здоровья людей. Одной из задач является консолидированное противостояние опасным проектам Росатома [Achieving harmony between the nature and society, preservation and restoration of the natural and cultural environment, prevention of actions and tendencies leading to the destruction of the natural and spiritual tendencies and human health. One of the objectives – opposition to the dangerous Rosatom projects]	rusecounion.ru
4	Всемирный фонд дикой природы (WWF) [World Wildlife Fund (WWF)]	Международный [International]	Сохранение биологического разнообразия Земли. Считает нецелесообразным развитие атомной энергетики, выступает против ввоза в Россию радиоактивных отходов, не поддерживает переработку отработанного ядерного топлива, выступает против строительства новых АЭС, выступает за вывод из эксплуатации действующих реакторов после выработки их ресурса и ликвидацию накопленного ущерба [Preservation of the biological diversity of the Earth. Considers unnecessary the development of the nuclear energetics, opposes import of the radioactive wastes in Russia; does not support nuclear fuel recycling; objects to new NPP construction; supports the decommissioning of the NPS after remaining life and liquidation of the damage]	wwf.ru

№ п/п №	Наименование ОО [Name of NGO]	Масштаб деятельности [Scale of activity]	Направления деятельности значимых ОО [Branch of activities of the main NGO]	Официальный сайт [Official website]
5	Региональная общественная благотворительная экологическая организация «Зеленый мир» [Green World (GW) ¹]	СПб, Ленинградская область [St-Petersburg and Leningrad region]	Оперативная независимая информация о состоянии природных комплексов, ядерно- и экологически опасных объектах южного берега Финского залива. Одной из задач является вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС, выработавших проектный ресурс, решение проблемы утилизации радиоактивных отходов и безопасной утилизации радиоактивных отходов и отработанного ядерного топлива. [Operative independent information of the state of natural complexes, nuclear- and ecology-hazardous objects on the south coast of Gulf of Finland. One of the objective is the decommissioning of the NPPs, solving of the problem of nuclear waste disposal and safe disposal of nuclear waste and nuclear fuel]	greenworld.org.ru
6	Мурманская областная общественная организация «Кольский экологический центр» [Murmansk regional non-governmental organization "Kola ecological center"]	Мурманская область [Murmansk region]	Сохранение природы, защита конституционного права граждан на благоприятную окружающую среду, экологическое просвещение. Одной из задач является борьба с ядерной угрозой ради безопасного будущего с экологически чистыми источниками энергии. [Preservation of nature, protection of the constitutional right of the citizens on the safe environment, ecological education. One of the objectives – confrontation with the nuclear threat for the safe future with ecology safe energy sources]	kec.org.ru
7	Мурманское отделение общественной организации «Всероссийское общество охраны природы» (ВООП). [All-Russian Society for Nature Conservation, Murmansk region department]	Мурманская область [Murmansk region]	Организация движения общественности за здоровую и благоприятную экологическую обстановку в России, а также содействие и реализация государственной природоохранной политики. Среди организованных мероприятий региональная научно-практическая конференция «Чистый СЕВЕР», «Радиоактивные объекты глазами школьников». [Establishment of the public movement for the healthy and hospitable ecological situation in Russia as well as the assistance and realization of the governmental policy for the environment care. Among the main events – regional scientific-practical conference "Clean North" and "Radioactive objects as seen by the eyes of school-children"]	voop51.narod.ru
8	Независимая международная организация «Гринпис» [Greenpeace]	Международный [International]	Защита окружающей среды, пропаганда экологического образа жизни экологическое просвещение, глобальное изменение климата и др., в том числе радиационная опасность. Один из проектов – «Безъядерное будущее» [Protection of the environment, propaganda of the ecological way of life, ecological education, global climate change, etc. including radiation safety. One of the projects – "Non-nuclear future"]	pim.org.ru

¹ ОБЭО «Зелёный мир» в 2016 г. приняла решение о своём закрытии в связи с включением в список иностранных агентов. В соответствии с информацией, указанной на сайте ОБЭО «Зелёный мир», правопреемником организации стало ООО «Декомиссия».

[¹ The "Green World" has decided to close in 2016 due to being included in the list of foreign agents. According to the information on their official webpage, its legal successor is the JSC "Decomissiya"]

На современном этапе Интернет и онлайн-технологии стали успешно конкурировать с традиционными способами коммуникационной деятельности – телевидением, радио, периодическими печатными изданиями. Возросшая популярность получения информации из Интернета в регионах исследования отражает как мировую, так и общероссийскую действительность. Так, по данным, представленным ВЦИОМ на 15.01.2017 г. на вопрос: «*Пользуетесь ли Вы Интернетом, и если да, то, как часто?*» 58% опрошенных в 80 регионах РФ ответили положительно («практически ежедневно», 22% – не пользуются, 13% – пользуются несколько раз в неделю, 4% – несколько раз в месяц) [14].

Значимые ОО также активно используют для коммуникации с населением, информирования о различных мероприятиях и проектах Интернет. Помимо официальных сайтов, популярным путём распространения информации о собственной деятельности являются социальные сети [13]. Анализ онлайн-активности значимых ОО, занимающихся информационной работой по вопросам РБ через социальные сети, показал, что наиболее активно свою деятельность значимые ОО освещают посредством социальных сетей «ВКонтакте», «Facebook» и «Twitter», в которых у всех значимых ОО существует собственные аккаунты. «ВКонтакте» является наиболее эффективным способом коммуникации с населением: суммарное количество подписчиков на группы значимых ОО «ВКонтакте» составляет на 14.02.2018 г. 503 758 человек.

По количеству подписчиков в социальных сетях выделяются две ОО: «Гринпис» и WWF, имеющие более 400 000 подписчиков каждая (рис. 2). Среди прочих значимых ОО наибольшее число подписчиков – у Международного экологического объединения «Беллона».

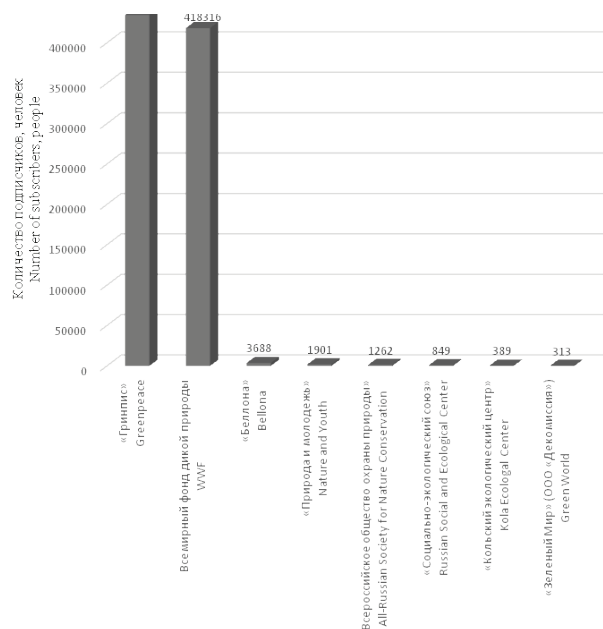


Рис. 2. Суммарное количество подписчиков значимых ОО в социальных сетях, чел.

[Fig. 2. The total number of subscribers of significant NGO in social networks, people]

Однако анализ результатов собственных социологических исследований об использовании социальных сетей для получения информации о радиационной обстановке показал, что социальные сети не рассматриваются населением исследуемых регионов как существенный ресурс получения подобной информации. Так, во всех регионах исследований около 75% всех респондентов ответили, что не пользуются социальными сетями для поиска подобной информации. В совокупности с теми, кто совсем не пользуется социальными сетями, они образуют около 90% жителей, игнорирующих данный информационный канал. Только социальная сеть «ВКонтакте» получила относительно значимый процент ответов на вопрос «*В какие социальные сети вы обратитесь, чтобы получить информацию о радиационной обстановке?*» – 7%. Для всех остальных социальных сетей процент ответов не превысил 2%. Вопрос пассивного получения информации требует дальнейшего изучения путем проведения социологических исследований.

Заключение

Как показали результаты социологических исследований, в выбранных регионах заинтересованность населения в деятельности отдельных ключевых и значимых ОО существенно различна.

Большинство населения Санкт-Петербурга и Ленинградской области не знает об ОО, занимающихся вопросами РБ и смежными экологическими проблемами. Население Мурманской области лучше, чем в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, осведомлено о деятельности ОО в области РБ, что может свидетельствовать о более эффективной информационной работе. Во всех исследуемых регионах наиболее известными ОО являются «Гринпис» и Всемирный фонд дикой природы (WWF), которые наиболее активны в информационном поле.

Как показал анализ результатов социологического исследования, общественное мнение позитивно настроено по отношению к значимым ОО, т.е. население склонно доверять организациям, которые оно знает. Наибольший рейтинг доверия в Санкт-Петербурге и Ленинградской области отмечен у двух организаций – «Гринпис» (51%) и WWF (15%). В Мурманской области ОО пользуются большим доверием населения, чем в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. В Мурманской области пользуются доверием и региональные ОО.

Наиболее активно население участвует в проектах ОО по вопросам РБ в Мурманской области. Около 9% от числа респондентов входят в состав значимых ОО, и половина из них же принимает участие в их мероприятиях. Это свидетельствует о распространенности номинального членства в ОО экологического профиля, не предполагающего включения в активную общественную деятельность. На основании того, что по опросам лишь 27% опрошенных в Санкт-Петербурге и 40% в Ленинградской области знают либо слышали о работе ОО и лишь 8% респондентов Ленинградской области состоят в них, вряд ли можно считать эти ОО в текущий момент времени важным участником коммуникационного процесса по вопросам РБ. Для Мурманской области характерен достаточно высокий уровень информированности населения о деятельности ключевых ОО. 75% респондентов региона Мурманской

области знает о проведении проектов информирования населения по вопросам РБ на их территории; 9% респондентов состоят в ОО и 5% из состоящих участвуют в различных мероприятиях, проводимых ОО.

По количеству подписчиков в социальных сетях выделяются две ОО – «Гринпис» и Всемирный фонд дикой природы (WWF), имеющие более 400 000 подписчиков каждая. «ВКонтакте» является наиболее эффективным способом коммуникации с населением, суммарное количество подписчиков на группы ключевых ОО «ВКонтакте» составляет более 500 000 человек.

ОО имеют достаточный потенциал влияния на адекватное восприятие населением вопросов РБ в регионе, однако в настоящее время данный потенциал не реализуется в полной мере. Несмотря на это, активность ОО должна быть объектом исследования при планировании работы по формированию адекватного восприятия радиационного фактора населением. При планировании важно определять ключевые ОО и выявлять значимые ОО, пользующиеся доверием у населения. При организации практической информационной работы с населением необходимо учитывать негативное отношение отдельных ОО к проектам атомной отрасли. Взаимодействие специалистов всех организаций, ведомств и учреждений, вовлеченных в работу по обеспечению РБ населения с ОО, способно улучшить качество коммуникации риска, способствовать формированию адекватного восприятия радиационного фактора населением и сохранить его.

Статья подготовлена в ходе выполнения работ по государственному контракту № Н.4Д.241.20.17.1026 от 20 марта 2017 г. по теме «Разработка и научное обоснование практических мероприятий по освещению в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации деятельности по повышению радиационной безопасности в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» в обеспечение мероприятия «Разработка методических основ и организация информационной работы с населением по вопросам радиационной безопасности в районах реализации мероприятий Программы» в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» с Госкорпорацией «Росатом»».

