

**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



9 771998 426783 >

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 № 3, 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. Никитина» МЧС России, д.м.н. профессор (Санкт-Петербург, 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 Улмас Мирсаидович — Агентство по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан, д.х.н., профессор, академик АН РТ (Душанбе, Республика Таджикистан)

Надареишвили Давид Киазович — 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

Алехнович Александр Владимирович — ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России, д.м.н., профессор (Москва, Российская Федерация)

Аклеев Александр Васильевич — ФГБУН «Уральский научно-практический центр радиационной медицины» Федерального медико-биологического агентства, д.м.н., профессор (Челябинск, Российская Федерация)

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)

Ваклуловский 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 — ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, 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. Никитина» МЧС России, д.м.н., д-р психол. наук, профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Санжарова Наталья Ивановна — ФГБУН «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» Федерального агентства научных организаций, д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН (Обнинск, 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 № 3, 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)

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

Aleksandr V. Alekhnovich — Russian Medical Academy of Post-graduate Education, MD, Professor (Moscow, Russian Federation)

Aleksandr V. Akleyev — Urals Research Center for Radiation Medicine of the Federal Medical-Biological Agency, MD, Professor (Chelyabinsk, Russian Federation)

Natalya I. Sanzharova — All-Russia Research Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, The Federal Agency for Scientific Organizations, Doctor of Biology, Professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences (Obninsk, Russian Federation)

Genrietta V. Arkhangel'skaya — 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 — Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education «Russian Medical Academy of Continuous Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (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 (Malmo, Sweden)

Vasilij 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)

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 № 3, 2018

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Романович И.К., Кормановская Т.А., Королева Н.А.,
Лисаченко Э.П., Сапрыкин К.А.
**Научное обоснование методических подходов
к организации и проведению заключительного
радиационного обследования участков территории,
реабилитированных после загрязнения
природными радионуклидами 7**

Ракитский В.Н., Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е.
**Расчет дозы облучения для некоторых компонентов
пищевой цепочки пресноводной экосистемы
реки Енисей в период деятельности предприятия
ядерно-топливного цикла – Горно-химического
комбината, г. Красноярск.....22**

Дёгтева М.О., Толстых Е.И., Суслова К.Г., Романов С.А.,
Аклеев А.В.
**Анализ результатов мониторинга содержания
долгоживущих радионуклидов в организме
жителей Уральского региона30**

Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Громов А.В., Кадука М.В.
**Фукусимские выпадения в Сахалинской области
России, сообщение 3: ^{137}Cs и ^{134}Cs в коровьем
молоке.....40**

Губин А.Т.
**Метод глобальной подгонки обобщённых
моделей радиогенного риска под данные японской
когорты56**

Кадука М.В., Басалаева Л.Н., Бекашева Т.А., Иванов С.А.,
Салазкина Н.В., Ступина В.В., Кадука А.Н.
**Содержание изотопов урана в подземных
источниках водоснабжения населения
Ленинградской области и Санкт-Петербурга74**

ОБЗОРЫ

Репин Л.В., Библин А.М., Вишнякова Н.М.
**Проблемы риск-коммуникации при обеспечении
радиационной безопасности населения:
основные понятия и определения.....83**

САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР

Маренный А.М., Киселева М.Е., Нефёдов Н.А., Сутягина Г.И.,
Карл Л.Э.
**Обследование зданий города Лесной
на содержание радона в помещениях.....92**

Кормановская Т.А., Кононенко Д.В., Венков В.А., Иванов С.А.,
Бережной В.В.
**Опыт реабилитации объектов, загрязнённых
радионуклидами, на примере участка территории
завода «Мосрентген».....107**

CONTENTS

Vol. 11 № 3, 2018

RESEARCH ARTICLES

Romanovich I.K., Kormanovskaya T.A., Koroleva N.A.,
Lisachenko E.P., Saprykin K.A.
**Scientific justification of the methodical approaches
to the establishment and conduction of the
conclusive radiation survey of the areas remediated
after contamination with natural radionuclides..... 17**

Rakitsky V.N., Bondareva L.G., Fedorova N.E.
**Calculation of the irradiation dose for some
components of the food chain of the freshwater
ecosystem of the Yenisei River, during the operation
of the nuclear fuel cycle enterprise –
the Mining and Chemical Combine, Krasnoyarsk.....28**

Degteva M.O., Tolstykh E.I., Suslova K.G., Romanov S.A.,
Akleyev A.V.
**Analysis of the results of long-lived radionuclide
body burden monitoring in residents of the Urals
region37**

Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Gromov A.V., Kaduka M.V.
**Fukushima fallout in Sakhalin Region, Russia, part 3:
 ^{137}Cs and ^{134}Cs in cow's milk.....40**

Gubin A.T.
**Method of the global fitting of the generalized
radiogenic risk models to the Japanese cohort
data67**

Kaduka M.V., Basalaeva L.N., Bekyasheva T.A., Ivanov S.A.,
Salazkina N.V., Stupina V.V., Kaduka A.N.
**Content of uranium isotopes in the groundwater
supplies used for population of Leningrad region
and St-Petersburg.....81**

REVIEWS

Repin L.V., Biblin A.M., Vishnyakova N.M.
**Problems of risk communication related
to the provision of the radiation safety.
Basic concepts and definitions.....90**

SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE

Marennyy A.M., Kiseleva M.E., Nefedov N.A.,
Sutiagina G.I., Karl L.E.
**Survey of buildings in the city Lesnoy
on the indoor radon concentration 105**

Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V., Venkov V.A., Ivanov S.A.,
Berezhnoy V.V.
**Experience of remediation of sites contaminated
with radionuclides on the example
of the territory of the Mosrentgen plant 113**

СОДЕРЖАНИЕ

Том 11 № 3, 2018

НОВЫЕ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Водоватов А.В.

**Совершенствование норм радиационной
безопасности. Часть 1: Целесообразность
ограничения доз медицинского облучения
практически здоровых лиц 115**

ЮБИЛЕИ..... 125

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА
«РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» 127**

CONTENTS

Vol. 11 № 3, 2018

NEW NORMATIVE-METHODICAL DOCUMENTS

Vodovatov A.V.

**Improvement of Radiation Safety Standards.
Part 1. Appropriateness of the limitation
of the medical exposure of healthy individuals 123**

ANNIVERSARIES..... 125

**JOURNAL OF RADIATION HYGIENE –
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS..... 127**

Научное обоснование методических подходов к организации и проведению заключительного радиационного обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами

И.К. Романович, Т.А. Кормановская, Н.А. Королева, Э.П. Лисаченко, К.А. Сапрыкин

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

В Российской Федерации в соответствии с Федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» проводятся работы по ликвидации ядерного наследия. К ядерному наследию относятся шахты, рудники, промышленные площадки заводов, отвалы и хвостохранилища урановых производств (объекты уранового наследия), а также объекты добычи и переработки драгоценных и редких элементов и минерального сырья, в результате деятельности которых образовались отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов. Из-за разрушений или отсутствия барьеров, препятствующих распространению радионуклидов, происходит загрязнение природными радионуклидами объектов окружающей среды и облучение населения, проживающего в близлежащих населенных пунктах. Радионуклиды радия (^{226}Ra и ^{228}Ra) и их дочерние продукты распада вносят основной вклад в формирование дозы облучения и, соответственно, радиационных рисков для населения, проживающего вблизи таких объектов. В соответствии с отечественной нормативной базой, облучение населения, проживающего в районах размещения объектов уранового наследия, а также объектов и территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий неядерных отраслей промышленности, относится к природному облучению, на него распространяются требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 по ограничению природного облучения. Направлениями использования объектов и территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, после окончания мероприятий по их реабилитации будут являться неограниченное использование и использование в производственных целях. Для неограниченного использования реабилитированных участков территорий зданий и сооружений критериями будут являться требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 для строительства зданий жилищного и общественного назначения. Критериями использования реабилитированных участков территории зданий и сооружений с остаточным загрязнением природными радионуклидами в производственных целях будут являться требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 для строительства производственных зданий и сооружений.

Ключевые слова: дезактивация, добыча драгоценных и редких металлов, добыча минерального сырья, дозы облучения, отвалы, природные радионуклиды, радиационный контроль, реабилитация, техногенные радионуклиды, урановое наследие, хвостохранилища, ядерное наследие.

Введение

При дальнейшем развитии атомной энергетики, как в Российской Федерации, так и за рубежом, одной из важнейших проблем является ликвидация «ядерного наследия» [1–3]. На эти цели в ближайшие 15 лет направлена Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ-2) [3, 4].

В рамках ФЦП ЯРБ-2 предусмотрена разработка системы нормативно-правовых и инструктивно-методических документов по обеспечению радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии и других объектов, в результате деятельности которых образовались отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов, и дальнейшему использованию дезактивированных участков территории, зданий и сооружений.

Романович Иван Константинович

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

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

В предыдущих публикациях [3–6] нами изложены подходы к установлению критериев (требований) радиационной безопасности к дезактивированным участкам территории, зданиям и сооружениям выводимых из эксплуатации объектов использования атомной энергии с остаточным загрязнением техногенными радионуклидами.

Значительная часть объектов «ядерного наследия» связана с загрязнением природными радионуклидами. В первую очередь, это объекты добычи и обогащения урана – шахты, рудники, промышленные площадки заводов, отвалы и хвостохранилища (объекты уранового наследия). В настоящее время большинство шахт, отвалов и хвостохранилищ находятся в ненадлежащем, с точки зрения радиационной безопасности, состоянии [7–26]. Опасность представляет размыв этих отвалов и хвостохранилищ дождевыми и паводковыми водами, а также перенос ветром радиоактивной пыли, причем большинство хвостохранилищ находятся вблизи рек, воду которых потребляет местное население и в поймах которых производится выпас скота.