Литература

- Архангельская, Г.В. Проблемы риск-коммуникаций по вопросам радиационной безопасности: оценка информированности населения Санкт-Петербурга и Ленинградской области о деятельности атомной отрасли и его представления о факторах опасности / Г.В. Архангельская, С.А. Зеленцова, Н.М. Вишнякова, Е.В.Храмцов, К.В. Варфоломеева, Н.В. Соколов, В.С. Репин // Радиационная гигиена. – Т.10, №3. – С. 36-45.
- Соколов, Н.В. Проблемы риск-коммуникации при обеспечении радиационной безопасности: представление о радиации и атомной отрасли в массовом сознании по результатам социологических исследований в Санкт – Петербурге, Ленинградской и Мурманской областях / Н.В. Соколов, А.М. Библин, Л.В. Репин, Л.С. Рехтина // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10. № 3. – С. 46-56.
- Репин, В.С. Актуальность научно обоснованной организации информационной работы с населением по вопросам радиационной безопасности / В.С. Репин, Н.М. Вишнякова, А.М. Библин; под ред. А.Ю. Поповой // Актуальные вопросы организации контроля и надзора за физическими факторами: матер. Всеросс. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 336-340.
- Slovic, P. Informing and education the public about risk. Risk analysis, 1986, v. 6, N. 4, P. 403-415.
- Архангельская, Г.В. Методические подходы к информационной защите населения на основе представлений о социальной приемлемости радиационного риска / Г.В. Архангельская, И.А. Зыкова, С.А. Зеленцова // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 60-64.
- Библин, А.М. Риск-коммуникация при обеспечении радиационной безопасности: доверие населения к Интернету как источнику информации о радиационной обстановке / А.М. Библин, Р.Р. Ахматдинов; под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: матер. всеросс. науч.-практ. интернет-конф. молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – С. 263-274.
- Основы государства и права: Учеб. пособие для поступающих в юридические вузы / Под ред. академика О.Е. Кутафина. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Юристъ, 2000. – 416 с.
- Тишков, В.А. Антропология НПО / В.А. Тишков // Журнал «Неприкосновенный запас». – 2005. – № 1 (39) <http://magazines.russ.ru/nz/2005/1/ti4.html> (дата обращения: 15.02.2018).
- Халий, И.А. Экологическое сознание населения современной России / И.А. Халий // История и современность. – 2015. – №. 1 (21). – С. 189-205.
- Официальный сайт Всероссийского центра изучения общественного мнения. Нужны ли нашему обществу общественные организации? Дата публикации: 14.08.2014 Пресс-выпуск №2647: <http://wciom.ru/index.php?id=236&uid=114932> от 20.06.2016 г. (дата обращения: 15.02.2018).
- Работа общественных организаций в России: вовлеченность населения растет! Официальный сайт Всероссийского центра изучения общественного мнения. Дата публикации: 28.11.2017 Пресс-выпуск №3523: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=116556> (дата обращения: 15.02.2018)
- Пользование Интернетом. Официальный сайт Всероссийского центра изучения общественного мнения: https://wciom.ru/news/ratings/polzovanie_internetom/ (дата обращения: 12.10.2017).
- Официальный сайт Всероссийского центра изучения общественного мнения: <https://infographics.wciom.ru/theme-archive/society/mass-media/internet/article/socialnye-seti-kto-tuda-khodit-i-zachem.html> (дата обращения 13.10.2017 г.).
- Вандышева, Л. Опыт и практика эоактивизма в России / Л. Вандышева // Экология и право. – 2014. – № 1 (54). – С. 6-9.

Поступила: 19.02.2018 г.

Библин Артем Михайлович – и.о. руководителя Информационно-аналитического центра, младший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.biblin@niirg.ru

Вишнякова Надежда Михайловна – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Варфоломеева Ксения Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории экологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Зеленцова Светлана Александровна – младший научный сотрудник лаборатории экологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Храмцов Евгений Витальевич – научный сотрудник лаборатории экологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Ахматдинов Руслан Расимович – младший научный сотрудник Информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Библин А.М., Вишнякова Н.М., Варфоломеева К.В., Зеленцова С.А., Храмцов Е.В., Ахматдинов Р.Р. Проблемы риск – коммуникации: общественные организации и их роль в формировании общественного мнения по вопросам радиационной безопасности населения // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 101-112. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-101-112.

Problems of risk communication: non-governmental organizations and their role in the development of the public opinion on issues of population's radiation protection

Artem M. Biblin, Nadezhda M. Vishnyakova, Kseniya V. Varfolomeeva, Svetlana A. Zelentsova, Evgeniy V. Khramtsov, Ruslan R. Akhmatdinov

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Events connected with the development and improvement of the nuclear industry are usually ambiguously perceived by the public. Mass-media and Internet play a leading role in the development of the public opinion on the most relevant public life issues, ecology and radiation safety in particular. Non-governmental organizations can impact the adequate perception of the issues of the radiation safety in the region by the public. Materials and methods: this study is focused on the primary evaluation of the data on the results of the sociological survey of three regions of the North-West of the Russian Federation: St-Petersburg, Leningrad and Murmansk regions; and the assessment of the websites of the non-governmental organizations, activities of the non-governmental organizations in the Internet and social networks. Results: the study indicated that non-governmental organizations actively use Internet and social networks in their practice. All the relevant non-governmental organizations have websites and social network accounts. Based on the number of the subscribers in social networks, it was possible to mark two non-governmental organizations: Greenpeace and World Wildlife Fund (WWF) with more than 400000 subscribers each. VKontakte social network was assessed as the most effective mean of communicating with the public; a total number of subscribers on the groups of major non-governmental organizations exceeds 500000 persons. These two organizations are the most popular and trusted by the public. Greenpeace is known to 26% of respondents; WWF – to 11%. The

Artem M. Biblin

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: a.biblin@niirg.ru

population of the Murmansk region is more informed about the actions of the non-governmental organizations. 48% of the respondents in the Murmansk region named at least one non-governmental organization answering the question "What non-governmental organizations active in the field of radiation protection do you know?" with the corresponding 18% and 29% in St-Petersburg and Leningrad region respectively. Non-governmental organizations have a sufficient potential of influence on the adequate perception of the issues of the radiation protection by the public in the region; however, that potential is not fully implemented. Despite that, activities of the non-governmental organizations should be considered while developing the adequate perception of the radiation factors by the public.

Keywords: *non-governmental organizations, radiation safety, sociological survey, public opinion, risk-communication, public, internet.*

References

1. Arkhangelskaya G.V., Zelentsova S.A., Vishnyakova N.M., Khramtsov E.V., Varfolomeeva K.V., Sokolov N.V., Repin V.S. Risk-communication issues in radiation safety: evaluation of public awareness in St. Petersburg and the Leningrad region on the activities of the nuclear industry and public understanding of the hazards. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(3):36-45. (In Russian) DOI:10.21514/1998-426X-2017-10-3-36-45.
2. Sokolov N.V., Biblin A.M., Repin L.V., Rekhtina L.S. Risk-communication issues in radiation safety: Mass consciousness about radiation and nuclear industry based on the results of a sociological research in St. Petersburg, the Leningrad region and the Murmansk region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(3):45-56. (In Russian) DOI:10.21514/1998-426X-2017-10-3-45-56.
3. Repin V.S., Vishnyakova N.M., Biblin A.M. Actuality of the scientific-based organization of the information work with the public on the issues of the radiation safety. In *Actual questions of the organization of the control and surveillance on physical factors: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference*. Edited by A. Yu. Popova, 2017, pp. 336-340. (In Russian).
4. Slovic, P. Informing and education the public about risk. *Risk analysis*, 1986, v. 6, N. 4, pp. 403-415.
5. Arkhangelskaya G.V., Zykova I.A., Zelentsova S.A. Methodical aspects of the information safety of the public based on the concept of social adequacy of the radiation risk. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2010;3(1):60-64. (In Russian).
6. Biblin A.M., Akhmatdinov R.R. Risk-communication in the provision of the radiation safety: trust of the public to the internet as a source of the information on the radiation situation. *Fundamental and Applied aspects of risk to the health of the public: proceedings of the all-Russian scientific-practical internet-conference of young scientists and professionals of Rospotrebnadzor*. Edited by prof. A.Yu. Popova and academic of RAN N.V. Zaytseva. Perm, 2017, pp. 263-274. (In Russian).
7. Basics of Government and law: handbook for students entering the law education facilities. Edited by academic O.E. Kutafin. Moscow, 2000, 416 p. (In Russian).
8. Tishkov V.A. Anthropology of NGO. *Neprikosnovenny zapas*, 2005, №1 (39). – Available on: <http://magazines.russ.ru/nz/2005/1/ti4.html> (accessed: 15.02.2018) (In Russian).
9. Haliy E.A. Ecological consciousness of the modern Russian public. *Istoriya i sovremennost*, 2015, №. 1 (21), pp. 189-205. (In Russian).
10. Does our community need non-governmental organizations? Date of publish 14.08.2014 Press-release № 2647. – Available on: <http://wciom.ru/index.php?id=236&uid=114932> or 20.06.2016 г. (accessed: 15.02.2018) (In Russian).
11. Non-governmental organization work in Russia: involvement of the public increases. Date of publish: 28.11.2017 Press-release № 3523. – Available on: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=116556> (accessed: 15.02.2018) (In Russian).
12. Official website of all-Russian center of the assessment of the public opinion. – Available on: https://wciom.ru/news/ratings/polzovanie_internetom/ (accessed – 12.10.2017) (In Russian).
13. Official website of all-Russian center of the assessment of the public opinion. – Available on: <https://infographics.wciom.ru/theme-archive/society/mass-media/internet/article/socialnye-seti-kto-tuda-khodit-i-zachem.html> (accessed 13.10.2017 г.) (In Russian).
14. Vandisheva L. Experience and practice of ecoactivism in Russia. *Ecology and law*. 2014, № 1 (54), pp. 6-9. (In Russian).

Received: February 19, 2018

For correspondence: Artem M. Biblin – Head, Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: a.biblin@niirg.ru)

Nadezhda M. Vishnyakova – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Kseniya V. Varfolomeeva – Junior Researcher, Laboratory of Ecology, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Svetlana A. Zelentsova – Junior Researcher, Laboratory of Ecology, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Evgeniy V. Khramtsov – Researcher, Laboratory of Ecology, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Ruslan R. Akhmatdinov – Junior Researcher, Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Biblin A.M., Vishnyakova N.M., Varfolomeeva K.V., Zelentsova S.A., Khramtsov E.V., Akhmatdinov R.R. Problems of risk communication: non-governmental organizations and their role in the development of the public opinion on issues of population's radiation protection . Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 101-112. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-101-112.

Региональные особенности использования подземных вод как потенциального источника формирования радиационного фактора

Э.П. Лисаченко, Н.А. Королева

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Подземные воды являются одним из источников водоснабжения и важнейшим полезным ископаемым. Обогащение природных подземных вод изотопами радия — геохимическая закономерность, а их использование считается признанным источником дополнительного облучения населения и окружающей среды. Прогнозные ресурсы подземных вод на территории Российской Федерации составляют 869 055 тыс.м³/сут. На 01.01.2015 г. разведано 15 054 месторождения (участка) подземных вод, из которых 10 556 находятся в эксплуатации. По федеральным округам объемы добычи и извлечения подземных вод различаются во много раз. Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении в 35 субъектах Российской Федерации составляет от 70 до 100%; более чем в 30 областях она превышает 90%. Целиком за счет подземных вод осуществляет водоснабжение целый ряд крупных городов. Подземные воды в зависимости от области применения подразделяются на питьевые, технические, теплоэнергетические, промышленные и лечебные. Формирование многочисленных участков с повышенным содержанием природных радионуклидов для всех видов подземных вод в большой степени определяется объемом их использования. Организованному использованию подземных вод предшествует специальная водоподготовка, где возможно формирование доз облучения работающих выше допустимых уровней, установленных в НРБ-99/2009, и образование массы отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов. Во многих регионах страны существует перспектива постоянного увеличения объемов использования всех видов подземных вод и создания новых предприятий, что потребует контроля и радиационно-гигиенической оценки. Особо внимания требует использование попутных вод нефтегазовых месторождений, обладающих самым высоким содержанием природных радионуклидов среди подземных вод, как перспективного источника минерального сырья.

Ключевые слова: природные радионуклиды, подземные воды, региональные особенности, перспективы использования, радиационный фактор.

Введение

В настоящее время использование подземных вод является признанным источником дополнительного облучения населения и окружающей среды за счет содержания в них природных радионуклидов [1–3].

Обогащение подземных вод природными радионуклидами является геохимической закономерностью. Вместе с подземными водами в сферу хозяйственной деятельности и окружающую среду поступает поток природных радионуклидов (²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Pb, ²²²Rn), величина которого пропорциональна объему используемых вод [4, 5].

В зависимости от области применения подземные воды подразделяются на питьевые, технические, теплоэнергетические, промышленные и лечебные.

Общим для всех видов использования подземных вод является неизбежное накопление радионуклидов на элементах фильтрующих систем водоподготовки, их осаждение на внутренних поверхностях оборудования, поступление радионуклидов в воздух рабочей зоны, окружающую среду и формирование производственных отходов, зачастую с повышенным содержанием природных радионуклидов (до уровней десятков кБк/кг) [6]. Радиационная значимость этих процессов зависит не только от содер-

Лисаченко Эльвира Павловна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: elvira.lisachenko@gmail.com

жания радионуклидов в воде, длительности работы и технологических особенностей всей системы; в большей степени она определяется величиной использованного водного потока. Даже при содержании радионуклидов, допустимом для питьевой воды, использование больших водных потоков может приводить к формированию нежелательного радиационного фактора [3].

ОСПОРБ 99/2010 (п. 5.2.6.) предписывают проведение радиационного контроля на действующих предприятиях, «добывающих и перерабатывающих минеральное и органическое сырье и подземные воды, в результате деятельности которых образуются производственные отходы с $A_{эфф}$ более 1500 Бк/кг». В Методических указаниях МУ 2.6.1.2719-10 «Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов» отмечается возможность высокого содержания природных радионуклидов в подземных водах (п. 4.3), необходимость радиационного контроля в местах размещения фильтров-очистителей (п. 7.2) и возможность образования отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов (п. 6.3).

Подземные воды являются одним из источников водоснабжения и важнейшим полезным ископаемым. Пресные подземные воды, наряду с поверхностными водами, являются основой водного фонда России и служат главным образом для питьевых целей. Главным достоинством подземных вод для питьевого водоснабжения является относительно высокая степень их защищенности в условиях нарастающего ухудшения качества поверхностных вод. Подземные воды нередко являются единственным источником обеспечения населения питьевой водой, защищенным от загрязнения [7].