Кроме объектов использования атомной энергии, к радиоактивному загрязнению природными радионуклидами значительных по размеру участков территории привели и другие виды практической деятельности, в частности: добыча и извлечение драгоценных, редких и редкоземельных элементов; добыча нефти и газа; фосфатная промышленность; добыча и очистка подземных вод; сжигание угля [26–69].

В этой связи вторым направлением наших исследований явилось научное обоснование радиологических критериев безопасности участков территории, зданий и сооружений, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами, и методических и методологических подходов к организации и проведению заключительного радиационного обследования указанных участков, зданий и сооружений.

Характеристика и проекты реабилитации бывших урановых производств

Проблемы реабилитации бывших урановых производств характерны для многих стран мира (Австралии, Канады, Бразилии, Нигерии, ЮАР, США, Намибии, Индии, Чехии, Германии), в том числе для стран бывшего Советского Союза (Казахстана, Кыргызстана, России, Таджикистана, Узбекистана и Украины). К объектам уранового наследия относятся шахты, рудники, промышленные площадки горно-химических комбинатов и гидрометаллургических заводов, отвалы и хвостохранилища. Проблемы связаны с тем, что территории, на которых располагались основные урановые производства, подверглись радиоактивному загрязнению. Задача заключается в реабилитации или рекультивации таких объектов, т.е. в приведении их в соответствие с требованиями радиационной безопасности населения [7, 10, 12].

Самое большое число объектов уранового наследия находятся на территории Центральной Азии: в Республике Казахстан, Киргизской Республике, Республике Таджикистан, Республике Узбекистан [7, 9, 10, 12, 13, 20]. Значительная часть объектов уранового наследия находится также на территории Российской Федерации и Украины [15, 18, 19].

Урановое наследие Центральной Азии

Международные эксперты сделали вывод, что из многих хвостохранилищ Центральной Азии наибольшую потенциальную опасность представляют хвостохранилища г. Майлуу-Суу (Киргизская Республика) [10]. Урановое месторождение Майлуу-Суу эксплуатировалось с 1946 по 1968 г. В настоящее время на территории бывшего предприятия Ленинадского горно-химического комбината в г. Майлуу-Суу, в том числе непосредственно в городской черте, расположены 23 хвостохранилища и 13 горных отвалов. Общий объем отходов уранового производства, уложенных в хвостохранилищах, составляет около 2 млн м³. В горных отвалах четырех рудников накоплено 0,85 млн м³ пустых пород и бедных руд. Отвалы, большая часть которых расположены на склонах долины реки Майлуу-Суу, не рекультивированы. Район Майлуу-Суу относится к зоне высокой сейсмичности, в пределах которой возможны землетрясения с магнитудой $M > 7,0$. Такие сильные землетрясения способны спровоцировать сход крупных оползней, которые могут разрушить хвостохранилища и/или перекрыть русло реки Майлуу-Суу. Особое внимание к данной проблеме связано с тем, что большая часть хвостохранилищ расположены на берегах р. Майлуу-Суу, которая является одним из притоков р. Сыр-Дарья в верховьях Ферганской долины. Река Сыр-Дарья протекает по территории плотно населенной Ферганской долины в Республике Узбекистан, Республике Таджикистан и далее в Республике Казахстан. Оползневая деятельность может привести к выносу материала хвостохранилищ в реку Майлуу-Суу и, соответственно, способствовать расширению зоны радиоактивного загрязнения на всю Ферганскую долину [10]. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения на поверхности защитного покрытия хвостохранилищ находится в пределах от 60 до 100 мкР/ч, а на участках хвостохранилищ, где защитное покрытие нарушено или отсутствует, МЭД гамма-излучения достигает 1500 мкР/ч [10].

Основной вклад в радиоактивное загрязнение материала хвостохранилищ вносят радионуклиды радия, радона и их дочерние продукты. Объемная активность радона в воздухе над участками с защитным покрытием составляет от 22 до 100 Бк/м³, а над участками, где защитное покрытие отсутствует, и внутри некоторых помещений, размещенных в непосредственной близости от хвостохранилищ, – от 1000 до 6500 Бк/м³. Дренажные воды, стекающие в реку Майлуу-Суу, имеют высокое содержание ²³⁸U и ²³⁴U – от 15 до 50 Бк/л [10].

С 2014 г. проводятся реабилитационные мероприятия на объектах уранового наследия в поселках Мин-Куш и Каджи-Сай (Киргизская Республика) и в таджикском городе Истиклол.

Город Истиклол с населением около 12 000 человек находится всего в нескольких километрах от законсервированного Табошарского уранового месторождения, которое представляет собой обширную территорию общей площадью свыше 400 га, занятую поверхностными хранилищами, оставшимися от 4 гидрометаллургических заводов по переработке урановых руд. Комплекс захоронений состоит из незаконсервированного открытого карьера «Фабрики бедных руд», разрушенных промышленных зданий и 4 хвостохранилищ, содержащих около 12 млн тонн отходов урановых руд [7, 12].

В результате проведенного радиационного мониторинга определено, что суммарный годовой выброс радона из хвостохранилищ у г. Истиклол оценивается в $24,7 \times 10^{12}$ Бк. Миграция радона с воздушными потоками и его радиоактивный распад приводят к загрязнению прилегающих к объектам территорий долгоживущими продуктами распада – ^{210}Po и ^{210}Pb [7, 12]. Воды в районе г. Истиклола отличаются повышенными содержаниями ^{234}U , ^{238}U и ^{226}Ra , причем воды карьера, дренажи штолен и хранилищ радиоактивных отходов содержат изотопы урана в количествах, значительно превышающих уровни вмешательства для питьевой воды.

На хвостохранилищах у г. Истиклол предполагается выполнить строительно-монтажные работы, направленные на приведение объектов в безопасное состояние. В частности, будет проведена дезактивация существующих загрязненных территорий, реконструкция инженерных барьеров и системы водоотводов, будет создана система мониторинга.

Урановое наследие Российской Федерации

На территории Российской Федерации наиболее крупными объектами уранового наследия являются Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК), горнодобывающее предприятие ЛПО «Алмаз» и хвостохранилища Приаргунского производственного горно-химического объединения.

На КЧХК, построенном в конце 1930-х гг., были созданы производственные мощности по переработке уранового сырья, использовавшегося в процессе обогащения ядерного топлива. Технологические отходы после максимального извлечения из них урана в виде паст размещались в бетонных хранилищах с битумной гидроизоляцией или в приповерхностных сооружениях траншейного типа с глиняной гидроизоляцией. Низкоактивные шламы размещались в шламохранилищах. В процессе производственной деятельности подверглись загрязнению основные производственные корпуса комбината, грунты под ними, а также места заполнения и слива цистерн для транспортирования жидких РАО [11].

Специалистами РНЦ «Курчатовский институт» и ГУП МосНПО «Радон» разработана концепция вывода из эксплуатации объектов КЧХК, реабилитации зданий, территорий, хранилищ РАО и шламохранилищ. Основные задачи реабилитационных работ: обеспечение безопасного состояния шламов и радиоактивных отходов в хранилищах, дезактивация зданий и оборудования цехов, ликвидация отдельных хранилищ РАО, прекращение поступления радионуклидов в грунтовые воды и другие объекты окружающей среды [11].

Бывшее горнодобывающее предприятие ЛПО «Алмаз» расположено на территории Ставропольского края, в междуречье рек Кумы и Подкумка [21]. В состав предприятия входили эксплуатировавшиеся с 1950 по 1990 г. урановые рудники № 1 (Бештаугорское месторождение, гора Бештау) и № 2 (Быкогорское месторождение, гора Бык), завод по обогащению руд и хвостохранилище. Переработка руды проводилась на гидрометаллургическом заводе (ГМЗ), расположенном в промышленной зоне города Лермонтова. С 1954 г. здесь перерабатывался уран из рудников № 1 и № 2, а с 1974 по 1991 г. – привозные урановые руды. Отобработка месторождений осуществлялась горным способом. Пустая порода складировалась

в отвалах, в районе устьев штолен. Отходы гидрометаллургического завода транспортировались на территорию хвостохранилища по пульпопроводу. После прекращения разработки месторождений и переработки руды была выполнена рекультивация горных отвалов, устья штолен перекрыли. Проводится рекультивация шламохранилища гидрометаллургического завода.

Приаргунское производственное горно-химическое объединения (ППГХО) является многоотраслевым горнодобывающим предприятием, осуществляющим подземную добычу урановых руд и их переработку гидрометаллургическим способом. Кроме промышленной площадки ППГХО, на прилегающих территориях находятся отвалы отработанных горных пород и хвостохранилища. Мощность дозы гамма-излучения на территории санитарно-защитной зоны (СЗЗ) составляет от 0,11 до 5,4 мкЗв/ч, а за пределами СЗЗ не превышает 0,32 мкЗв/ч (при фоновом значении 0,14 мкЗв/ч). Максимальная удельная активность ^{226}Ra в почве на территории СЗЗ достигает 12 800 Бк/кг, ^{230}Th – 510 Бк/кг. За пределами СЗЗ удельная активность ^{226}Ra в почве достигает 430 Бк/кг, при фоновом значении для данной местности 88 Бк/кг [25].

Урановое наследие Украины

Одним из первых в СССР предприятий по переработке уранового сырья было производственное объединение «Приднепровский химический завод» (далее ПО «ПХЗ») в городе Днепропетровске Днепропетровской области (Украина), который был введен в эксплуатацию в 1947 г. С развалом СССР в 1991 г. ПО «ПХЗ» прекратил основную деятельность по производству урана, после чего остались хвостохранилища отходов уранового производства [15]. При ликвидации завода хвостохранилища не были приведены в экологически безопасное состояние [22]. Это привело к созданию очагов радиоактивного загрязнения в пределах значительной территории Днепропетровской промышленно-городской агломерации. В хвостохранилищах накоплено до 42 млн т отходов от переработки урановых руд общей активностью радионуклидов урана $3,2 \times 10^{15}$ Бк (средняя удельная активность радионуклидов урана – 76 кБк/кг). Общая площадь хвостохранилищ – 2,77 млн м². Мощность экспозиционной дозы варьирует в пределах от 0,01 до 350 мкЗв/ч [15, 22].

Радон (Rn^{222}) и его дочерние продукты распада (Po^{218} , Pb^{214} , Bi^{214} , Po^{214} , Pb^{210} , Bi^{210} , Po^{210} , At^{218}) вносят основной вклад в формирование дозы облучения и, соответственно, радиационных рисков для населения Днепропетровской промышленно-городской агломерации. Ежегодно из хвостохранилищ ПО «ПХЗ» в воздух поступает $2,13 \times 10^{13}$ Бк, а из хранилищ уранового производства – $2,3 \times 10^{13}$ Бк радона [15, 24]. После эксгаляции радона из хвостохранилищ он диффузионно-конвективным путем распространяется в приземном слое атмосферы, создавая радоноопасную обстановку вокруг хвостохранилища [24].

Установлено, что индивидуальные дозы облучения населения поселков, наиболее близко расположенных к бывшему ПО «ПХЗ» и его хвостохранилищам, достигают 492 мкЗв/год. Коллективные дозы в населенных пунктах с максимальным количеством населения составляют: для населения Днепропетровска – 75,5 чел.-Зв/год, Таромского – 5,31 чел.-Зв/год, Карнауховки – 2,08 чел.-Зв/год [15, 22, 24].

Характеристика неядерных отраслей промышленности, приведших к радиоактивному загрязнению обширных участков территорий

Кроме объектов использования атомной энергии, к радиоактивному загрязнению природными радионуклидами значительных по размеру участков территории, зданий и сооружений привели и другие виды практической деятельности, в частности добыча и извлечение драгоценных, редких и редкоземельных элементов, добыча и переработка нефти и газа, водоочистка, добыча и сжигание угля и др. [27–69].

Радиационная обстановка на объектах добычи и извлечения драгоценных, редких и редкоземельных элементов

Повышенное содержание природных радионуклидов во вскрышных породах и хвостохранилищах характерно для предприятий по добыче драгоценных металлов и при разработке комплексных месторождений минерального сырья. В хвостах обогащения горно-обогатительных комбинатов, получающих концентраты тугоплавких металлов (W, Mo, Ta, Nb), удельные активности природных радионуклидов достигают 2,6 кБк/кг, при производстве минеральных удобрений – до 20 кБк/кг ^{226}Ra и до 46,3 кБк/кг ^{232}Th [8, 27–29, 37, 38].

Высокой степенью радиоактивности, которая связана с повышенным содержанием природных радионуклидов рядов урана и тория, характеризуется редкометалльное сырье Кольского региона. В хвостах обогащения редкометалльного сырья Ловозерского месторождения величина эффективной удельной активности природных радионуклидов $A_{\text{эфф}}$ достигает 4,6 кБк/кг, Хибинского – 2,2 кБк/кг [34]. В хвостах обогащения руд перспективного Томторского месторождения удельные активности достигают: ^{226}Ra – 1,2 кБк/кг; ^{228}Ra – 1,06 кБк/кг, а в кеках после вскрытия руды: ^{226}Ra – 1,4 кБк/кг [34, 37, 38].

Технологиям производства двуокиси титана TiO_2 сопутствует образование хвостохранилищ с повышенным содержанием природных радионуклидов, тонкая фракция которых поступает на близлежащие территории за счет ветрового выноса [35, 36]. Удельные активности природных радионуклидов в отходах оказываются выше, чем в исходном сырье, само сырье в производстве TiO_2 (перовскитовый, рутиловый и ильменитовый концентраты) уже отличается повышенным содержанием природных радионуклидов. Содержание ^{226}Ra в шламах титанового производства достигает 2,85 кБк/кг.

Полезным, с практической точки зрения, является опыт вывода из эксплуатации и реабилитации бывших промышленных объектов, загрязненных ^{232}Th и его дочерними продуктами, в Китае [36]. На предприятиях ранее получали торий из минеральных песков, содержавших равновесный ряд тория, а также производили и обрабатывали магниево-ториевые сплавы. На загрязненных участках удельные активности радионуклидов ряда ^{232}Th находились в пределах 0,1–500 кБк/кг. Мощность дозы внешнего гамма-излучения достигала 20 мкЗв/ч на поверхности земли и 5 мкЗв/ч на высоте 1 м.

Критериями реабилитации в Китае для радионуклидов ряда ^{232}Th были приняты значения остаточной удельной активности для разных сценариев:

- перепланировка промышленных площадок, загрязненных в результате прошлой деятельности, для бытового использования: $<0,1$ Бк/г;
- передача участка для промышленного использования: $<0,5$ Бк/г;
- частичное восстановление объекта, на котором должны продолжаться промышленные операции: $<0,5$ Бк/г.

Характеристика отходов, загрязненных природными радионуклидами, на предприятиях нефтегазовой отрасли

Источником загрязнения природными радионуклидами территорий предприятий нефтегазового комплекса (НГК) является их повышенное содержание в сопутствующих нефтегазодобыче подземных пластовых водах. При добыче и первичной подготовке нефти и газа на внутренней поверхности нефтегазопромыслового оборудования происходит осаждение изотопов радия из протекающих через него сопутствующих пластовых вод – ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{224}Ra [46–50]. В результате деятельности предприятий НГК в отдельных регионах страны накоплены сотни тысяч кубометров производственных отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов. В регионах нефтегазодобычи десятилетиями остаются неочищенными и некультивированными большие площадные радиоактивные загрязнения местности [46–50].

Радионуклидный состав производственных отходов НГК зависит от их возраста. Это обстоятельство следует учитывать при оценке содержания природных радионуклидов на загрязненных (реабилитированных) территориях, как по внешнему излучению, так и по удельной активности. В реальном масштабе времени количество ^{226}Ra в отходах со временем практически не меняется ($T_{1/2} = 1600$ лет). Изменение радионуклидного состава отходов определяется распадом ^{228}Ra и образованием и распадом его дочернего продукта ^{228}Th : ^{228}Ra ($T_{1/2} = 5,75$ лет) – $>^{228}\text{Th}$ ($T_{1/2} = 1,9$ лет) – $>^{224}\text{Ra}$ ($T_{1/2} = 3,66$ дня) [27, 30].

Производственные отходы водоподготовки

Организованному использованию всех видов подземных вод предшествует водоподготовка, которая удаляет из воды вредные примеси. Отходы водоподготовки содержат природные радионуклиды в широком диапазоне концентраций, достигающих в некоторых случаях 130 кБк/кг [48]. Коэффициент накопления ^{226}Ra в отходах водоподготовки относительно его содержания в воде оценивается величиной $\sim 2,5 \times 10^4$ [49, 51].

Материалами отходов водоподготовки с повышенным содержанием природных радионуклидов становятся: осадки с внутренней поверхности технологического оборудования, очистительные фильтры и смягчающие воду реагенты, которые могут задерживать до 90% содержащегося в воде радия, а также специальные сорбенты в сочетании с активированным углем, удерживающие до 95% радона [30]. В местах размещения отходов водоподготовки существенным является радонотделение из отвалов [48, 52].

Количество отходов водоподготовки с повышенным содержанием природных радионуклидов определяется величиной водного потока, длительностью работы системы и ее технологическими особенностями, а не только содержанием природных радионуклидов в воде, которое может быть и невелико.

Удельные активности природных радионуклидов в отходах водоподготовки питьевой воды, по данным [53], достигают 128 кБк/кг по ^{228}Ac , 26 кБк/кг – по ^{212}Bi , 287 кБк/кг – по ^{214}Bi , 30 кБк/кг – по ^{212}Pb , 293 кБк/кг – по ^{214}Pb и до 12 кБк/кг – по ^{208}Tl . В фильтрах водоочистки удельная активность ^{226}Ra составляет 0,34–5,6 кБк/кг, а коэффициент эманирования равен 0,7 [52]. По нашим данным, в отработавших фильтрующих материалах (песчано-гравийная смесь) системы водоочистки г. Тверь удельная активность ^{226}Ra составляла 18 кБк/кг при коэффициенте эманирования в диапазоне 0,6–0,9. На станции обезжелезивания воды п. Лебяжье Ленинградской области отходы водоподготовки имели удельную активность ^{226}Ra до 40 кБк/кг, ^{228}Ra – до 30 кБк/кг при мощности экспозиционной дозы на поверхности отдельных элементов действующего технологического оборудования 100–200 мкР/ч, а на поверхности образовавшихся отходов – до 500 мкР/ч [51, 54].

Образование производственных отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов, связанное с большим потреблением воды, происходит и при производстве бумаги и целлюлозы. Осадки из труб сброса жидких отходов бумажной фабрики (США) содержали до 15 Бк/г ^{226}Ra и до 4 Бк/г ^{230}Th , а мощность дозы гамма-излучения от них достигала 1,7 мкЗв/ч [48, 55].

Значительный объем отходов с высоким содержанием природных радионуклидов образуется при производстве йода и брома из сопутствующих пластовых вод. На территории бывшего СССР йод из пластовых вод производили на Бакинском и Ново-Нефтячинском заводах в Азербайджане, Челекенском и Небид-Дагском заводах в Туркмении. На территории Азербайджана функционировало несколько таких заводов (самые крупные в Нефтячале, поселках Ени Сураханы и Раманы). Мощность дозы гамма-излучения на площадках бывших заводов по производству йода и брома в поселках Ени Сураханы и Раманы достигает 15,6 мкЗв/ч. Аналогичная ситуация на не работающем с 1983 г. йодобромном заводе в Нефтячале [56, 57].