Общее распределение подземных вод

Ресурсная база пресных подземных вод для питьевого водоснабжения и обеспечения объектов промышленности характеризуется прогнозными запасами месторождений подземных вод, их добычей и использованием [8]. Прогнозные ресурсы подземных вод на территории Российской Федерации, по данным государственного мониторинга состояния недр (ГМСН), составляют 869 055 тыс. м³/сут. На 01.01.2015 г. на территории РФ разведано 15 054 месторождения (участка) подземных вод, из которых 10 556 находятся в эксплуатации. Запасы представляют собой разведанную или изученную часть прогнозных ресурсов подземных вод территории. По состоянию на 01.01.2016 г. общие утвержденные запасы подземных вод составили 82,1 млн м³/сут, из которых 17% приходится на Московскую область (9,5 млн м³/сут) и Краснодарский край (4,4 млн м³/сут) [9].

Распределение прогнозных ресурсов подземных вод по территории РФ неравномерное: 77,2% от общей величины прогнозных ресурсов подземных вод сосредоточено в Северо-Западном, Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах [9]. Объемы добычи и извлечения подземных вод по федеральным округам различаются в несколько раз [10] (рис. 1).

Подземные воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения эксплуатируются неравномерно. В 35 субъектах

РФ доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении составляет от 70 до 100%; в 12 субъектах доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении не превышает 10–20%. Наибольшим объемом использования подземных вод характеризуются Московская область, Краснодарский край, Республика Башкортостан, Воронежская область.

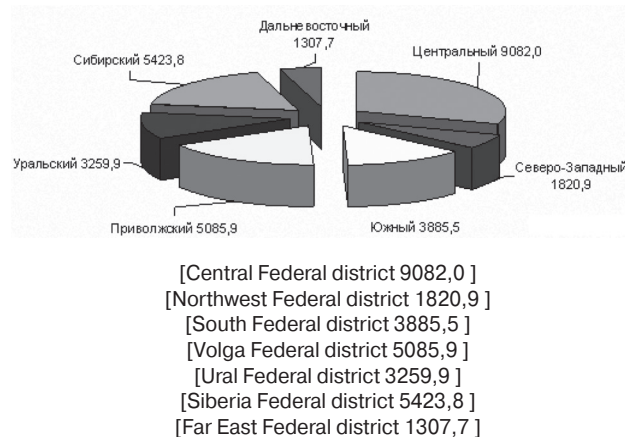


Рис. 1. Распределение объемов добычи и извлечения подземных вод в 2007 г. по федеральным округам, тыс. м³/сут (2007 г.) [10]

[Fig. 1. Distribution of the volume of extraction of groundwater in 2007 by Federal districts, thousand m³/day (2007) [10]]

Доля подземных вод превышает 90% в хозяйственно-питьевом водоснабжении в Орловской, Смоленской, Тверской, Тульской, Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой, Тамбовской, Оренбургской, Томской и Читинской областях, в Краснодарском крае, в республиках Бурятия, Хакасия, Адыгея, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия – Алания, Марий Эл, Мордовия, в Усть-Ордынском, Ачинском и Бурятском автономных округах. От 70 до 90% составляет доля подземных вод в Брянской, Владимирской, Калужской, Московской, Амурской и Камчатской областях, в республиках Башкортостан и Тыва, в Коми-Пермяцком, Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономном округах, в Еврейской автономной области [11, 12].

Практически целиком за счет подземных вод осуществляется водоснабжение городов Краснодар, Воронеж, Тамбов, Белгород, Липецк, Грозный, Курск, Сургут. Смешанные источники водоснабжения (поверхностные и подземные воды) используют Барнаул, Рязань, Калуга, Йошкар-Ола и др. Система водоснабжения крупных городов за счет подземных вод, как правило, включает в себя систему централизованного водоснабжения, а также большое количество автономных водозаборов, доля которых может достигать 20–30% [13].

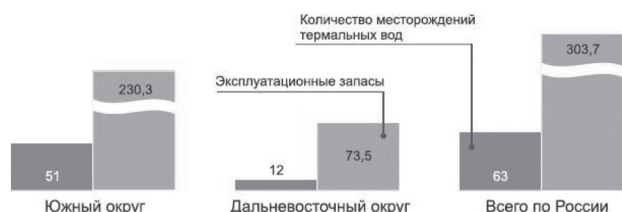
Организованному использованию подземных вод предшествует водоподготовка, которая удаляет из воды вредные примеси и проводит предварительную обработку воды для коммунальной сферы и различных отраслей производства. Материалы МАГАТЭ, ЕС и имеющиеся сведения по отечественным предприятиям свидетельствуют о возможности формирования доз облучения работающих на предприятиях водоподготовки, достигающих регламентированных уровней для персонала группы А [3, 14], в основном за счет радона. Существенным может оказаться внешнее облучение работающих от накопившихся осадков на элемен-

тах системы водоподготовки с повышенным содержанием природных радионуклидов. Масса образующихся отходов может быть весьма значительной при повышенном содержании радионуклидов. Коэффициент перехода ^{226}Ra в производственные отходы при длительной работе предприятия водоподготовки может составлять $\sim 10^4$ [3]. Приведенные данные относятся не только к питьевым, но и ко всем другим видам использования подземных вод.

Термальные подземные воды

Теплоэнергетические (термальные) подземные воды могут использоваться для выработки тепла и электроэнергии, в качестве гидроминерального сырья для извлечения ценных химических элементов и их соединений, а также как минеральные воды бальнеологического назначения. Масштабы добычи и использования геотермальной энергии в XXI в. должны обеспечить ее значимую роль в топливно-энергетическом балансе России [15].

По состоянию на 01.01.2007 г. в государственном балансе были учтены 63 месторождения термальных вод (рис. 2).



Южный округ [South Federal district]: ■ – 51; ■ – 230,3

Дальневосточный округ [Far East South Federal district]:

■ – 12; ■ – эксплуатационные запасы 73,5

[Operational supplies]

Всего по России [Total in Russia]:

■ – количество месторождений термальных вод – 63

[The number of deposits of thermal waters]; ■ – 303,7]

Рис. 2. Количество месторождений и эксплуатационных запасов термальных вод в федеральных округах России [8]
[Fig. 2. The number of deposits and operating reserves of thermal waters in the Federal districts of Russia [8]]

Прямое использование геотермальной энергии широко распространено на Курильских островах, Камчатке, Северном Кавказе, в Западной и Восточной Сибири, в рай-

оне озера Байкал. Наибольшими ресурсами геотермальной энергии обладает Республика Бурятия [16]. В настоящее время эксплуатируются ГеоЭС: Паужетская с 1966 г., Омега (о. Кунашир) с 1992 г., Верхнее-Мутновская с 1999 г., Менделеевская с 2001 г. (о. Кунашир), Мутновская с 2002 г., Океанская (о. Итуруп) с 2006 г. [17].

Запасами геотермальной энергии обладает значительная часть страны. Основные ресурсы термальных вод страны расположены на Северном Кавказе и Дальнем Востоке. Большие запасы подземного тепла имеются в Западной Сибири. Выявлены термальные ресурсы и в южных областях Восточной Сибири. В традиционных районах освоения геотермальных ресурсов (Северный Кавказ, Камчатский край) отмечены благоприятные предпосылки для дальнейшего развития геотермального производства. Намечается разработка региональных проектов ускоренного освоения геотермальных ресурсов. Среди них первоочередные проекты: Кавказские термальные воды; геотермальная энергетика Дальнего Востока; геотермальные ресурсы Западной Сибири [18]. К 2015–2020 гг. возможно доведение добычи термальных вод в стране до 130 млн $\text{м}^3/\text{год}$ (табл. 1).

Наибольшими потенциальными геотермальными ресурсами обладают Дальневосточный, Восточно-Сибирский, Западно-Сибирский и Северный регионы (табл. 2).

Таблица 2

Потенциальные геотермальные ресурсы территории России [15]

[Table 2]

Potential geothermal resources of the territory of Russia [15]

Регионы России [Regions of Russia]	Потенциальные геотермальные ресурсы, трлн т условного топлива [Potential geothermal resources, trillion. tons of equivalent fuel]
Северный [Northern]	132
Северо-Западный [Northwestern]	18
Центральный [Central]	35
Центрально-Черноземный [Central Black Earth]	19
Волго-Вятский [Volgo-Vyatsky]	12

Таблица 1

Перспективы использования геотермальных ресурсов в Российской Федерации на 2015–2020 гг., млн. $\text{м}^3/\text{год}$ [18]

[Table 1]

Prospects of use of the geothermal resources in the Russian Federation in 2015–2020; mln $\text{м}^3/\text{year}$ [18]

Традиционные районы: [Traditional districts]		Новые районы [New districts]		
Северный Кавказ [North Caucasus]	Камчатский край [Kamchatka region]	Западная Сибирь [Western Siberia]	Восточная Сибирь [Eastern Siberia]	Дальний Восток [Far East]
51,9	40,0	20	7,8	9,5
Всего по РФ 129,2 млн $\text{м}^3/\text{год}$ [Total for Russia is 129.2 million $\text{м}^3/\text{year}$]				

Окончание таблицы 2

Регионы России [Regions of Russia]	Потенциальные геотермальные ресурсы, трлн т условного топлива [Potential geothermal resources, trillion tons of equivalent fuel]
Поволжский [Povolzhsky]	59
Северо-Кавказский [North-Caucasian]	45
Уральский [Urals]	64
Западно-Сибирский [West-Siberian]	258
Восточно-Сибирский [East Siberian]	364
Дальневосточный [Far East]	696
Итого по России [Total for Russia]	1702

Планируется использование глубинного тепла Земли в Камчатском и Краснодарском краях, Омской и Калининградской областях. Возможно создание локальных систем теплоснабжения в Вологодской, Ивановской, Костромской, Московской, Нижегородской, Новгородской, Тверской и Ярославской областях [15].

В качестве приоритетных геотермальных проектов предлагается: увеличение мощностей и модернизация имеющихся ГеоЭС на Камчатке и Курильских островах; сооружение систем электро- и теплоснабжения в Краснодарском крае (г. Лабинск, пос. Мостовской и Розовый), в Ставропольском крае и Калининградской области. Прогнозируется введение новых геотермальных и теплогенерирующих мощностей в Республике Дагестан и Чеченской Республике [17, 19]. Перспективными считаются Забайкалье и юг Восточной Сибири. На Северо-Западе России выделено 4 тепловых аномалии: Балтийская, Ленинградская, Московская, Тимано-Печорская. В Калининградской и Московской областях имеются благоприятные районы для строительства геотермальных циркулярных систем. В Тимано-Печорской провинции имеется перспективная Ухта-Ижемская тепловая аномалия [5, 20].

Термальные воды являются минеральным сырьем для получения ценных химических элементов: Cs, B, Sr, Ta, Mg, Ca, W; из них можно извлекать I, Br, V и др. [21, 22].

При использовании теплоэнергетических подземных вод основную радиационную проблему создают осадки на оборудовании. Производственные отходы, образующиеся при использовании геотермальных вод, как правило, характеризуются повышенным содержанием природных радионуклидов. Существенным может оказаться радоновыделение из отвалов и оборудования [2]. Кроме того, происходит накопление ^{226}Ra в сульфатных отложениях термальных источников. При растущем использовании термальных вод необходима достоверная информация для предупреждения об опасности их бесконтрольного использования [23].

Геотермальные установки могут эксплуатироваться гораздо дольше, чем нефтяные и газовые месторождения [24], поэтому проблемы обеспечения радиационной безопасности населения здесь со временем могут стать острее.

Промышленные подземные воды

К промышленным относят подземные воды и рассолы, способные обеспечить рентабельную добычу из них редких металлов и рассеянных элементов. В качестве промышленных могут служить термальные [22] и пластовые воды нефтегазовых месторождений [24].

Показана перспективность комплексной переработки высокотемпературных геотермальных рассолов Тарумовского геотермального месторождения (Северный Кавказ), которое позволит полностью обеспечить потребности России в карбонате лития и поваренной соли [25]. Предлагается извлечение минералов из геотермальных растворов на геотермальных месторождениях Камчатки [22].

На основе промышленно освоенных технологий имеется реальная возможность производства из пластовых вод I, Br, Li, Cs, B, Sr, Ta, солей Na, Ca, Mg и др. в необходимых масштабах [24]. В минерализованных подземных водах и рассолах на территории России и СНГ содержатся также огромные запасы редкометалльного сырья – свыше 55% общих запасов Li, 40% Rb и 35% Cs [21].

Пластовые воды, добываемые попутно с нефтью и газом на территории России, и воды, локализованные в пределах выработанных нефтегазовых месторождений и разведочных площадей на нефть и газ, в настоящее время являются относительно хорошо изученными подземными водами. В РФ ежегодный объем добываемых попутно с нефтью пластовых вод составляет около 800 млн м³. Законом РФ «О недрах» предусмотрена комплексная разработка всех видов полезных ископаемых, в том числе нефтяных и газовых. Возможность организации производства I, Br, Li и других компонентов из попутных подземных вод нефтяных и газовых месторождений в последние годы рассматривается многими исследователями, а также нефтяными и газовыми компаниями. Это направление деятельности было представлено на III Международной научно-практической конференции «Восстановление и развитие йодобромной отрасли химической промышленности Российской Федерации». Разработаны критерии отнесения месторождений углеводородов к объектам совместного освоения углеводородного и гидроминерального сырья [26].