На йодном заводе в г. Троицк (Краснодарский край) за 30 лет работы накопилось около 5000 т отходов, сопоставимых по удельной активности с уран-ториевой рудой с концентрациями урана 23 Бк/г и тория 24 Бк/г. На йодобромном производстве в Пермском крае в твердых отходах удельная активность ^{226}Ra достигает 25 Бк/г, ^{228}Ra – 27 Бк/г, ^{228}Th – 17 Бк/г. Мощность экспозиционной дозы в местах их складирования достигает 1480 мкР/ч. Коэффициент накопления радия в осадках оценивается величиной $(1-1,3) \cdot 10^4$. На Черкашинском месторождении йодных вод в Томской области концентрация радия в сбросных водах оценивается величиной 0,8–2,0 Бк/л, а удельная активность твердых отходов достигает 25 кБк/кг по ^{226}Ra и 1,3 кБк/кг по ^{210}Po [58–61].

Производственные отходы при добыче и сжигании углей

Сжигание углей является одним из главных источников поступления природных радионуклидов в окружающую среду. Коэффициент обогащения угольной золы природными радионуклидами имеет широкий диапазон значений и может составлять: 1–10 для ^{238}U и ^{232}Th , 5–15 для ^{226}Ra , 30–200 для ^{210}Po , 20–120 для ^{210}Pb , 10–50 для ^{40}K [62–64].

Для ряда месторождений коэффициенты обогащения не являются постоянной величиной и могут различаться для углей разных пластов и горизонтов, в результате часть зол от сжигания этих углей оказывается с повышенным содержанием природных радионуклидов. Особенностью углей Уртуйского месторождения являются вариации содержания природных радионуклидов более чем в 100 раз. Часть углей с повышенным содержанием природных радионуклидов, так называемых комплексных с удельной активностью более 1230 Бк/кг, складывается в специальном отвале и покрывается инертным материалом (ПГС, глина и т.п.). Общая площадь участков складирования комплексного угля на нескольких отвалах составляет 76 тыс. м². До 1995 г. в специальных отвалах с прикрытием их поверхности инертным материалом из вскрышных пород было складировано 750 тыс. т углей. При сжигании этого угля могло бы образоваться более 100 тыс. т золы и шлака, которые классифицировались бы как низкоактивные радиоактивные отходы, требующие специальных условий обращения [65–68].

В бурых углях Итатского месторождения также выявлена неравномерность распределения природных радионуклидов [69] и повышенное содержание урана – до 1,75 кБк/кг. В золошлаковом материале, образующемся при сжигании такого угля, содержание урана составляет 11,4 кБк/кг [69]. По данным [63, 64], коэффициент обогащения золы от сжигания углей Итатского месторождения сильно варьирует от партии к партии и составляет от 5 до 10, а удельная активность ^{226}Ra в золе может достигать 33 кБк/кг. Величина $A_{\text{эфф}}$ в углях Итатского месторождения достигает 2,2 кБк/кг, в углях Черемховского месторождения составляет 0,25–2,5 кБк/кг, а Уртуйского – 0,15–12,6 кБк/кг.

Требования по ограничению облучения населения природными ИИИ

Международные рекомендации

В международных рекомендациях [23, 70, 71] и отечественных нормативных документах нормирование радиационной безопасности населения при воздействии техногенных и природных источников ионизирующего излучения раздельное. В международных основных нормах безопасности (Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3) введены три типа ситуаций облучения [71]:

- ситуации планируемого облучения;
- ситуации аварийного облучения;
- ситуации существующего облучения.

Облучение от природных (естественных) источников в целом рассматривается как ситуация существующего облучения. Однако Нормами [71] определено, что требования, относящиеся к ситуациям планируемого облучения, применяются к облучению от материала при осуществлении любой практической деятельности, если в этом материале концентрация активности какого-либо радионуклида из цепочек распада урана или тория превышает 1 Бк/г или концентрация активности ^{40}K превышает 10 Бк/г.

Следовательно, к ситуациям планируемого облучения относится (профессиональное облучение и облучение населения) обращение с материалами, содержащими

природные радионуклиды, при осуществлении любой практической деятельности, если в этих материалах удельная активность какого-либо радионуклида из цепочек распада урана или тория превышает 1 Бк/г или удельная активность ^{40}K превышает 10 Бк/г. Если удельная активность любых радионуклидов из цепочек распада урана или тория не превышает 1 Бк/г и удельная активность ^{40}K не превышает 10 Бк/г, то такое обращение переходит в ситуацию существующего облучения.

К ситуации существующего облучения относится и облучение населения, проживающего в районах размещения объектов уранового наследия, а также отвалов и хвостохранилищ, образовавшихся в результате добычи и извлечения драгоценных, редкоземельных металлов и минеральных веществ.

Требования отечественных нормативных документов по ограничению облучения населения природными ИИИ

Основные требования по ограничению облучения населения природными ИИИ изложены в Нормативах радиационной безопасности (НРБ-99/2009), в Основных санитарных правилах обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) с изменениями № 1 от 16 сентября 2013 г. и в Гигиенических требованиях по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: СанПиН 2.6.1.2800-10.

Пунктом 5.2.10 ОСПОРБ-99/2010 организации, добывающие и перерабатывающие руды с целью извлечения из них природных радионуклидов, а также организации, использующие эти радионуклиды, относятся к организациям, осуществляющим деятельность с использованием техногенных источников излучения. На них распространяются требования по обеспечению радиационной безопасности, изложенные в разделе III Правил «Радиационная безопасность персонала и населения при эксплуатации техногенных источников излучения». К таким видам практической деятельности относятся добыча, обогащение и переработка урановых руд, а также добыча, обогащение и извлечение радия. Следовательно, в отечественном законодательстве, как и в международных рекомендациях, на действующие предприятия по добыче и переработке урана и радия и на население, проживающее в районе их размещения, распространяются установленные для техногенного облучения дозовые пределы.

Облучение населения, проживающего в районах размещения объектов уранового наследия, а также отвалов и хвостохранилищ, образовавшихся в результате добычи и извлечения полезных ископаемых, относится к природному облучению.

В соответствии с п. 5.3.1 НРБ-99/2009, допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. Снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения.

Пунктом 5.1.1 ОСПОРБ-99/2010 определено, что требования по обеспечению радиационной безопасности населения распространяются на регулируемые природные источники ионизирующего излучения: изотопы радона и продукты их радиоактивного распада в воздухе помещений, гамма-излучение природных радионуклидов, содержащихся в строительных изделиях и материалах,

природные радионуклиды в питьевой воде, минеральных удобрениях и агрохимикатах, а также в продукции, изготовленной с использованием минерального сырья и материалов, содержащих природные радионуклиды.

Мероприятия по снижению уровней облучения природными источниками излучения должны осуществляться в первоочередном порядке для групп населения, подвергающихся облучению в дозах более 10 мЗв/год.

Направления использования реабилитированных участков территории, зданий и сооружений

Для объектов и территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, после окончания мероприятий по их реабилитации наиболее вероятными направлениями их использования будут являться:

1. Неограниченное использование, в том числе для строительства новых и/или использования существующих зданий и сооружений любого назначения.
2. Использование в производственных целях, в том числе для строительства новых и использования существующих зданий и сооружений производственного назначения, а также дорожного строительства в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки.

Критерии радиационной безопасности

Критериями радиационной безопасности участков территории, зданий и сооружений, дезактивированных (реабилитированных) после загрязнения природными радионуклидами, в зависимости от дальнейшего направления использования, будут являться:

1. Для участков территории, зданий и сооружений, планируемых для неограниченного использования, в том числе для строительства новых и/или использования существующих зданий и сооружений любого назначения:
 - мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на территории не должна превышать 0,3 мкЗв/ч, а в помещениях зданий и сооружений она не должна превышать более чем на 0,3 мкЗв/ч гамма-фон на прилегающей территории;
 - эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{\text{эфф}}$) в объектах среды обитания (участки территории, ограждающие конструкции зданий и сооружений) не должна превышать 370 Бк/кг;
 - плотность потока радона с поверхности грунта не должна превышать 80 мБк/(м²·с);
 - среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений зданий и сооружений не должно превышать 100 Бк/м³.
2. Для участков территории, зданий и сооружений, планируемых для использования в производственных целях, в том числе для строительства новых и использования существующих зданий и сооружений производственного назначения, а также дорожного строительства в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки:
 - мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения не должна превышать 0,6 мкЗв/ч;
 - эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{\text{эфф}}$) в объектах среды обитания не должна превышать 740 Бк/кг;

- плотность потока радона с поверхности грунта не должна превышать 250 МБк/(м²·с);
- среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений производственных зданий и сооружений не должно превышать 150 Бк/м³.

Организация радиационного обследования реабилитированных объектов и территорий

Основной особенностью загрязнения окружающей среды природными радионуклидами на предприятиях ядерной и неядерных отраслей промышленности является то, что радиационный фактор представлен одними и теми же радионуклидами – радионуклидами уранового и ториевого рядов.

Цепочка распада U-природного представлена следующими радионуклидами – Th-234, Pa-234m, U-234, Th-230, Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210.

Цепочка распада Th-природного представлена следующими радионуклидами – Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0,36), Po-212 (0,64)

При обнаружении в отвалах, хвостохранилищах добычи драгоценных и редких металлов, в пластовых водах при нефтедобыче, в отходах водоподготовки Ra-226 его цепочку распада составляют следующие радионуклиды – Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210.

По данным [15, 22, 24], в формировании дозовых нагрузок от радона и его дочерних продуктов распада, преобладают три основных пути:

- вдыхание радионуклидов (ингаляция), определяющее около 38,8% дозы;
- потребление продуктов питания, определяющее около 1,2% дозы;
- внешнее облучение от поверхности почвы, определяющее около 60% дозы.

При формировании дозы за счет выделения радона из хвостохранилищ основную роль играет не радон, а его дочерние продукты распада [15, 22, 24], при том что на долю самого радона приходится порядка 0,017%. Наибольший вклад в дозу облучения из ДПР радона вносит Bi-214 и далее по убыванию → Pb-214 → Pb-210 → Po-210 → Bi-210 → Po-214 → Rn-222 → At-218.