Перспектива использования гидроминерального сырья касается многих регионов. Реальная ресурсная база промышленных подземных вод России на данный момент представлена пятью месторождениями: месторождения йодных вод – в Краснодарском крае и Тюменской области, йодо-бромных – в Пермском крае с общим количеством запасов 327,1 тыс. м³/сут; Астраханское с запасами йодных вод 31,8 тыс. м³/сут и Северодвинское в Архангельской области с запасами йодных вод 15,4 тыс. м³/сут. [27].

Районами возможного расширения или организации новых предприятий в России являются: по йоду – Краснодарский край и Тюменская область, по брому – Пермский и Иркутский край, по производству большого комплекса редких элементов и солей из подземных вод – Восточно-Предкавказский бассейн и др. В Тобольском районе Тюменской области сосредоточена почти половина всех запасов йода страны. В следующем году здесь планируют начать обустройство месторождения. На 2018 год уже намечено строительство первой очереди завода [28].

Запасы гидроминерального литийсодержащего сырья в виде глубинных пластовых рассолов и минерализованных вод сосредоточены в Северо-Кавказском и Сибирском регионах [29]. Планируется создание йодобромного производства на территории Ставропольского края [30]. Наиболее благоприятными для комплексного освоения углеводородного и гидроминерального сырья в настоящее время являются юг Иркутской области и юго-запад Республики Саха (Якутия), где открыты и готовятся к разработке месторождения газа и нефти [27]. Это относится и к Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции в Республике Коми, которая включает в себя нефтяные и газовые месторождения [31]. Предлагается использование попутных пластовых вод Оренбургского нефтегазового комплекса в качестве гидроминерального сырья [32].

Попутные воды нефтяных месторождений рассматриваются как перспективный источник минерального сырья на территории Саратовской области [33]. Существует перспектива освоения гидроминерального сырья Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции [34].

Подземные воды нефтегазоносных бассейнов в настоящее время являются отходами производства и, как правило, отличаются высоким содержанием природных радионуклидов. В соленых водах и рассолах нефтегазоносных бассейнов концентрация радия достигает $n \cdot 10^{-8}$ – $n \cdot 10^{-10}$ г/л при его средней концентрации в водах Мирового океана – $1 \cdot 10^{-13}$ г/л [35].

В технологиях извлечения йода из подземных вод неизбежно образуются осадки на оборудовании с повышенным содержанием радия; коэффициент накопления радия в осадках на оборудовании относительно его содержания в воде составляет $\sim (1 \div 1,3) \cdot 10^4$ [36].

С большой вероятностью можно ожидать повышенное содержание радия в отходах и при других технологиях использования подземных вод нефтегазоносных бассейнов и формирования радиационного фактора, требующего вмешательства.

Минеральные подземные воды

На 01.01.2008 г. в государственном балансе учтены водные запасы 845 месторождений минеральных подземных вод с объемом 343,4 тыс. м³/сут. Запасы и ресурсы минеральных вод неравномерно распределены по территории России – 75% их сосредоточено в Центральном районе европейской части РФ и на Северном Кавказе [8].

По химическому составу и физическим свойствам выделяют несколько областей и районов природных минеральных вод: области углекислых вод – Закарпатье, Кавказ, Памир, Южный Тянь-Шань, Саяны, Забайкалье, Сихотэ-Алинь; азотные термальные источники находятся на Тянь-Шане и Алтае; сероводородные, азотометановые – на Кавказе; радоновые и железистые – в Карелии, на Кольском полуострове, на Урале в Свердловской и Челябинской областях, в Башкортостане, в Пятигорске, в Алтайском крае и др. [38].

В пределах только одного федерального курортного региона Кавказских Минеральных Вод насчитывается более 80 источников и скважин с минеральными водами 24 различных типов, с общими эксплуатационными запасами 29,7 тыс. м³/сут [39].

Россия располагает огромными возможностями расширения запасов и использования минеральных подземных

вод на территории Сибирского региона в Новосибирской, Иркутской и Читинской областях, в Бурятии и др. [40].

Потоки использования минеральных вод на разных месторождениях сильно различаются и могут достигать нескольких тыс. м³/сут, что составляет многие миллионы м³/год. Ориентиром могут служить данные 1999 г. (табл. 3) [5].

Таблица 3

Потоки минеральных вод на разных месторождениях

[Table 3]

Flows of mineral waters in different deposits

Адрес месторождения (курорта) [Field (resort) address]	Поток, м ³ /сутки [Flow, m ³ / day]
Кисловодск [Kislovodsk]	2000
Ессентуки [Yessentuki]	800
Сочи (Мацеста) [Sochi (Matsesta)]	7206
Ключевское (Татарстан) [Klyuchevskoye (Tatarstan)]	777
Сергиевское (Самарская обл.) [Sergievskoe (Samara region)]	6559
Старая Русса [Staraya Russa]	21600
Краинское (Тульская обл.) [Krainskoye (Tula region)]	960
Липовское (Свердловская обл.) [Lipovskoe (Sverdlovsk region)]	432
Увельдинское (Челябинская обл.) [Uveldinskoe (Chelyabinsk region)]	432

Для добычи минеральных вод используют буровые скважины, реже – колодцы; есть источники минеральных вод, которые сами изливаются на поверхность в виде родников и ключей [39].

При использовании минеральных вод повышенное содержание радионуклидов встречается в отложениях минеральных источников [41]. Происходит отложение изотопов радия на оборудовании, возможно формирование отходов с повышенным содержанием радионуклидов; тем более что объемы водных потоков месторождений минеральных вод весьма велики.

Заключение

География существующих и потенциальных объектов использования подземных вод охватывает большую территорию.

Из проведенного анализа следует, что во многих регионах страны используются большие объемы подземных вод. При этом существует вероятность дополнительного облучения работающих на предприятиях, использующих и/или перерабатывающих подземные воды, которое может оказаться выше допустимых уровней облучения работников, установленных в НРБ-99/2009. Кроме того, неизбежно формирование больших масс отходов, зачастую с повышенным содержанием радионуклидов, которые могут бесконтрольно поступать в хозяйственный оборот, использоваться в строительстве, рассеиваться в окружающей среде.

Перспектива увеличения объемов использования подземных вод, создание новых предприятий во многих регионах страны приведет к увеличению численности населения, оказавшегося под радиационным воздействием в связи с поступлением природных радионуклидов в сферу производства и окружающую среду.

На сегодняшний день радиационный контроль и гигиеническую оценку питьевой воды по показателям радиационной безопасности регламентируют нормативные документы НРБ-99/2009 (п. 5.3.5), СанПиН 2.6.1.2800-10 (п. 4.3), МУ 2.6.1.1981-05, МУ 2.6.1.2719-10. В ряде работ проведена оценка доз облучения населения за счет потребления питьевой воды, в том числе подземных вод [42, 43].

Вместе с тем, на сегодня явно недостаточно информации о поведении природных радионуклидов во многих других сферах использования подземных вод: в геотермальной энергетике, при получении из подземных вод ценных химических элементов и соединений, при использовании больших объемов подземных вод как необходимой компоненты промышленных технологий (металлургия, целлюлозно-бумажное производство и др.). Особого внимания заслуживает перспектива промышленного использования пластовых вод, создающих радиационные проблемы на предприятиях нефтегазового комплекса из-за повышенного содержания в них природных радионуклидов.

Радиационный контроль в перечисленных направлениях использования подземных вод до недавнего времени практически отсутствовал. Для его осуществления необходима разработка методических указаний и методических рекомендаций, учитывающих особенности поведения природных радионуклидов при использовании технических, термических и промышленных подземных вод. При создании новых предприятий оптимальным представляется использование имеющихся данных уже на этапе проектирования предприятий для предотвращения ухудшения радиационной обстановки на соответствующих объектах и вблизи них.

Литература

1. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. V. 1. United Nations. New York, 2010.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical reports series № 419. Vienna, 2004.
3. EUROPEAN COMMISSION. Nuclear Safety and the Environment. Radiological Impact due to Wastes containing Radionuclides from Use and Treatment of Water. Authors. J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingender, J. Wörner. Report EUR 19255 Directorate General Environment. May 2000.
4. Вартанян, Г.С. Использование и перспективы освоения минеральных, термальных и промышленных вод / Г.С. Вартанян, В.А. Комягина, Р.И. Плотникова [и др.] // Гидрогеол., инж. геология: Обзор. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – 86 с.
5. Лисаченко, Э.П. Использование глубинных вод как объект радиационно-гигиенических исследований / Э.П. Лисаченко, И.П. Статат // Радиационная гигиена: сб. науч. трудов. – СПб., 2006. – С. 185–192.
6. Лисаченко, Э.П. Формирование радиационного фактора при использовании подземных вод в промышленности / Э.П. Лисаченко // Радиационная гигиена. – 2014. – Т.7, № 2. – С. 50–54.
7. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2015 году. Государственный доклад // НИА: Природа. – 2016. – 270 с.: <http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=11584> (дата обращения: 24.07.2017).
8. Информационно-аналитический центр МИНЕРАЛ Подземные воды: mineral.ru/facts/russia/131/291/index.html (дата обращения: 14.07.2017).
9. Центр государственного мониторинга состояния недр. Запасы подземных вод и их использование: http://www.geomonitoring.ru/mpv_zapas.aspx (дата обращения: 14.07.2017).
10. Подземные воды России: protown.ru/information/hide/2842.html (дата обращения: 27.08.2017).
11. Язвин, Л.С. Оценка прогнозных ресурсов питьевых подземных вод и обеспеченность населения России подземными водами для хозяйственно-питьевого водоснабжения / Л.С. Язвин // Главная Библиотека ГИДЭК «Разведка и охрана недр». – 2003. – № 10: <http://www.hydrogeoecology.ru/main-activities/48/88-2011-06-07-09-22-00.html> (дата обращения: 12.07.2017).
12. Вода России. Научно-популярная энциклопедия: <http://water-ru.ru> (дата обращения: 24.07.2017).
13. Олиферова, О.А. Особенности оценки эксплуатационных запасов подземных вод на территориях крупных городов / О.А. Олиферова // Разведка и охрана недр. – 2010. – №10: www.hydrogeoecology.ru/.../54-osobennosti-otsenki-ekspluatatsionn (дата обращения: 25.07.2017).
14. Лисаченко, Э.П. Возникновение радиационного фактора в системах водоподготовки при использовании подземных вод / Э.П. Лисаченко // Матер. науч.-практ. конф. «Чистая вода-здоровый город. Гигиенические проблемы питьевого водоснабжения северо-запада». – СПб., 2016. – С. 39–42.
15. Богуславский, Э.И. Использование геотермальной энергии в целях теплоснабжения геотермальными циркуляционными системами (ГЦС) / Э.И. Богуславский // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические Системы». – 2009. – № 2.: http://journal.esco.co.ua/2009_2/art143.htm (дата обращения: 09.08.2017).
16. Стенников, В.А. Применение геотермальных источников в теплоснабжении / В.А. Стенников, С.В. Жарков, П.А. Соколов // Промышленная энергетика. – 2014. – № 4. – С. 50–54.
17. Томаров, Г.В. Развитие Российских геотермальных энергетических технологий / Г.В. Томаров, А.И. Никольский, В.Н. Семенов, А.А. Шипков // Теплоэнергетика. – 2009. – № 11. – С. 2–12.
18. Омаров, М.А. Перспективы использования геотермальных и гидроминеральных ресурсов / М.А. Омаров, С.И. Саркаров, С.И. Белан // Вестник Российской академии естественных наук. – 2010. – С. 33–40.
19. Алиев, Р.М. Перспективы крупномасштабного использования геотермальной энергии в республике Дагестан / Р.М. Алиев, В.А. Васильев, М.И. Исрапилов [и др.] // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2010. – № 5. – С. 125–131: <http://naukarus.com/perspektivy-kрупnomasshtabnogo-ispolzovaniya-geotermalnoy-energii-v-respublike-dagestan> (дата обращения: 18.07.2017).
20. Геотермальная энергетика России. Интернет-портал «ГИС Энергоэффективность»: <https://gisee.ru/articles/alternate/24511/> (дата обращения: 09.08.2017).
21. Свалова, В.Б. Комплексное использование геотермальных ресурсов / В.Б. Свалова // Георесурсы. – 2009. – № 1(29). – С. 17–23: <https://geors.ru/archive/article/446/> (дата обращения: 28.08.2017).
22. Горбач, В.А. Проблемы утилизации отработанных геотермальных растворов / В.А. Горбач // Георесурсы. – 2014. – № 3(58). – С. 44–48.
23. Пузанков, Ю.М. Радиоактивные элементы в гидротермальных системах Камчатки / Ю.М. Пузанков, В.А. Бобров, В.А. Рашидов [и др.] // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы II междунар. конф. – Томск, 2004. – С. 491–492.
24. Литвиненко, В.И. Эколого-технологические основы комплексного использования пластовых вод нефтяных месторождений / В.И. Литвиненко, Н.Д. Цхадая, В.Н. Волков. – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2001. – 59 с.