После дезактивации площадки, консервации (захоронения) хвостохранилищ и реабилитации прилегающей территории производится заключительное радиационно-гигиеническое обследование. Целью этого обследования является оценка эффективности проведенных мероприятий и соответствия результатов их выполнения установленным критериям.

В результате изучения и анализа требований международных рекомендаций [70–71] и национальных нормативно-методических документов по радиационному обследованию радиоактивно загрязненных участков территории, зданий и сооружений нами определены основные контролируемые радиационные параметры [65, 72, 74–76]:

- мощность дозы гамма-излучения на территории объектов, на прилегающей территории, в зданиях и сооружениях;

- объемная активность аэрозолей в воздухе производственных помещений, на территории объектов и на прилегающей территории;

- ОА и ЭРОА радона и его дочерних продуктов распада в воздухе производственных помещений, на территории объектов и на прилегающей территории;

- плотность потока радона с поверхности почв и грунтов на территории объектов и на прилегающей территории;

- уровень радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды (почва, растительность, вода поверхностных водоемов) на прилегающей территории;

- содержание радионуклидов в воде водоотводящих канав, в грунтовых водах, водоносных горизонтах, открытых водоемах.

Методологической основой для проведения заключительного радиационно-гигиенического обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами, являются МУ 2.6.1.2398-08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности». Однако в МУ 2.6.1.2398-08 не рассматриваются вопросы организации и методы исследования уровня радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды (почвы, растительности, воды водоотводящих канав, открытых водоемов, водоносных горизонтов, грунтовых вод) на прилегающей территории.

В публикациях Н.К. Шандалы и др. [72–74] представлен опыт оценки влияния на население и окружающую среду Приаргунского производственного горно-химического объединения природных радионуклидов из отвалов пород, штолен, шахтных вод, хвостохранилища по различным каналам воздействия, таким как: γ-излучение на поверхности; ингаляционное облучение дочерними продуктами распада радона; потребление продуктов питания местного производства; ветровой и ливневый разнос радионуклидов; разнос радионуклидов поверхностным и грунтовыми водами. Объектами исследований были почва, пищевые продукты местного производства, объекты водной среды (донные отложения, озерная вода, водоросли). Проводились измерения объемной активности (ОА) радона в сооружениях и мощности дозы гамма-излучения на территории и в сооружениях. В пробах объектов окружающей и водной среды определялась удельная активность естественных радионуклидов (ЕРН) методами гамма-спектрометрии с использованием полупроводниковых и сцинтилляционных гамма-спектрометров. Определение активности ЕРН проводилось:

- ²³⁸U по гамма-квантам дочернего нуклида ²³⁴Pa с энергией 1001,03 кэВ;
- ²²⁶Ra по излучению дочерних нуклидов ²¹⁴Pb (609,31, 1120,3 и 1764,49 кэВ) и ²¹⁴Pb (295,22 и 351,93 кэВ);
- ²³²Th по излучению дочерних нуклидов ²⁰⁸Tl (583,19 и 2614,53 кэВ), ²¹²Pb (238,63 и 300,09 кэВ) и ²¹²Bi (727,3 кэВ);
- ²²⁸Ra по излучению дочернего нуклида ²²⁸Ac (338,32; 463,1; 911,2 и 968,97 кэВ);
- ⁴⁰K по гамма-линии с энергией 1460,83 кэВ;
- ²³⁵U по гамма-линии с энергией 185,7 кэВ с вычетом вклада гамма-квантов ²²⁶Ra с энергией 186,2 кэВ.

Перед проведением измерений пробы выдерживались в течение 30–40 сут в герметичных емкостях для установления равновесия между дочерними и материнскими радионуклидами [72–74].

Методы исследований, представленные в публикациях Н.К. Шандалы и др. [72–74], могут быть использованы при обосновании организации и методологии проведения заключительного радиационно-гигиенического обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами.

Заключение

На основе обобщения и систематизации литературных данных по проблеме ликвидации уранового наследия, а также других видов практической деятельности, в результате которых образовались отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов, нами сделаны следующие выводы:

- шахты, рудники, промышленные площадки горно-химических комбинатов и гидрометаллургических заводов, отвалы и хвостохранилища урановых производств, добычи и переработки минерального сырья в настоящее время находятся в неудовлетворительном состоянии по радиационной безопасности;

- из-за разрушений или отсутствия барьеров, препятствующих распространению радионуклидов, происходит загрязнение природными радионуклидами объектов окружающей среды и облучение населения близко расположенных населенных пунктов;

- основными путями облучения населения от исследуемых объектов являются вдыхание радионуклидов (ингаляция), потребление продуктов питания и воды, внешнее облучение от поверхности почвы;

- радон (Rn^{222}) и его дочерние продукты распада (Po^{218} , Pb^{214} , Bi^{214} , Po^{214} , Pb^{210} , Bi^{210} , Po^{210} , At^{218}) вносят основной вклад в формирование дозы облучения и, соответственно, радиационных рисков для населения, проживающего вблизи объектов уранового наследия, и других видов практической деятельности, в результате которых образовались отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов.

В соответствии с отечественной нормативной базой, облучение населения, проживающего в районах размещения объектов уранового наследия, а также объектов неядерных отраслей промышленности по добыче и переработке минерального сырья, относится к природному облучению и подлежит регулированию в соответствии с подразделом 5.3 НРБ-99/2009 «Ограничение природного облучения» и V разделом ОСПОРБ-99/2010 «Радиационная безопасность при воздействии природных источников излучения».

Направлениями использования объектов и территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, после окончания мероприятий по их реабилитации будут являться неограниченное использование и использование в производственных целях.

Для неограниченного использования реабилитированных участков территории зданий и сооружений критериями будут являться требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 для строительства зданий жилищного и общественного назначения.

Критериями использования реабилитированных участков территории зданий и сооружений с остаточным загрязнением природными радионуклидами в производственных целях будут являться требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 для строительства производственных зданий и сооружений.

Литература

1. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации / под ред. Большова Л.А., Лаверова Н.П., И.И. Линге. – Москва, 2015. – Т. 3. – 316 с.
2. Беляев, М.В. ФГУП «РОСРАО»: Проекты реабилитации / М.В. Беляев // Безопасность окружающей среды. – 2010. – № 3. – С. 45–52.
3. Романович, И.К. Ликвидация ядерного наследия: радиационно-гигиенические критерии безопасности дезактивированных участков территории, зданий и сооружений / И.К. Романович // Здоровье населения и среда обитания. – 2018. – № 4 (301). – С. 21–26.
4. Романович, И.К. Критерии реабилитации объектов и территорий, загрязненных радионуклидами в результате прошлой деятельности: Часть 1. Выбор показателей для обоснования критериев реабилитации / И.К. Романович, И.П. Стамат, Н.И. Санжарова [и др.] // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 6–15. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-6-15.
5. Романович, И.К. Научное обоснование подходов к организации и проведению радиационного обследования реабилитированных радиационных объектов / И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 90–102. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-90-102.
6. Голиков, В.Ю. Обоснование радиологических критериев использования территорий с остаточным радиоактивным загрязнением на основе дозового подхода / В.Ю. Голиков, И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 6–22. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-6-22.
7. Махмадалиев, Б.Н. Проблема рекультивации отвалов и радиоактивных отходов хвостохранилищ в Таджикистане / Б.Н. Махмадалиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. – 2017. – № 2-2. – С. 174–177.
8. Крупская, Л.Т. Обоснование экологической реабилитации территорий, подвергшихся воздействию объектов накопленного экологического ущерба (хвостохранилищ) в результате прошлой хозяйственной деятельности бывших горных предприятий в Дальневосточном федеральном округе (ДФО) / Л.Т. Крупская, Р.Г. Мелконян, Л.П. Майорова, Д.А. Голубев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 4. – С. 5–15.
9. Тен, О.Л. Радиоэкологическая характеристика объектов размещения радиоактивных отходов уранового производства и рекомендации по ее улучшению / О.Л. Тен // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 2. – С. 132–134.
10. Урановые хвостохранилища в Центральной Азии: национальные проблемы, региональные последствия, глобальное решение: информационные материалы к Бишкекской региональной конференции 21–24 апреля 2009 года. – 81 с. (проект).
11. Волков, В.Г. Реабилитация объектов переработки уранового сырья / В.Г. Волков, В.И. Павленко, А.В. Чесноков, А.Э. Арустамов, Д.В. Козырев, И.В. Пикулина // Безопасность окружающей среды. – №1. – 2008. – С. 60–62.
12. Назаров, Х.М. Экологические аспекты реабилитации урановых хвостохранилищ г. Истиклола Республики Таджикистан / Х.М. Назаров, Д.А. Саломов, Н. Хакимов, Н.Н. Рахматов, Э.А. Эрматов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математи-

- ческих, химических, геологических и технических наук. – 2015. – № 2 (159). – С. 87-92.
13. Клочкова, Н.В. Комплексная радиационно-гигиеническая оценка окружающей среды отработанного уранового месторождения Табошар (Таджикистан) / Н.В. Клочкова, А.С. Салтыков, Г.И. Авдонин // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. трудов. – 2014. – С. 136-139.
14. Амосов, П.В. К вопросу оценки интенсивности пыления хвостохранилищ / П.В. Амосов, А.А. Бакланов // Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-28): Сборник трудов 28 Международной научной конференции, Саратов, 22-24 апр., 2015, Ярославль, 2-4 июня, 2015, Рязань, 24-26 нояб., 2015. – Т. 1. – 2015. – С. 3-5.
15. Лисиченко, Г.В. Мировой опыт реабилитации бывших урановых производств / Г.В. Лисиченко, В.Е. Ковач // Техногенно-экологична безпека та цивільний захист. – 2013, № 6. – С. 4-12.
16. Алборов, И.Д. Оценка экологической обстановки в районе Унальского хвостохранилища / И.Д. Алборов, Ю.С. Бадтиев, Ф.К. Бадтиева, Ф.Г. Тедеева // Вестн. МАНЭБ. – 2011. – Т. 16, № 2. – С. 9-17.
17. Островский, Ю.В. Реабилитация техногенных водоемов урановых производств / Ю.В. Островский, Г.М. Заборцев, А.Б. Александров, А.В. Бабушкин, А.Л. Хлытин, Н.Б. Егоров // Радиохимия. – 2010. – Т. 52, № 3. – С. 260-265.
18. Войцехович, О.В. Проблемные вопросы реабилитации бывших урановых производств / О.В. Войцехович // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. – 2010. – №4. – С. 95-101.
19. Шиганак, Ш.Б. Реабилитация территорий, подвергшихся деятельности урановых производств / Ш.Б. Шиганак, А.М. Айтиалиев, К.П. Маматов, А.И. Кислов, З.А. Разыков, Н.Х. Хакимов, М.М. Рузиев, В.Ф. Рязанцев / Седьмое заседание Комиссии стран-участников СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях 23 июня 2005, Киев. – 31 с.
20. Дженбаев, Б.М. Проблемы радиоэкологии и радиационной безопасности бывших урановых производств в Кыргызстане / Б.М. Дженбаев, Б.К. Калдыбаев, Б.Т. Жолболдиев // Радиаци. биол. Радиоэкол. – 2013. – Т. 53, № 4. – С. 428-433.
21. Агапов, А.М. Мониторинг состояния недр на объектах бывшего ЛПО «Алмаз» / А.М. Агапов, М.Л. Глинский, С.В. Святовец // Безопасность Окружающей Среды. – 2009. – №3. – С. 64-67.
22. Лисиченко, Г.В. Урановые руды Украины / Г.В. Лисиченко, Ю.П. Мельник, О.Ю. Лисенко, Т.В. Дудар, Н.В. Никитина; под ред. Г.В. Лисиченка. – Киев: Наук. думка, 2010. – 214 с.
23. Серия Норм МАГАТЭ по безопасности «Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля». Руководство № RS-G-1.7. – Вена, 2006. – 31 с.
24. Дурасова, Н.С. Оценка радоноопасности объектов ядерно-топливного цикла на примере хвостохранилищ Приднепровского химического завода / Н.С. Дурасова, Г.Д. Коваленко // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – Т. 30, № 3 (200). – С. 176-181.
25. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения урановых шахт в Забайкалье / Н.К. Шандала, А.В. Титов, Е.А. Хохлова, Д.В. Исаев, С.Б. Золотухина, Л.А. Журавлева, В.В. Шлыгин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 59, № 4. – С. 5-8.
26. Navrankova R., Havranek J., Kankovsky J., Repa L., Zolzer F. The radiological situation around the former uranium processing plant Mape Mydlovary, Czech Republic. Nuclear Technology & Radiation Protection, Vol. 30, No 2, pp. 132-138.
27. Лисаченко, Э.П. Радиационно-гигиеническое обследование промышленных объектов неядерных технологий / Э.П. Лисаченко [и др.] // Радиационная гигиена: сб. науч. трудов. – СПб: ФГУН НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2006. – С. 242-251.
28. Белозерцева, И.А. Воздействие разведки, добычи и переработки полезных ископаемых на почвы Сибири / И.А. Белозерцева, Н.И. Гранина // Фундаментальные исследования. – № 10. – 2015. – С. 238-242.
29. Алборов, И.Д. Добыча полезных ископаемых и ее влияние на природную среду / И.Д. Алборов, Т.М. Тезиев, Ф.Г. Тедеева // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы 13 Международной конференции, Москва – Тбилиси, 15-21 сент., 2014. – 2014. – С. 308-309.
30. Лисаченко, Э.П. Природные радионуклиды в производственных отходах предприятий неурановых отраслей промышленности / Э.П. Лисаченко, И.П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т.2, № 2. – С. 64-71.
31. Лебедев, В.В. Радиационное загрязнение территории золотосеребряного месторождения «Клен» / В.В. Лебедев // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2012, № 5. – С. 94-97.
32. Алборов, И.Д. Экологическая опасность хвостохранилища Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината / И.Д. Алборов, Ю.Г. Статова, Ф.Г. Тедеева, В.В. Кантемиров // Вестн. МАНЭБ. – 2011. – Т. 16, № 2. – С. 18-21.
33. Сивцева, А.В. Оценка радиационной активности отходов добычи алмазов для производства сварочных материалов / А.В. Сивцева, К.В. Степанова // Современные проблемы науки и образования. – 2007, № 6. – С. 56.
34. Мельник, Н.А. Радиогеоэкологические проблемы эксплуатации и переработки редкометалльных месторождений Кольского полуострова / Н.А. Мельник // Матер. 2-й междунар. конф. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Томск, 2004. – С. 383-386.
35. Radiation protection and NORM residue management in the titanium dioxide and related industries. — Vienna: IAEA, 2012. Safety reports series No. 76.
36. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов по промпродуктам технологического цикла получения титана / С.М. Гращенко [и др.] // Радиохимия. – 1996. – Т. 38. – С. 172-182.
37. Гращенко, С.М. О проблемах естественной радиоактивности в неядерной промышленности / С.М. Гращенко // Экологическая химия. – 1998. – № 7(4). – С. 268-277.
38. Овсянникова, Т.М. Радиоактивность редкометалльных руд и продуктов их передела. Уровни, нормирование и контроль / Т.М. Овсянникова // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Матер. V междунар. конф. Томск, 2016. – С. 478-483.
39. P.V. Shaw, J. Dunderdale. Experience from remediation of thorium contaminated sites: radiation protection and waste management issues. Proceedings of the VII international symposium on naturally occurring radiation material. China, 22-26 April 2013. IAEA Vienna, 2015, pp. 575-582.
40. Корольков, А.Т. Монацитовая проблема города Балея / А.Т. Корольков // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2016. – № 1 (54). – С. 96-103.
41. Нурмаматов, М.А. К вопросу об организационно-контрольных мерах охраны окружающей среды от загрязнений при добыче золота / М.А. Нурмаматов // Форум молодых ученых. – 2017. – № 11 (15). – С. 716-720.
42. Осташ, С.В. О стратегии индустриализации обращения с нефтесодержащими отходами, загрязненными природными радионуклидами / С.В. Осташ, Д.И. Рогожин // ЭВР: Экол. вестн. России. – 2017. – № 8. – С. 28-32.
43. Мустафин, С.К. Радиационный мониторинг объектов добычи углеводородов / С.К. Мустафин // Системы контроля окружающей среды – 2016. Тез. док. Междунар. науч.-технич. конф. – 2016. – С. 205.