25. Алхасов, Д.А. Комплексное освоение геотермальных ресурсов / Д.А. Алхасов, Р.М. Алиев, А.Ш. Рамазанов // Юг России: экология, развитие. – 2016. – Т.11, № 1. – С. 149–158.
26. Бураков, Ю.Г. Совместное освоение углеводородного и гидроминерального сырья на месторождениях нефти и газа / Ю.Г. Бураков. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – № 4 (20). – С. 59–68.
27. Плотникова, Р.И. Состояние ресурсной базы промышленных подземных вод (гидроминерального сырья) России и проблемы ее освоения / Р.И. Плотникова // Электронный научный журнал «Георесурсы, Геоэнергетика, Геополитика»: http://oilgasjournal.ru/vol_4/plotnikova.html (дата обращения: 24.07.2017).
28. Фатеев, А. Снова пахнет йодом! / А. Фатеев / Парламентская газета «Тюменские известия». – 7 февраля 2015. – №18 (6161): <http://tyumen.rfn.ru/rnews.html?id=169829&cid=6> или <http://t-i.ru/article/new/3831> (дата обращения: 28.07.2017).
29. Рябцев, А.Д. Гидроминеральное сырье – неисчерпаемый источник лития в XXI веке / А.Д. Рябцев // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307, № 7. – С. 64–70.
30. Перспективы развития йодобромного производства на территории Ставропольского края: <http://www.chemmarket.org/ru/home/article/4177/> (дата обращения: 12.09.2017).
31. Ланина, Т.Д. Процессы переработки пластовых вод месторождений углеводородов / Т.Д. Ланина, В.И. Литвиненко, Б.Г. Варфоломеев. – Ухта: УГТУ, 2006. – 172 с.
32. Саркаров, Р.А. Использование попутных пластовых вод Оренбургского НГКМ в качестве гидроминерального сырья / Р.А. Саркаров // Газовая промышленность. – 2009. – № 6. – С. 21–22.
33. Клычев, Н.В. Попутные воды нефтяных месторождений – перспективный источник минерального сырья на территории Саратовской области / Н.В. Клычев, О.К. Навроцкий // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2003. – Вып. 2. – С. 9–17.
34. Резуненко, В.И. Перспективы добычи йода и брома из гидроминерального сырья в Ставропольском крае / В.И. Резуненко, В.В. Зиновьев, Г.П. Ставкин [и др.] // Газовая промышленность. – 2003. – № 5. – С. 84–86.
35. Вожов, В.И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции / В.И. Вожов. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006. – 209 с.
36. Алексеев, Ф.А. Радиохимические и изотопные исследования подземных вод нефтегазоносных областей СССР / Ф.А. Алексеев, Р.П. Готтих, С.А. Сааков, Э.В. Сокольский. – М.: Недра, 1975. – 262 с.
37. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов в технологическом процессе выделения йода из буровых вод воздушносорбционным методом / С.М. Гращенко [и др.] // Радиохимия. – 1997. – Т. 39. – С. 93–96.
38. Минеральные воды России: protown.ru/information/hide/2836.html (дата обращения: 18.09.2017)
39. Гидроминеральные лечебные ресурсы РФ, состояние и распространение, проблемы разработки и использования: <http://lektisii.org/5-75867.html> (дата обращения: 19.09.2017).
40. Водные ресурсы России: geographyofrussia.com/vodnyeresursy-rossii/ (дата обращения: 19.09.2017).
41. Мельгунов, С.В. Радионуклиды в отложениях минеральных источников Южной Тувы // С.В. Мельгунов Ю.М. Пузанков, М.С. Мельгунов [и др.] // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II междунар. конф. – Томск, 2004. – С. 375–377.
42. Кадука, М.В. Оценка доз облучения населения Северо-Западного региона России за счет потребления питьевой воды / М.В. Кадука, Н.С. Швыдко, В.Н. Шутов, Л.Н. Басалаева, Ю.Н. Гончарова, Н.В. Салазкина, А.Н. Кадука // Радиационная гигиена. – Т. 3, № 1. – 2010. – С. 23–27.
43. Гончарова, Ю.Н. Оценка доз внутреннего облучения населения различных регионов Российской Федерации природными и техногенными радионуклидами за счет потребления питьевой воды / Ю.Н. Гончарова, Л.Н. Басалаева, М.В. Кадука, Н.С. Швыдко, А.Н. Кадука // Радиационная гигиена. – Т. 3, № 2. – 2010. – С. 39–44.

Поступила: 09.01.2018 г.

Лисаченко Эльвира Павловна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: elvira.lisachenko@gmail.com

Королева Надежда Андреевна – старший научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Лисаченко Э.П., Королева Н.А. Региональные особенности использования подземных вод как потенциального источника формирования радиационного фактора // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 113–122. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-113-122

Regional features of the use of groundwater as a potential source of the formation of the radiation factor

Elvira P. Lisachenko, Nadezhda A. Koroleva

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Underground water is one of the sources of water supply and the most important mineral resources. The enrichment of natural groundwater with radium isotopes is a geochemical regularity, and their use a recognized source of additional exposure to the population and the environment. Forecast resources of groundwater in the territory of the Russian Federation are 869055 thousand m³/day. As of 01.01.2015, 15054 deposits (sections) of groundwater have been explored, of which 10556 are in operation. In the federal districts, the volume of extraction and extraction of groundwater varies widely. The percentage of groundwater in domestic and drinking water supply in 35 regions of the Russian Federation ranges from 70 to 100%; in more than 30 regions it exceeds 90%. A whole series of large cities provide water supply through the underground water. Underground waters, depending on the field of application, are divided into drinking, technical, heat power, industrial and medical. The formation of numerous areas with an increased content of natural radionuclides for all types of groundwater is largely determined by the volume of their use. Organized use of groundwater is preceded by special water treatment, where it is possible to form doses of exposure to those above permissible levels established in NRB-99/2009 and the formation of a mass of waste with an increased content of natural radionuclides. In many regions of the country, there is a prospect of a constant increase in the use of all types of groundwater and the creation of new enterprises, which will require monitoring and radiation and hygienic assessment. Particular attention should be paid to the use of associated waters of oil and gas fields that have the highest content of natural radionuclides among groundwaters as a promising source of mineral raw materials.

Key words: natural radionuclides, groundwater, regional peculiarities, perspectives of use, radiation factor.

References

1. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. V. 1. United Nations. New York, 2010.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical reports series № 419. Vienna, 2004.
3. EUROPEAN COMMISSION. Nuclear Safety and the Environment. Radiological Impact due to Wastes containing Radionuclides from Use and Treatment of Water. Authors: J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingender, J. Worner. Report EUR 19255 Directorate General Environment. May 2000.
4. Vartanyan G.S., Komyagina V.A., Plotnikova R.I. [et al.] The use and prospects of development of mineral, thermal and industrial waters. *Gidrogeologiya, inzhenernaya geologiya* = Hydrogeology, eng. Geology: Review. Moscow, Geoinformmark, 1999, 86 p. (In Russian).
5. Lisachenko E.P., Stamat I.P. Use of deep waters as an object of radiation and hygienic research. *Radiation Hygiene: collection of scientific works*. Saint-Petersburg, 2006, pp. 185-192. (In Russian).
6. Lisachenko E.P. The formation of radiation factor during the use of underground water in industry. *Radiatsionnaya gygiena* = Radiation Hygiene, 2014, Vol.7, №2, pp. 50-54. (In Russian).
7. On the Condition and Use of Water Resources of the Russian Federation in 2015. State report. 2016, 270 p. – Available from: <http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=11584> (Accessed: July 24, 2017). (In Russian).
8. Information and Analytical Center MINERAL Underground waters. – Available from: mineral.ru/facts/russia/131/291/index.html (Accessed: July 14, 2017). (In Russian).
9. Center for state monitoring of mineral wealth. Reserves of groundwater and their use. – Available from: http://www.geo-monitoring.ru/mpv_zapas.aspx (Accessed: July 14, 2017). (In Russian).
10. Underground waters of Russia. – Available from: protown.ru/information/hide/2842.html (Accessed: August 27, 2017). (In Russian).
11. Yazvin L.S. Estimation of the forecasted resources of drinking groundwater and provision of the Russian population with groundwater for domestic and drinking water supply. Library GIDEK «Prospect and protection of mineral resources», 2003, № 10 – Available from: <http://www.hydrogeoecology.ru/main-activities/48/88-2011-06-07-09-22-00.html> (Accessed: July 07, 2017). (In Russian).
12. Water of Russia. Popular science encyclopedia – Available from: <http://water-rf.ru> (Accessed: July 12, 2017). (In Russian).

Elvira P. Lisachenko

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: elvira.lisachenko@gmail.com

13. Oliferova O.A. Estimation peculiarities of underground water supply at the territory of big cities. *Razvedka i okhrana neдр = Prospect and protection of mineral resources*, 2010, № 10. – Available from: www.hydrogeoecology.ru/.../54-osobennosti-otsenki-ekspluatatsionn (Accessed: July 24, 2017). (In Russian).
14. Lisachenko E.P. Occurrence radiation factor in water treatment systems using groundwater. *Proceedings of the Conference «Clean water is a healthy city. Hygienic problems of drinking water supply in the north-west»*. Saint-Petersburg, 2016, pp. 39-42. (In Russian).
15. Boguslavsky E.I. Use of geothermal energy for the purpose of heat supply by geothermal circulation systems. *Elektronnyy zhurnal energoservisnoy kompanii «Ekologichskie Sistemy» = Electronic Journal of the Energy Service Company «Ecological Systems»*, 2009, № 2. – Available from: http://journal.esco.co.ua/2009_2/art143.htm (Accessed: August 09, 2017). (In Russian).
16. Stennikov V.A., Zharkov S.V., Sokolov P.A. Application of geothermal sources in heat supply. *Promyshlennaya energetika = Industrial power engineering*, 2014, № 4, pp. 50-54. (In Russian).
17. Tomarov G.V., Nikolsky A.I., Semenov V.N., Shipkov A.A. Development of geothermal power engineering technologies in Russia. *Teploenergetika = Thermal Engineering*, 2009, № 11, pp. 2-12. (In Russian).
18. Omarov M.A., Sarkarov S.I., Belan S.I. Prospects of utilizing geothermal and hydro-mineral resources. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk = Herald of Russian Academy of Natural Sciences*, 2010, pp. 33-40. (In Russian).
19. Aliiev R.M., Vasiliev V.A., Israpilov M.I. [et al.] The prospects on the large-scale utilization of geothermal energy in Republic Daghestan. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*, 2010, № 5, pp. 125-131. – Available from: <http://naukarus.com/perspektivy-krupnomasshtabnogo-ispolzovaniya-geotermalnoy-energii-v-respublike-dagestan> (Accessed: July 18, 2017). (In Russian).
20. Geothermal power engineering in Russia. Internet portal «GIS Energy Efficiency». – Available from: <https://gisee.ru/articles/alternate/24511/> (Accessed: August 09, 2017). (In Russian).
21. Svalova V.B. Complex use of geothermal resources. *Georesursy = Georesources*, 2009, № 1(29), pp. 17-23. – Available from: <https://geors.ru/archive/article/446/> (Accessed: August 28, 2017). (In Russian).
22. Gorbach V.A. Disposal of Exhausted Geothermal Solutions. *Georesursy = Georesources*, 2014, № 3(58), pp. 44-48. (In Russian).
23. Puzankov Yu.M., Bobrov V.A., Rashidov V.A. [et al.] Radioactive elements in the hydrothermal systems of Kamchatka. *Proceedings of the II international conference «Radioactivity and radioactive elements in the human environment»*. Tomsk, 2004, pp. 491-492. (In Russian).
24. Litvinenko V.I., Tskhadaya N.D., Volkov V.N. Ecological and technological fundamentals of integrated use of reservoir waters of oil fields. *Ukhta State Technical University*, 2001, 59 p. (In Russian).
25. Alkhasov D.A., Aliiev R.M., Ramazanov A.Sh. Integrated exploration of geothermal resources. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye = South of Russia: Ecology, Development*, 2016, Vol. 11, № 1, pp. 149-158. (In Russian).
26. Burakov Yu.G. Joint development of hydrocarbon and hydromineral resources at oil and gas fields. *Vesti Gazovoy Nauki = News of the gas science*, 2014, № 4 (20), pp. 59-68. (In Russian).
27. Plotnikova R.I. The status of resources base of industrial groundwater (hydromineral raw resources) in Russia and problems of its development. *Georesursy, Geoenergetika, Geopolitika = Georesources, geoenergetics, geopolitics*. – Available from: http://oilgasjournal.ru/vol_4/plotnikova.html (Accessed: July 24, 2017). (In Russian).
28. Fateev A. Again smells of iodine! *The Parliamentary Newspaper «Tyumen news»*, February 7, 2015, №18 (6161). – Available from: <http://tyumen.rfn.ru/rnews.html?id=169829&cid=6> или <http://t-i.ru/article/new/3831> (Accessed: July 28, 2017). (In Russian).
29. Ryabtsev A.D. Hydromineral raw materials are an inexhaustible source of lithium in the 21st century. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2004, Vol. 307, № 7, pp. 64-70. (In Russian).
30. Prospects for the development of iodine-bromine production in the territory of the Stavropol Krai. – Available from: <http://www.chemmarket.org/ru/home/article/4177/> (Accessed: September 12, 2017). (In Russian).
31. Lanina T.D., Litvinenko V.I., Varfolomeev B.G. Processes of processing reservoir waters of hydrocarbon deposits. *Ukhta State Technical University*, 2006, 172 p. (In Russian).
32. Sarkarov R.A. Use of associated formation waters of the Orenburg oil and gas condensate field as a hydromineral raw material. *Gazovaya promyshlennost = Gas industry*, 2009, № 6, pp. 21-22. (In Russian).
33. Klychev N.V., Navrotsky O.K. Associated waters of oil deposits – a promising source of mineral raw materials in the Saratov region. *Nedra Povolzhya i Prikaspiya = Resources of Volga and Caspian*, 2003, Vol. 2, pp. 9-17. (In Russian).
34. Rezunenkov V.I., Zinoviev V.V., Stavkin G.P. [et al.] Prospects for extraction of iodine and bromine from hydromineral raw materials in the Stavropol Krai. *Gazovaya promyshlennost = Gas industry*, 2003, № 5, pp. 84-86. (In Russian).
35. Vozhov V.I. Underground waters and hydromineral raw materials of the Leno-Tunguska oil and gas province. *Novosibirsk*, 2006, 209 p. (In Russian).
36. Alekseev F.A., Gottikh R.P., Saakov S.A., Sokolsky E.V. Radiochemical and isotope studies of groundwater in the oil and gas bearing areas of the USSR. *Moscow*, 1975, 262 p. (In Russian).
37. Grashchenko S.M. [et al.] Distribution of natural radionuclides in the technological process of iodine release from drilling waters by air-absorption method. *Radiokhimiya = Radiochemistry*, 1997, Vol. 39, pp. 93-96. (In Russian).
38. Mineral waters of Russia. – Available from: protown.ru/information/hide/2836.html (Accessed: September 18, 2017). (In Russian).
39. Nubaryan G.D. Hydromineral medicinal resources of the Russian Federation, condition and distribution, problems of development and use: educational-methodical manual on discipline «Resortografiya», 2013. – Available from: <http://le-ktsii.org/5-75867.html> (Accessed: September 19, 2017). (In Russian).
40. Water resources of Russia, – Available from: geographyofrussia.com/vodnye-resursy-rossii (Accessed: September 19, 2017). (In Russian).
41. Melgunov S.V., Puzankov Yu.M., Melgunov M.S. [et al.] Radionuclides in sediments of mineral springs in Southern Tuva. *Proceedings of the II international conference «Radioactivity and radioactive elements in the human environment»*. Tomsk, 2004, pp. 375-377. (In Russian).
42. Kaduka M.V., Shvydko N.S., Shutov V.N., Basalaeva L.N., Goncharova Yu.N., Salazkina N.V., Kaduka A.N. Estimation of the doses to the population of the North-West Region of Russian Federation due to drinking water consumption. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2010, Vol. 3, No. 1, pp. 23-27. (In Russian).
43. Goncharova Yu.N., Basalaeva L.N., Kaduka M.V., Shvydko N.S., Kaduka A.N. Estimation of the doses of the internal exposure from the natural and anthropogenic radionuclides to the population of different regions of the Russian Federation due to drinking water consumption. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2010, Vol. 3, No. 2, pp. 39-44. (In Russian).

Received: January 09, 2018

For correspondence: Elvira P. Lisachenko – Candidate of Technical Sciences, Leading Scientific Worker, Natural Sources Dosimetry Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: elvira.lisachenko@gmail.com)

Nadezhda A. Koroleva – Senior Researcher, Natural Sources Dosimetry Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Lisachenko E.P., Koroleva N.A. Regional features of the use of groundwater as a potential source of the formation of the radiation factor. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 113-122. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-113-122

Юбилей академика Леонида Андреевича Ильина

15 марта 2018 г. исполняется 90 лет Леониду Андреевичу Ильину. Леонид Андреевич – ученый-радиолог, академик РАН, профессор, доктор медицинских наук, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, дважды лауреат премии Правительства Российской Федерации.

После окончания с отличием Первого Ленинградского медицинского института им. И.П. Павлова и его военноморского факультета в 1953 г. служил на Черноморском флоте начальником медицинской службы боевого корабля. Затем в 1955 г. организовал первую на Черноморском флоте радиологическую лабораторию. После демобилизации с 1958 по 1961 г. работал старшим научным сотрудником в медико-биологическом отделе научно-исследовательского Института военноморского флота (г. Ленинград).

С 1961 по 1968 г. был руководителем лаборатории радиационной защиты и заместителем директора по научной работе Ленинградского НИИ радиационной гигиены.

В 1968 г. профессор Л. А. Ильин в 40-летнем возрасте возглавил крупнейший в мире научный центр в области радиобиологии, радиационной медицины и радиационной безопасности – Институт биофизики МЗ СССР, которым он руководил в течение 40 лет. За заслуги перед государством в 1977 г. Институт биофизики был награжден орденом Ленина.

В настоящее время академик Л.А. Ильин – почётный президент Государственного научного центра РФ – Федерального медицинского биофизического центра имени А.И. Бурназяна (объединенного ГНЦ РФ Института биофизики ФМБА России и клинической больницы №6 ФМБА России).

Основные научные интересы Л. А. Ильина посвящены вопросам токсикологии радиоактивных продуктов деления урана и плутония и разработкам медицинских средств защиты от их воздействия на организм; созданию лекарственных препаратов и медико-биологических систем защиты от гамма- и гамма-нейтронного излучения. Разработанные лекарственные препараты и системы защиты широко внедрены в атомной промышленности, атомном подводном флоте и в ракетных войсках стратегического назначения. Многие из этих разработок проверены в реальных условиях Семипалатинского полигона, где Л.А. Ильин был научным руководителем соответствующих радиобиологических опытов.

Как участник работ на двух атомных полигонах СССР он является ветераном подразделений особого риска.

Академик Л.А. Ильин вместе с сотрудниками ЛенНИИРГА впервые в мире в 1971 г., т. е. за 15 лет до аварии на ЧАЭС, создал «Методические указания для разработки мероприятий по защите населения в случае аварии



ядерных реакторов» и обосновал аварийные нормативы облучения людей в этих ситуациях.

В последние годы Леонид Андреевич много внимания уделяет задачам обеспечения безопасности населения и профессионалов в связи с увеличением атомных энерго мощностей в стране, созданием плавучих АЭС и проблемам радиологического терроризма.

С первых дней чернобыльской аварии Л.А. Ильин находился в очаге катастрофы, где, будучи научным руководителем работ по защите ликвидаторов и населения, принимал ответственные решения. В частности, решения о немедленной эвакуации населения из 30-километровой зоны вокруг ЧАЭС, что обеспечило предотвращение радиационных поражений у десятков тысяч жителей этого региона. Через несколько дней на основании имевшихся дозиметрических данных и сделанных научных прогнозов была предотвращена эвакуация трехмиллионного населения столицы Украины.

Академик Л.А. Ильин в течение более 30 лет представлял СССР и Российскую Федерацию в Научном комитете ООН по действию атомной радиации. Дважды избирался в качестве члена Главного комитета Международной комиссии по радиационной защите.

В 1980 г. в Женеве трое отечественных учёных (Е.И. Чазов, Л.А. Ильин, М.И. Кузин) и трое американских учёных (Б. Лаун, Э. Чевин, Г. Миллер) создали международное движение «Врачи против ядерной войны». В 1985 г. это движение было выбрано из числа ста номинантов и удостоено Нобелевской премии мира.

Л.А. Ильин – автор и соавтор более 400 работ, 20 книг, в том числе таких, как фундаментальные монографии: «Против нейтронной смерти», «Опасность ядерной войны: точка зрения советских учёных-медиков», «Основы защиты организма от воздействия радиоактивных веществ», «Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры», монография «Реалии и мифы Чернобыля», которые сразу были переведены и изданы в ряде стран. А монография «Радиоактивный йод в проблеме радиационной безопасности» (1-е издание – 1972 г.) оказалась настольной книгой учёных и специалистов по Чернобыльской аварии.

Под научной редакцией и при соавторстве Л.А. Ильина издано 4-томное «Руководство по радиационной медицине» объемом в 100 печатных листов, а в 2017 г. – учебник «Радиационная гигиена» в соавторстве с профессорами И.П. Коренковым и Б.Я. Наркевичем.

Под его руководством защищено более 20 докторских и кандидатских диссертаций.

В 1978 г. Л. А. Ильин был избран действительным членом Академии медицинских наук СССР, с 1980 по 1984 г. состоял членом Президиума, а с 1984 по 1990 г. был вице-президентом АМН СССР.

За научные исследования и практические разработки в области защиты персонала, населения, а также личного состава вооружённых сил от воздействия радиации академик Ильин удостоен Ленинской премии, Государственных премий СССР и Российской Федерации и дважды премии Правительства Российской Федерации.

В 1988 г. за заслуги в области науки о действии радиации на организм человека и радиационной защиты Л.А. Ильин был удостоен звания Героя Социалистического Труда с вручением ему ордена Ленина и Золотой Звезды.

Л.А. Ильину объявлены в 1998 г., 2003 г., 2014 г. благодарности Президентов РФ за большой вклад в развитие отечественной науки в области радиационной защиты и за заслуги в развитии здравоохранения, медицинской науки и многолетнюю добросовестную работу. Л.А. Ильин имеет ведомственные награды министра здравоохранения, нагрудные знаки Росатома «И.В. Курчатов» I степени, «Е.П. Славский», ордена Петра Великого I степени и Дмитрия Донского. В 2013 г. стал лауреатом международной премии Андрея Первозванного «Вера и Верность» за выдающийся вклад в развитие отечественной науки, спасение человеческих жизней, многолетний труд в дело укрепления мира.

Академик Л.А. Ильин – признанный мировой авторитет в области радиобиологии и радиационной медицины. Характерной чертой Л.А. Ильина как учёного является его бескомпромиссность в вопросах отстаивания ценностей истинной науки от невежества и сиюминутной конъюнктуры. Проницательность, смелость и принципиальность в принятии решений в сложных экстремальных условиях, умение отстаивать свою научную и гражданскую позицию снискали Л.А. Ильину высокий авторитет в международных научных кругах и глубокое уважение его соратников и коллег.

*Руководство и коллектив ГНЦ РФ
ФМБЦ имени А.И. Бурназяна
ФМБА России*

**Решение конференции «Радиационная гигиена и радиационная
безопасность государства: история, современное состояние
и перспективы развития»
23–24 ноября 2017 г.
г. Москва**

В целях координации деятельности научных и образовательных организаций разных ведомств и государств, практической работы учреждений Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), интеграции интеллектуального и практического взаимодействия научно-педагогических коллективов, ведущих специалистов из Российской Федерации и зарубежных государств по наиболее проблемным вопросам в области радиационной гигиены и радиационной безопасности государства в период с 23 по 24 ноября 2017 г. в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России (ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России) состоялась научно-практическая конференция «Радиационная гигиена и радиационная безопасность государства: история, современное состояние и перспективы развития».

Конференция организована и проведена при поддержке и в соответствии с планом основных мероприятий Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека на 2017 г., посвященных 95-летию санитарно-эпидемиологической службы России, и планом научно-практических мероприятий ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, посвященных 60-летию кафедры радиационной гигиены.

В работе конференции приняли участие ведущие специалисты и видные общественные деятели нашей страны: Л.А. Ильин – академик РАН, почетный президент Государственного научного центра – Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна ФМБА России, лауреат Государственной премии СССР, лауреат Премии имени Ф.Г. Кроткова; Л.К. Мошетова – академик РАН, ректор Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования Минздрава России; И.Б. Ушаков – академик РАН, главный научный сотрудник Государственного научного центра – Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна, лауреат премии имени Ф.Г. Кроткова; И.К. Романович – член-корреспондент РАН, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева; И.И. Азаров – главный государственный санитарный врач Министерства обороны Российской Федерации; Л.Г. Подунова – д.м.н., профессор, заслуженный врач РСФСР; В.И. Легеза – ведущий

научный сотрудник НИЛ Радиационный регистр НИЦ Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, д.м.н., профессор, лауреат государственной премии СССР, заслуженный деятель науки Российской Федерации; А.Н. Гребенюк – д.м.н., профессор, вице-президент Радиобиологического общества РАН; С.М. Кузнецов – главный гигиенист Министерства обороны Российской Федерации, заведующий кафедрой (общей и военной гигиены, с курсом военно-морской и радиационной гигиены) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, Т.Б. Балтрукова – заведующая кафедрой гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова; И.П. Коренков – д.м.н., профессор, главный научный сотрудник Государственного научного центра – Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна, лауреат премии имени Ф.Г. Кроткова; В.Н. Бортновский – заведующий кафедрой общей гигиены, экологии и радиационной медицины Гомельского государственного медицинского университета и другие видные специалисты в области радиационной гигиены и радиационной безопасности.