44. Лебедев, В.А. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в нефтедобывающей промышленности России / В.А. Лебедев, В.С. Карабуца // Молодой ученый. – 2016. – №1 (105). – С. 257-261.
45. Миндияров, В.Р. Потенциальная опасность радиационного загрязнения компонентов окружающей среды отходами добычи углеводородов / В.Р. Миндияров // Технологии нефти и газа. – 2014, № 4 (93). – С. 8-11.
46. Билалов, Ф.С. Оценка воздействия объектов подготовки нефти на радиационную обстановку прилегающей территории / Ф.С. Билалов, О.Р. Бадрутдинов, О.Р. Баринаева, Р.С. Тюменев, П.Н. Кубарев, П.Н. Сабаев, З.С. Бадрутдинов // Нефт. х-во. – 2014. – № 7. – С. 60-62.
47. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes V I United Nations New York 2010.
48. 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.
49. 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.
50. Лисаченко, Э.П. Использование глубинных вод как объект радиационно-гигиенических исследований / Э.П. Лисаченко, И.П. Стамат // Радиационная гигиена: Сб. науч. трудов. – СПб: ФГУН НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева. – 2006. – С. 185-192.
51. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов уранового и ториевого рядов в процессе водоподготовки артезианской воды для питьевого водоснабжения / С.М. Гращенко, З.Г. Гритченко, Л.В. Шишкунова // Радиохимия. – 1997. – № 39. – С. 476-479.
52. Hanslík, E. Juranová²²² Rn at a groundwater treatment plant. Proceedings of an International Symposium NORM VII Beijing, China, 22–26 April 2013 C 407-416.
53. Palomo M. [et al.]. Radiochemical characterization of the sludge from a treatment plant of potable water: Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19 – 22 March 2007). Poster 5-5. IAEA. Vienna, 2008.
54. Лисаченко, Э.П. Обоснование необходимости радиационного контроля систем и предприятий водоподготовки при использовании подземных вод / Э.П. Лисаченко // Сб. тез. науч.-практ. конф. Актуальные вопросы радиационной гигиены. – 2014. – С. 136-138.
55. Vacaa F. [et al.]. Fluxes and enhancement of natural radionuclides in a pulp mill factory located in the south-west of Spain: Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19 – 22 March 2007). Poster 7-6. IAEA. Vienna, 2008.
56. P.W. Waggitt. A global overview of NORM residue remediation and global practice. Proceedings of the VI International Symposium on NORM held in Marrakesh, Morocco, 22–26 March 2010. Vienna IAEA 2011.
57. Манафлы, Р. Жить под радиацией / Р. Манафлы, Н. Алиев // Эхо. – №88(1569) 19 мая 2007: www.echo_az.com/archive/2007_05/1569 (дата обращения: 27.07.2018)
58. Лисаченко, Э.П. региональные особенности использования подземных вод как потенциального источника формирования радиационного фактора / Э.П. Лисаченко, Н.А. Королева // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, №1. – С. 113-122.
59. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов в технологическом процессе выделения йода из буровых вод воздушнодесорбционным методом / С.М. Гращенко, З.Г. Гритченко, Л.В. Шишкунова // Радиохимия. – 1997. – № 39. – С. 93-96.
60. Литвиненко, В.И. Комплексное освоение месторождений. / В.И. Литвиненко // Нефть. Газ. Промышленность. – 2006. – № 1 (21): <http://www.stroy-press.ru/print.php?id=6166> (дата обращения: 28.07.2018)
61. Кузнецов, П.И. Анализ возможности образования твердых радиоактивных отходов на Троицком йодном заводе в процессе производства йода при замене серной кислоты на соляную на стадии подкисления йод-бромной воды / П.И. Кузнецов [и др.] // АНРИ. – 2002. – Т. 1. – С. 23–32.
62. Мауричева, Т.С. Источники радиоактивного загрязнения окружающей среды при добыче и использовании каменного угля / Т.С. Мауричева, Г.П. Киселев // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. II Междунар. конф. Томск, 18-22 октября. – Томск: Тандем-Арт, 2004. – С. 367-370.
63. Лисаченко, Э.П. К вопросу о необходимости нормирования содержания природных радионуклидов в углях / Э.П. Лисаченко, Т.А. Кормановская, И.П. Стамат, С.М. Гращенко // Сб. трудов 4-го Междунар. Форума «Топливо-энергетический комплекс России: региональные аспекты», Санкт-Петербург, 6-9 апреля 2004 г. – С. 306-308.
64. Стамат, И.П. Проблемы использования ископаемых углей, создаваемые природными радионуклидами / И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, Э.П. Лисаченко, С.М. Гращенко // Матер. II Междунар. Конф. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека», Томск, 18-22 окт. 2004. – С. 569-573.
65. Овсейчук, В.А. Экологический мониторинг при добыче углей с повышенным содержанием ЕРН на примере Уртуйского месторождения в Забайкалье / В.А. Овсейчук, Д.А. Крылов, Г.П. Сидорова, Е.А. Мамаш // Вестник ЗабГУ. – 2013. – № 12 (103). – С. 39-46.
66. Сидорова, Г.П. Радиационно-гигиеническое качество углей Уртуйского месторождения: экологические проблемы и методы решения / Г.П. Сидорова // Горный журнал. – 2012. – № 8. – С. 26-28.
67. Овсейчук, В.А. Ураноносность бурых углей Забайкалья: монография / В.А. Овсейчук, Г.П. Сидорова. – ЗабГУ, 2012. – 196 с.
68. Сидорова, Г.П. Проблемы угольной энергетики, связанные с радиоактивностью углей / Г.П. Сидорова, В.А. Овсейчук, Д.А. Крылов // Вестник ЗабГУ. – 2013. – № 08 (99). – С. 38-45.
69. Волостнов, А.В. Уран и торий в углях Итатского месторождения Канско-Ачинского бассейна / А.В. Волостнов, С.И. Арбузов // Матер. III междунар. конф. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». Томск, 23-27 июня 2009. – С. 120-123.
70. Серия Норм МАГАТЭ по безопасности «Освобождение площадок от регулирующего контроля после завершения практической деятельности». Руководство № WS-G-5.1.- Вена, 2008. – 42 с.
71. IAEA Safety Standards for protecting people and environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. Part 3 No GSR Part 3. Vienna, 2014, 436 p.
72. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения / Н.К. Шандала, А.В. Титов, С.М. Киселев, В.А. Серегин, Д.В. Исаев, М.П. Семенова // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2013. – Т. 9, № 4. – С. 824-827.
73. Шандала, Н.К. Радиоэкологическая обстановка в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения / Н.К. Шандала, М.П. Семенова, Д.В. Исаев, С.М. Киселев, В.А. Серегин, А.В. Титов, А.А. Филонова, Л.А. Журавлева, А.М. Маренный // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 4. – С. 14-18.

74. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения урановых шахт в Забайкалье / Н.К. Шандала, А.В. Титов, Е.А. Хохлова, Д.В. Исаев, С.Б. Золотухина, Л.А. Журавлева, В.В. Шлыгин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 59, № 4. – С. 5-8.
75. Киселев, В.Я. Радиационный мониторинг на месторождениях твердых полезных ископаемых Байкальского региона / В.Я. Киселев, Л.В. Малевич // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 9. – С. 56-57.
76. Рыжаков, В.Н. О радиационном контроле объектов, загрязненных естественными радионуклидами в результате добычи углеводородов / В.Н. Рыжаков, Е.И. Крапивский, Д.А. Амосов, Н.А. Мац, И.М. Хайкович, Д.А. Черник // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 3. – С. 107-110.

Поступила: 01.08.2018 г.

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор 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: I.Romanovich@niirg.ru

Кормановская Татьяна Анатольевна – кандидат биологических 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, Санкт-Петербург, Россия

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

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, Санкт-Петербург, Россия

Сапрыкин Кирилл Александрович – исполняющий обязанности заведующего 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: Романович И.К., Кормановская Т.А., Королева Н.А., Лисаченко Э.П., Сапрыкин К.А. Научное обоснование методических подходов к организации и проведению заключительного радиационного обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 7-21. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-7-21

Scientific justification of the methodical approaches to the establishment and conduction of the conclusive radiation survey of the areas remediated after contamination with natural radionuclides

Ivan K. Romanovich, Tatyana A. Kormanovskaya, Nadezhda A. Koroleva, Elvira P. Lisachenko, Kirill A. Saprykin

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

According to the Federal target program "Provision of the nuclear and radiation safety in 2016-2020 and up to 2030", activities on the liquidation of the nuclear legacy are performed in the Russian Federation. The nuclear legacy includes mines, pits, industrial facilities, burrows and tailings of the uranium processing facilities (objects of uranium legacy), objects of extraction and processing of precious and rare elements and mineral ore, producing

Ivan K. Romanovich

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

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

the wastes with the increased concentration of natural radionuclides. Due to the damage or lack of the barriers, preventing the distribution of radionuclides, natural radionuclides contaminate the environment and expose the population residing in closely located communities. Radionuclides of radium (^{226}Ra and ^{228}Ra), radon (^{222}Rn) and their daughter have the main contribution to the doses and corresponding radiation risks to the public residing in a vicinity of such facilities. According to the Russian legislative documents, exposure of the public residing in the area of location of the objects of the uranium legacy and objects and territories, contaminated by the natural radionuclides due to the past activities of the non-nuclear facilities is attributed to the natural exposure with the subsequent compliance to the requirements of NRB 99/2009 and OSPORB 99/2010 on limitations of natural exposure. The main direction of the use of the objects and territories contaminated by the natural radionuclides due to the past activities of nuclear and non-nuclear facilities is their unlimited use for the industrial purposes. The main criteria for the unlimited use of remediated areas and territories of buildings and constructions are the requirements of NRB-99/2009 and OSPORB-99/2010 for the construction of the residential and public buildings. The criteria of NRB-99/2009 and OSPORB 99/2010 for the industrial buildings would be applied for the use of the remediated areas and territories of buildings and constructions with the residual contamination by the natural radionuclides.

Key words: deactivation, precious and rare metal mining, mineral ore mining, tailings, natural radionuclides, radiation control, remediation, technogenic radionuclides, uranium legacy, tailing dam, nuclear legacy.

References

1. The problems of nuclear legacy and the solutions. Decommissioning / Edited by L.A. Bolshov, N.P. Laverov, I.I. Linge. Moscow, 2015, vol. 3, 316 p. (In Russian)
2. Belyaev M.V. FGUP "ROSRAO": Remediation projects. Bezopasnost okruzhayushchey sredy = Safety of the environment, 2010, N 3, pp. 45-52. (In Russian)
3. Romanovich I.K. Liquidation of the nuclear legacy: radiation-hygienic safety criteria for the decontaminated sites of territories, buildings and constructions. Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya = Population Health and Life Environment, 2018, №4 №4 (301), pp. 21-26. (In Russian)
4. Romanovich I.K., Stamat I.P., Sanzharova N.I., Panov A.V. Criteria for rehabilitation of facilities and territories contaminated with radionuclides as a result of past activities: part 1. The choice of indicators for justification of the criteria for rehabilitation. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2016;9(4):6-15. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2016-9-4-6-15>
5. Romanovich I.K. Scientific substantiation of approaches to organization and conducting radiation surveys at the rehabilitated radiation sites. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, No. 3, pp. 90-102. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-90-102
6. Golikov V.Yu., Romanovich I.K. Justification for the radiological criteria for the use of areas with residual radioactive contamination based on the dose approach. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2017;10(4):6-22. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-6-22>
7. Makhmaliev B.N. The problem of the recultivation of the stockpiles and radioactive wastes from the tailings in Tadjikistan. Vestnik Tadjikskogo natsionalnogo universiteta = The Newsletter of the Tadjikistan national university. Series on social-economical and public sciences, 2017, № 2-2, pp. 174-177. (In Russian)
8. Krupskaya L.T., Melkonyan R.G., Mayorova L.P., Golubev D.A. Justification of the ecological rehabilitation of the territories impacted by the objects of the accumulated ecological hazard (tailings) as a result of the past anthropogenic activities of the former mining facilities in the Far-East Federal District (FEFD). Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal) = Mining information-analytical bulletin (scientific-technical journal), 2017, №4, pp. 5-15. (In Russian)
9. Ten O.L. The radioecological characteristic of the radioactive waste disposal sites of uranium production and recommendations for their improvement. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2015;8(2):132-134. (In Russian)
10. Uranium tailings in the Central Asia: national problems, regional consequences, global decision: information materials for the Bishkek regional conference 21-24 April 2009, 81 p. (project). (In Russian)
11. Volkov V.G., Pavlenko V.I., Chesnokov A.V., Arustamov A.E., Kozyrev D.V., Pikulina I.V. Rehabilitation of the objects of the uranium raw materials processing. Bezopasnost okruzhayushchey sredy = Safety of the environment, №1, 2008, pp. 60-62. (In Russian)
12. Nazarov Kh.M., Salomov D.A., Khakimov N., Rakhmatov N.N., Ermatov E.A. Ecological aspects of the remediation of the uranium tailings in Istiklola city in the Republic of Tadjikistan. Izvestiya Akademii nauk Respubliki Tadjikistan = News of the academy of sciences of the Republic of Tadjikistan. Department of physical-mathematical, chemical, geological and technical sciences, 2015, №2 (159), pp. 87-92. (In Russian)
13. Klochkova N.V., Saltykov A.S., Avdonin G.I. Composite radiation-hygienic assessment of the environment of the Taboshar depleted uranium deposit (Tadjikistan). Actual issues of the ecology and environmental management. Proceedings, 2014, pp. 136-139. (In Russian)
14. Amosov P.V., Baklanov A.A. On the assessment of the intensity of the dusting of the tailings. Mathematical methods in equipment and technology (MMTT-28): Proceedings of the 28th International scientific conference, Saratov, 22-24 April 2015, Yaroslavl, 2-4 June 2015, Ryazan, 24-26 November 2015. Vol. 1, 2015, pp. 3-5. (In Russian)
15. Lisichenko G.V., Kovach V.E. The world experience of the remediation of the former uranium facilities. Technological-ecological safety and protection of the public, 2013, No 6, pp. 4-12. (in Ukr.) (In Russian)
16. Alborov I.D., Badtiev Yu.S., Badtieva F.K., Tedeeva F.G. Assessment of the ecological situation in the area of the Unal tailing. Vestnik MANEB = Newsletter of MANEB 2001, Vol. 16, № 2, pp. 9-17. (In Russian)
17. Ostrovsky Yu.V., Zabortsev G.M., Aleksandrov A.B., Babushkin A.V., Khlytin A.L., Egorov N.B. Remediation of the technogenic reservoirs of the uranium industry. Radiokhimiya = Radiochemistry, 2010, Vol. 52, № 3, pp. 260-265. (In Russian)
18. Voytekovich O.V. Problematic issues of the remediation of the former uranium facilities. Bezopasnost yadernykh tekhnologiy i okruzhayushchey sredy = Safety of the nuclear technologies and the environment, 2010, №4, pp. 95-101. (In Russian)
19. Shiganakov Sh.B., Aytaliev A.M., Mamatov K.P., Kislov A.I., Razykov Z.A., Khakimov N.Kh., Ruziev M.M., Ryazantsev V.F. Remediation of the territories, affected by the uranium indus-