Зарегистрированы и приняли участие в работе конференции 106 специалистов из Москвы и Московской области, Санкт-Петербурга, Брянска, Казани, Рязани, Волгодонска, Мурманска, Иванова, Озерска Челябинской области, Владивостока. Республика Беларусь представлена делегацией научных сотрудников и преподавателей медицинских вузов из Минска, Витебска, Гомеля, Гродно. К открытию конференции издан сборник тезисов докладов.

В ходе пленарных заседаний участниками конференции сделан 31 доклад, в которых глубоко освещены наиболее проблемные вопросы по направлениям: радиационная гигиена как основа обеспечения радиационной безопасности персонала и населения; гигиенические аспекты радиационных аварий и их последствий; ядерное наследие и здоровье человека – выводы и практические рекомендации; состояние нормативно-правовой базы в области радиационной гигиены и радиационной безопасности – направления совершенствования и гармонизации; проблемные вопросы обеспечения радиационной безопасности в медицине и пути их решения; проблемные вопросы в области гигиенического мониторинга облучения от природных источников излучения; современное состояние и перспективы совершенствования радиационного контроля на производстве и радиацион-

но-загрязненных территориях; современные технические средства радиационного контроля и радиационной защиты, проблемы и перспективы; проблемные вопросы в практике взаимодействия с субъектами регулируемой деятельности при разработке нормативных документов в области радиационной гигиены и радиационной безопасности; преподавание и подготовка кадров по вопросам радиационной гигиены и радиационной безопасности персонала и населения.

Конструктивно и принципиально прошло обсуждение докладов.

Участникам конференции выданы свидетельства о прохождении обучения в рамках реализации модели отработки основных принципов непрерывного медицинского образования и получении 10 зачетных единиц (кредитов).

Конференция отмечает исключительную важность и необходимость дальнейшего совершенствования и расширения исследований в области радиационной гигиены как основы обеспечения радиационной безопасности населения и персонала, включения в учебные программы подготовки специалистов на уровне высшего медицинского профессионального образования в качестве обязательных преподавание основных вопросов биологического действия и гигиенического нормирования ионизирующих излучений. В ходе обсуждения участники конференции констатировали необходимость усиления межведомственного взаимодействия по практическим, научным и образовательным вопросам. Отмечена большая регулярная работа профильных кафедр медицинских вузов России и Беларуси по организации и проведению научно-практических мероприятий по радиационной гигиене и радиационной безопасности.

Обсудив современное состояние проблемных вопросов в области радиационной гигиены и радиационной безопасности государства, конференция рекомендует:

1. Признать необходимым и отвечающим интересам обеспечения национальной безопасности государства с учетом современных вызовов и угроз сохранение радиационной гигиены как самостоятельной медицинской специальности в номенклатуре специальностей, определенных Минздравом России.
2. Обратить внимание руководства РАН, ФАНО, правительства РФ на необходимость кадровой и финансовой поддержки исследований в области радиационной гигиены как основы радиационной безопасности населения, а также повышения эффективности и безопасности применения источников ионизирующих излучений в медицине, других отраслях деятельности человека, включая совершенствование вопросов радиационной безопасности межпланетных космических полетов.
3. Считать приоритетными направлениями научной работы в области радиационной гигиены и радиационной безопасности совершенствование вопросов государственного санитарно-эпидемиологического нормирования и нормативно-методического обеспечения, противоаварийного реагирования, оптимизации медицинского облучения.
4. Развивать исследования по оценке риска возникновения радиационно-обусловленных заболеваний с использованием суммарной дозы ионизирующего

облучения от всех видов радиационного облучения.

5. Признать необходимым включение радиационной гигиены в качестве обязательных учебных дисциплин федеральных государственных образовательных стандартов медицинских вузов на до- и последипломном этапах обучения.
6. Просить секцию профилактической медицины РАН (руководитель академик РАН В.А. Тутельян) обратиться к руководству Российской академии наук о восстановлении премии имени Ф.Г. Кроткова, присуждаемую ранее РАМН, за лучшую научную работу по общей и радиационной гигиене, которая была учреждена Постановлением Совета министров СССР от 13 мая 1986 г. № 550.
7. Поддержать общественную гражданскую инициативу об установлении памятной мемориальной доски на здании по адресу: г. Москва, улица Новослободская, дом №57/65, где проживал академик АМН СССР, Герой Социалистического труда СССР, генерал-майор медицинской службы Ф. Г. Кротков.
8. Признать обоснованным предложение кафедры радиационной гигиены Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования Минздрава России о присвоении ей имени Ф.Г. Кроткова – д.м.н., профессора, генерал-майора медицинской службы, академика АМН СССР, Героя социалистического труда СССР, основателя кафедры и первого ее руководителя, внесшего значительный вклад в становление и развитие отечественной радиационной гигиены.
9. Считать целесообразным проведение научно-практической конференции «Радиационная гигиена и радиационная безопасность государства» каждые 3 года.
10. Ходатайствовать перед руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека о включении конференции «Радиационная гигиена и радиационная безопасность государства» в план научно-практических мероприятий Роспотребнадзора на 2021 г.
11. Направить решение конференции в Роспотребнадзор, Минздрав России, ГК Росатом, РАН, ФАНО, ФМБА России, ГВМУ МО РФ, руководителям организаций, делегировавших участников конференции.
12. Признать работу конференции успешной. Выразить благодарность ректору Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования Минздрава России (академик РАН Л.К. Мошетова), заведующему кафедрой радиационной гигиены (д.м.н. профессор А.В. Алехнович), членам организационного комитета, всем докладчикам за большую работу по организации и проведению конференции. Просить Российскую медицинскую академию непрерывного профессионального образования Минздрава России в дальнейшем организовывать и проводить на регулярной основе каждые три года научно-практическую конференцию «Радиационная гигиена и радиационная безопасность государства».

Решение принято на заключительном пленарном заседании 24 ноября 2017 г.

Правила для авторов журнала «Радиационная гигиена»

Научно-практический журнал «Радиационная гигиена» был основан в 2008 г. Журнал представляет собой издание научно-теоретической и практической ориентации, направленное на публикацию оригинальных исследований, экспериментальных, теоретических статей, обзоров, кратких сообщений, дискуссионных статей, отчетов о конференциях, рецензий на работы по актуальным вопросам радиационной гигиены, писем в редакцию, хроники событий научной жизни. Тематика журнала включает актуальные вопросы и достижения в области радиационной гигиены и санитарного надзора за радиационной безопасностью.

Полные тексты электронных версий статей представлены на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru и официальном сайте журнала «Радиационная гигиена» www.radhyg.ru.

Журнал «Радиационная гигиена» входит в перечень российских рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Работы для опубликования в журнале должны быть представлены в соответствии с данными требованиями:

1. Материалы, представляемые в статье, не должны быть ранее опубликованными в других печатных изданиях. Авторам следует информировать редакцию журнала о том, что какие-то части этих материалов уже опубликованы и могут рассматриваться как дублирующие. В таких случаях в новой статье должны быть ссылки на предыдущие работы. Копии таких материалов прилагаются к рукописи, чтобы редакция имела возможность принять решение, как поступить в данной ситуации. Не допускается направление статей, которые уже напечатаны в других изданиях или представлены для печати в другие издательства.

2. Редакция имеет право вести переговоры с авторами по уточнению, изменению, сокращению рукописи.

3. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать представленные работы. Все статьи, поступающие в редакцию журнала, проходят рецензирование в соответствии с требованиями ВАК.

4. Статья должна сопровождаться официальным направлением учреждения, в котором выполнена данная работа. В официальном направлении должны быть перечислены фамилии всех авторов и указано название работы. Должно быть экспертное заключение об отсутствии ограничений на публикацию материала в открытой печати и виза научного руководителя на первой странице статьи. Статья должна быть подписана всеми авторами.

5. Рукописи авторам не возвращаются.

6. **Рукописи, оформленные не в соответствии с правилами, к публикации не допускаются.**

7. Объем обзорных статей не должен превышать 20 страниц машинописного текста. Оригинальных исследований, исторических статей – 15 страниц, исторических и дискуссионных статей – 10, отчетов о конференциях, кратких сообщений и заметок из практики – 5 страниц.

8. Текст статьи печатается на одной стороне листа формата А4 шрифтом Times New Roman кеглем 14, с межстрочным интервалом 1,5. Ориентация книжная (портрет) с полями слева – 2,5 см, сверху – 2 см, справа – 1,5 см, снизу – 2 см. Нумерация страниц – сверху в центре, первая страница без номера. Формат документа при отправке в редакцию – .doc или .docx.

9. Статьи следует присылать в редакцию в электронном виде по адресу: journal@niirg.ru в формате MS Word с приложением сканированных копий направительного письма и

первой страницы статьи с подписью всех авторов статьи в формате pdf. Печатный экземпляр рукописи, подписанный авторами, и оригинал направительного письма отсылается по почте в адрес редакции.

10. **Титульный лист** должен содержать:

- название статьи (оно должно быть кратким и информативным, не допускается использование сокращений и аббревиатур, а также торговых (коммерческих) названий приборов, медицинской аппаратуры и т.п.);

- фамилию и инициалы автора(ов);

- наименование учреждений, в которых работают авторы с указанием ведомственной принадлежности (Роспотребнадзор, Минздрав России, РАМН и т.п.), город, страна (префиксы учреждений, указывающие на форму собственности, статус организации (ГУ ВПО, ФГБУ, ФБУН и т.д.) не указываются);

- рядом с фамилией автора(ов) и названием учреждения цифрами в верхнем регистре обозначается, в каком учреждении работает каждый из авторов. Если все авторы работают в одном учреждении, указывать место работы каждого автора отдельно не нужно;

- вся информация предоставляется на русском и английском языках. Фамилии авторов нужно транслитерировать по системе BGN (Board of Geographic Names), представленной на сайте www.translit.ru. **Указывается официально принятый английский вариант наименования организаций!**

11. На отдельном листе указываются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью) на русском языке и в транслитерации, ученая степень, ученое звание, должность в учреждении/учреждениях, рабочий адрес с почтовым индексом, рабочий телефон и адрес электронной почты всех авторов. Сокращения не допускаются.

12. После титульного листа размещается резюме статьи на русском и английском языках (объемом не менее 250 слов каждая). Резюме к оригинальной научной статье должно иметь следующую структуру: цель, материалы и методы, результаты, заключение. Все пишется сплошным текстом, без выделения абзацев. Для остальных статей (обзор, лекция, дискуссия) резюме должно включать краткое изложение основной концепции статьи, по сути краткое изложение самой статьи. **Резюме не должно содержать аббревиатур и сокращений, кроме общепринятых в мировой научной литературе.** Резюме является независимым от статьи источником информации для размещения в различных научных базах данных. **Обращаем особое внимание на качество английской версии резюме!** Оно будет опубликовано отдельно от основного текста статьи и должно быть понятным без ссылки на саму публикацию. В конце приводятся **ключевые слова или словосочетания на русском и английском языках** (не более 12) в порядке значимости. **Ключевые слова также не должны содержать аббревиатур и сокращений.**

13. Текст оригинального научного исследования должен состоять из введения и выделяемых заголовками разделов: «Введение», «Цель исследования», «Задачи исследования», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы» или «Заключение», «Литература».

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

14. Если в статье имеется описание наблюдений на человеке, не используйте фамилии, инициалы больных или номера историй болезни, особенно на рисунках или фотографиях. При изложении экспериментов на животных укажите, соответствовало ли содержание и использование лабораторных животных правилам, принятым в учреждении, рекомендациям национального совета по исследованиям, национальным законам.

15. Все радиационные единицы следует приводить в международной системе единиц измерения (СИ) (см.: ГОСТ – 8.417 – 81 ГСИ. Единицы физических величин»; В.И. Иванов В.П. Машкович, Э.М. Центр. Международная система единиц (СИ) в атомной науке и технике: Справочное руководство. М.: Энергоиздат, 1981. 200 с.). Все результаты измерений, приводимых в статье, должны быть выражены только в системе СИ.

16. При описании методики исследования можно ограничиться указанием на существо применяемого метода со ссылкой на источник заимствования, в случае модификации – указать, в чем конкретно она заключается. Оригинальный метод должен быть описан полностью.

17. При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в резюме), необходимо давать их полное наименование и сокращение в скобках, в последующем применять только сокращение, однако их применение должно быть сведено к минимуму. Сокращение проводится по ключевым буквам слов в русском написании, например: источник ионизирующего излучения (ИИИ) и т. д. Тип приборов, установок следует вводить на языке оригинала, в кавычках; с указанием (в скобках) страны-производителя. Например: использовали спектрофотометр «СФ-16» (Россия), спектрофлуориметр фирмы «Hitachi» (Япония). Малоупотребительные и узкоспециальные термины также должны быть расшифрованы.

18. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком и вставляется в текст сразу после ссылки на нее.

19. Иллюстрации должны быть четкие, контрастные. Цифровые версии иллюстраций должны быть сохранены в отдельных файлах в формате Tiff, с разрешением 300 dpi и последовательно пронумерованы. Подрисовочные подписи должны быть размещены в основном тексте. Перед каждым рисунком, диаграммой или таблицей в тексте обязательно должна быть ссылка. В подписях к микрофотографиям, электронным микрофотографиям обязательно следует указывать метод окраски и обозначать масштабный отрезок. Диаграммы должны быть представлены в исходных файлах. Рисунки (диаграммы, графики) должны иметь подпись всех осей с указанием единиц измерения СИ. Легенда выносится за пределы рисунка.

20. Необходимо оформлять подписи к рисункам и таблицам, тексты внутри них на русском и на английском языках.

21. **Библиографические ссылки** в тексте должны даваться цифрами в квадратных скобках в соответствии со списком литературы в конце статьи.

Пример: В тексте: Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX века, даёт работа библиографа И.М. Кауфмана [59].

Если авторы не указаны, в отсылке указывают название документа, при необходимости указывают год издания, страницы.

Сведения в отсылке разделяют точкой и запятой.

Нумеруйте ссылки последовательно, в порядке их первого упоминания в тексте (не по алфавиту)! Для оригинальных научных статей – не менее 15–20 источников, для лекций и обзоров – не более 60 источников, для других статей – не более 15 источников.

22. К статье прилагаются на отдельном листе **два списка литературы.**

23. **В первом списке литературы (Литература)** библиографическое описание литературных источников должно соответствовать требованиям ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

24. **В списке литературы не следует указывать постановления, законы, санитарные нормы и правила, другие нормативно-методические документы.** Указания на них следует размещать в сносках или внутритекстовых ссылках. Сноски и внутритекстовые ссылки следует представить и на английском языке, написав после английского описания язык текста (In Russ.).

Примеры внутритекстовых ссылок:

.....согласно Норм радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [перевод на английский язык (In Russ.)] . Илисогласно ГОСТ Р 517721-2001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования [перевод на английский язык (In Russ.)].

ПРИМЕРЫ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК Литература (выравнивание по левому краю)

Книги и брошюры:

Один – три автора:

Сергеев, И.В. Лучевая диагностика в России / И.В. Сергеев, Т.П. Смирнова, М.Н. Исаков. – СПб.: НИИРГ, 2007. – 123 с.

Пять и более авторов:

Сергеев, И.В. Лучевая диагностика в России : учеб. пособие для вузов / И.В. Сергеев [и др.]. – СПб.: Норма, 2007. – 123 с.

Многотомные издания или на часть книги:

Пивинский, Ю.Е. Общие вопросы технологии / Ю.Е. Пивинский // Неформальные огнеупоры. – М., 2003. – Т. 1, кн. 1. – С. 430–447.

Глава или раздел из книги:

Зайчик, А.Ш. Основы общей патофизиологии / А.Ш. Зайчик, Л.П. Чурилов // Основы общей патологии: учеб. пособие для студентов медвузов. – СПб.: ЭЛБИ, 1999. – Ч. 1., гл. 2. – С. 124–169.

Книги на английском языке:

Jenkins PF. Making sense of the chest x-ray: a hands-on guide. New York: Oxford University Press; c 2005. 194 p.

Iverson C, Flanagan A, Fontanarosa PB, et al. American Medical Association manual of style. 9th ed. Baltimore (MD): Williams & Wilkins; c 1998. 660 p.

Глава или раздел из книги на английском языке:

Riffenburgh RH. Statistics in medicine. 2nd ed. Amsterdam (Netherlands): Elsevier Academic Press; c 2006. Chapter 24, Regression and correlation methods; p. 447–86.

Ettinger SJ, Feldman EC. Textbook of veterinary medicine: diseases of the dog and cat. 6th ed. St. Louis (MO): Elsevier Saunders; c2005. Section 7, Dietary considerations of systemic problems; p. 553–98.

Статьи из журнала, сборника:

Из журнала:

Стамат, И.П. К обоснованию нормативов по содержанию природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах / И.П. Стамат, Д.И. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 1. – С. 46–52.

Из журнала на английском языке:

Axelsson, O. Indoor radon exposure and active and passive smoking relation to the occurrence of lung cancer / O. Axelsson [et al.] // Scand. J. Work, Environ and Health. – 1988. – Vol. 14, N 5. – P. 286–292.

Petitti DB, Crooks VC, Buckwalter JG, Chiu V. Blood pressure levels before dementia. Arch Neurol. 2005 Jan; 62(1):112-6.

Rastan S, Hough T, Kierman A, et al. Towards a mutant map of the mouse--new models of neurological, behavioural, deafness, bone, renal and blood disorders. Genetica. 2004 Sep;122(1):47-9.

Из сборника конференций (тезисы):

Кушинников, С.И. Проблемы достоверности оценки среднегодовой ЭРОА радона при радиационно-гигиеническом обследовании помещений / С.И. Кушинников, А.А. Цапалов // Сборник докладов и тезисов научно-практической конференции «Актуальные вопросы обеспечения радиационной безопасности на территории Российской Федерации», Москва, 25-26 октября 2007 г. – М., 2007. – С. 50-51.

Из сборника конференций (тезисы) на английском языке:

Arendt T. Alzheimer's disease as a disorder of dynamic brain self-organization. In: van Pelt J, Kamermans M, Levelt CN, van Ooyen A, Ramakers GJ, Roelfsema PR, editors. Development, dynamics, and pathology of neuronal networks: from molecules to functional circuits. Proceedings of the 23rd International Summer School of Brain Research; 2003 Aug 25-29; Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Amsterdam, the Netherlands. Amsterdam (Netherlands): Elsevier; 2005. P. 355-78.

Rice AS, Farquhar-Smith WP, Bridges D, Brooks JW. Cannabinoids and pain. In: Dostorovsky JO, Carr DB, Koltzenburg M, editors. Proceedings of the 10th World Congress on Pain; 2002 Aug 17-22; San Diego, CA. Seattle (WA): IASP Press; c 2003. P. 437-68.

Ссылки на Интернет-ресурсы:

Официальный сайт Медицинского радиологического научного центра РАМН (МРНЦ РАМН): <http://www.mrrc.obninsk.gi/> (дата обращения: 19.02.2010 г.).

Complementary/Integrative Medicine [Internet]. Houston: University of Texas, M. D. Anderson Cancer Center; c2007 [cited 2007 Feb 21]. Available from: <http://www.mdanderson.org/departments/CIMER/>.

Hooper JF. Psychiatry & the Law: Forensic Psychiatric Resource Page [Internet]. Tuscaloosa (AL): University of Alabama, Department of Psychiatry and Neurology; 1999 Jan 1 [updated 2006 Jul 8; cited 2007 Feb 23]. Available from: <http://bama.ua.edu/~jhooper/>.

Polgreen PM, Diekema DJ, Vandenberg J, Wiblin RT, Chen YY, David S, Rasmus D, Gerdtz N, Ross A, Katz L, Herwaldt LA. Risk factors for groin wound infection after femoral artery catheterization: a case-control study. Infect Control Hosp Epidemiol [Internet]. 2006 Jan [cited 2007 Jan 5];27(1):34-7. Available from: <http://www.journals.uchicago.edu/ICHE/journal/issues/v27n1/2004069/2004069.web.pdf>

Richardson ML. Approaches to differential diagnosis in musculoskeletal imaging [Internet]. Version 2.0. Seattle (WA): University of Washington School of Medicine; c2000 [revised 2001 Oct 1; cited 2006 Nov 1]. Available from: <http://www.rad.washington.edu/mskbook/index.html>

Статьи, принятые к печати:

Горский, Г.А. О необходимости радиационного обследования зданий после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции / Г.А. Горский, А.В. Еремин, И.П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 1. – Деп. 10.02.2010 г.

Патенты:

Пат. № 2268031 Российская Федерация, МПК А61Н23.00. Способ коррекции отдаленных последствий радиационного воздействия в малых дозах / Карамуллин М.А., Шутко А.Н., Сосюкин А.Е. и др.; опубл. 20.01.2006, БИ № 02.

Патенты на английском языке:

Cho ST, inventor; Hospira, Inc., assignee. Microneedles for minimally invasive drug delivery. United States patent US 6,980,855. 2005 Dec 27.

Poole I, Bissell AJ, inventors; Voxar Limited, assignee. Classifying voxels in a medical image. United Kingdom patent GB 2 416 944. 2006 Feb 8. 39 p.

Из газеты:

Фомин, Н.Ф. Выдающийся ученый, педагог, воспитатель / Н.Ф. Фомин, Ф.А. Иванович, Е.И. Веселов // Воен. врач. – 1996. – № 8 (1332). – С. 5.

Фомин, Н.Ф. Выдающийся ученый, педагог, воспитатель / Н.Ф. Фомин, Ф.А. Иванович, Е.И. Веселов // Воен. врач. – 1996. – 5 сент.

Диссертация и автореферат диссертации:

Фенухин, В.И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северо-Кавказского региона : дис... канд. полит. наук: защищена 22.01.02 : утв. 15.07.02. / Фенухин В.И. – М., 2002. – 215 с. – 04200201565.

Кадука, М.В. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на Чернобыльской АЭС : автореф. дисс. ... канд. биол. наук / Кадука М.В. – Обнинск, 2001. – 23 с.

Диссертация и автореферат диссертации на английском языке:

Jones DL. The role of physical activity on the need for revision total knee arthroplasty in individuals with osteoarthritis of the knee [dissertation]. [Pittsburgh (PA)]: University of Pittsburgh; 2001. 436 p.

Roguskie JM. The role of Pseudomonas aeruginosa 1244 pilin glycan in virulence [master's thesis].

23. Второй список литературы (References) полностью соответствует первому списку литературы. При этом в библиографических источниках на русском языке фамилии и инициалы авторов, а также название журнала и издания должны быть транслитерированы. Название работы (если требуется) переводится на английский язык и/или транслитерируется. Иностранные библиографические источники из первого списка полностью повторяются во втором списке. Более подробно правила представления литературных источников во втором списке представлены ниже.

Примеры:

Книги (фамилия и инициалы автора транслитерируются, название, место издания и название издательства переводится на английский язык)

Lobzin Yu.V., Uskov A.N., Yushchuk N.D. Ixodes tick-borne borreliosis (etiology, epidemiology, clinical manifestations, diagnosis, treatment and prevention): Guidelines for Physicians. Moscow; 2007 (in Russian).

Из журналов (фамилия и инициалы автора транслитерируются, название статьи не приводится, название журнала транслитерируется)

Kondrashin A.V. Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnyye bolezni. 2012; 3: 61-3 (in Russian).

Диссертация (фамилия и инициалы автора транслитерируются, название диссертации транслитерируется, дается перевод названия на английский язык, выходные данные транслитерируются)

Popov A.F. Tropicheskaya malyariya u neimunnykh lits (diagnostika, patogenez, lecheniye, profilaktika) [Tropical malaria in non-immune individuals (diagnosis, pathogenesis, treatment, prevention)] [dissertation]. Moscow (Russia): Sechenov Moscow Medical Academy; 2000. 236 p (in Russian).

Патенты (фамилия и инициалы авторов, название транслитерируются)

Bazhenov A.N., Ilyushina L.V., Plesovskaya I.V., inventors; Bazhenov AN, Ilyushina LV, Plesovskaya IV, assignee. Metodika lecheniia pri revmatoidnom artrite. Russian Federation patent RU 2268734; 2006 Jan 27 (in Russian).

Из сборника конференций (тезисы) (фамилия и инициалы автора транслитерируются, название тезисов транслитерируется и дается перевод названия на английский язык, выходные данные конференции транслитерируются и дается перевод названия на английский язык)

Kiryushenkova VV, Kiryushenkova SV, Khramov MM, et al. Mikrobiologicheskii monitoring vozbuditeley ostrykh kishhechnykh infektsiy u vzroslykh g. Smolenska [Microbiological monitoring of pathogens of acute intestinal infections in adults in Smolensk]. In: Materialy mezhdunarodnogo Yevro-aziatskogo kongressa po infektsionnym boleznyam [International Euro-Asian Congress on Infectious Diseases]. Vol. 1. Vitebsk; 2008. P. 53. (in Russian).

Boetsch G. Le temps du malheur: les representations artistiques de l'epidemie. [Tragic times: artistic representations of the epidemic]. In: Guerici A, editor. La cura delle malattie:

itinerari storici [Treating illnesses: historical routes]. 3rd Colloquio Europeo di Etnofarmacologia; 1st Conferenza Internazionale di Antropologia e Storia della Salute e delle Malattie [3rd European Colloquium on Ethnopharmacology; 1st International Conference on Anthropology and History of Health and Disease]; 1996 May 29-Jun 2; Genoa, Italy. Genoa (Italy): Erga Edizione; 1998. P. 22-32. (in French).

Ответственность за правильность изложения библиографических данных возлагается на автора.

Все статьи печатаются в журнале бесплатно.

Статьи направляются по адресу: 197101, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева». Редакция журнала «Радиационная гигиена» и по e-mail: journal@niirg.ru.

Справки по телефону: (812) 233-42-83 и (812) 233-50-16 (редакция журнала «Радиационная гигиена»). Факс: (812) 233-53-63, 233-42-83.