- try. Seventh meeting of the Commission of the CIS countries-participants on the use of a nuclear energy in peaceful aims 23 June 2005, Kiev, 31 p. (In Russian)
20. Dzenbaev B. M., Kaldybaev B. K., Zholboldiev B. T. Problems of the radioecology and radiation safety of the former uranium facilities in Kirgizstan. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Rad. biol. Rad. ecol.*, 2013, Vol. 53, № 4, pp. 428-433. (In Russian)
21. Agapov A.M., Glinsky M.L., Svyatovets S.V. Monitoring of the mineral resources on the facilities of the former LPO "Almaz". *Bezopasnost Okruzhayushchey Sredy = Safety of the Environment*, 2009, № 3, pp. 64-67. (In Russian)
22. Lisichenko G.V., Melnik Yu.P., Lysenko O.Yu., Dudar T.V., Nikitina N.V. Uranium ore of the Ukraine. Ed. By Lisichenko G.V. Kyiv, Nauk. Dumka, 2010, 214 p. (In Russian)
23. IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.7. Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance. Safety guide. Vienna, 2016, 31 p. (In Russian)
24. Durasova N.S., Kovalenko G.D. Assessment of the radon hazards of the nuclear fuel cycle facilities on the example of the tailing of the Pridneprovsky chemical plant. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta = Scientific bill of the Belgorod state university. Series of Natural sciences*, 2015, Vol. 30, №3 (200), pp. 176-181. (In Russian)
25. Shandala N.K., Titov A.V., Hohlova E.A., Isaev D.V., Zolotuhina S.B., Zhuravleva L.A., Shligin V.V. Radiation-hygienic monitoring in the area of location of the uranium mines in Zabaikalie region. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 2014, Vol. 59, №4, pp. 5-8. (In Russian)
26. Havrankova R., Havranek J., Kankovsky J., Repa L., Zolzer F. The radiological situation around the former uranium processing plant Mape Mydlovary, Czech Republic. *Nuclear Technology & Radiation Protection*, Vol. 30, No 2, pp. 132-138.
27. Lisachenko E.P. Radiation-hygienic survey of the non-nuclear industrial facilities. *Radiation Hygiene: proceedings. Saint-Petersburg, NIIRG after P.V. Ramzaev*, 2006, pp. 242-251. (In Russian)
28. Belozertseva I.A., Granina N.I. Impact of the survey, mining and processing of the natural resources on the Siberian soils. *Fundamentalnye issledovaniya = Fundamental research*, 2015, № 10, pp. 238-242. (In Russian)
29. Alborov I.D., Teziev T.M., Tedeeva F.G. Mining of the natural resources and its impact on the environment. Resource-reproducing, low-waste and environmentally friendly technologies of the mineral resource exploration: Materials of the 13th International conference, Moscow-Tbilisi, 15-21 September 2014. 2014, pp. 308-309. (In Russian)
30. Lisachenko E.P., Stamat I.P. Natural radionuclides in residues from non-nuclear industries. *Radiatsionnaya Gygiyena = Radiation Hygiene*, 2009;2(2):64-71. (In Russian)
31. Lebedev V.V. Radioactive contamination of the territory of the gold-silver deposit "Klen". *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta = Newsletter of the Moscow region state university. Series natural sciences*, 2012, № 5, pp. 94-97. (In Russian)
32. Alborov I.D., Statovaya Yu.G., Tedeeva F.G., Kantemirov V.V. Ecological hazards of the tailing of the Tirnauzskiy tungsten-molybdenum combine. *Vestnik MANEB = Newsletter fo MANEB*, 2011, Vol. 16, № 2, pp. 18-21. (In Russian)
33. Sivtseva A.V., Stepanova K.V. Assessment of the radiation hazards of the waste from the processing of diamonds for the welding materials industry. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern issues of sciences and education*, 2007, № 6, 56 p. (In Russian)
34. Melnik N.A. Radiogeoeological problems of maintenance and recycling of the rare metal deposits of the Kola peninsula. Materials of the 2nd international conference "Radioactivity and radioactive elements in the human environment". Tomsk, 2004, pp. 383-386. (In Russian)
35. Radiation protection and NORM residue management in the titanium dioxide and related industries. — Vienna: IAEA, 2012. Safety reports series No. 76.
36. Graschenko S.M. [et. al.] Deistribution of the natural radionuclides on the industrial products of the titanium processing technological cycle. *Radiokhimiya = Radiochemistry*, 1996, Vol. 38, pp. 172-182. (In Russian)
37. Graschenko S.M. On the problems of the natural radioactivity in the non-nuclear industry. *Ekologicheskaya khimiya = Ecological chemistry*, 1998, №7(4), pp. 268-277. (In Russian)
38. Ovsyannikova T.M. Radioactivity of the rare metal ores and their processing products. Levels, regulation and control. Materials of the V international conference. Tomsk 2016, pp. 478-483. (In Russian)
39. P.V. Shaw, J. Dunderdale. Experience from remediation of thorium contaminated sites: radiation protection and waste management issues// *Proceedings of the VII international symposium on naturally occurring radiation material. China, 22-26 April 2013. IAEA Vienna*, 2015, pp. 575-582.
40. Korolkov A.T. Monazit problem of the Baleya city. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy = News of the Siberian branch of RAEN. Geology, prospection and survey of the ore deposits*, 2016, № 1(54), pp. 96-103. (In Russian)
41. Nurmamatov M.A. On the organization and control measures of the environmental protection from the gold mining. *Forum molodykh uchenykh = Young scientists forum*, 2017, № 11(15), pp. 716-720. (In Russian)
42. Ostakh S.V., Rogozhin D.I. On the strategy of the industrialization of the management of the oil-containing waste, contaminated with the natural radionuclides. *EVR: Ekologicheskii vestnik Rossii = Ecological newsletter of Russia*, 2017, № 8, pp. 28-32. (In Russian)
43. Mustafin S.K. Radiation monitoring of the hydrocarbon prospecting facilities. Systems of the control of the environment, 2016. Abstracts of the proceedings of the International scientific-technical conference, 2016, 205 p. (In Russian)
44. Lebedev V.A., Karabuta V.S. Problems of the provision of the radiation safety in the oil industry of Russia. *Molodoy uchenyy = Young scientist*, № 1(105), 2016, pp. 257-261. (In Russian)
45. Mundiaryov V.R. Potential hazards of the radioactive contamination of the components of the environment with the hydrocarbon extraction waste. *Tekhnologii nefi i gaza = Technologies of oil and gas*, 2014, № 4(93), pp. 8-11. (In Russian)
46. Bilalov F.S., Badrutdinov O.R., Barinova O.R., Tumenev R.S., Kubarev P.N., Sabaev P.N., Badrutdinov Z.S. Assessment of the impact of the oil preparation facilities on the radiation situation of the surrounding territories. *Neftyanoe khozyaystvo = Oil industry*, 2014, №7, pp. 60-62. (In Russian)
47. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes VI, United Nations, New York, 2010.
48. 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.
49. 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.
50. Lisachenko E.P., Stamat I.P. The use of a juvenile waters for the radiation-hygienic surveys. *Radiation hygiene: conference proceedings. Saint-Petersburg, NIIRG*, 2006, pp. 185-192. (In Russian)
51. Graschenko S.M., Gritchenko Z.G., Shishkunova L.V. Distribution of natural radionuclides of uranium and thorium types during the treatment of deep-well waters for the food

- water supply. Radiokhimiya = Radiochemistry, 1997, № 39, pp. 476-479. (In Russian)
52. Hansl k, E. Juranov ²²²Rn at a groundwater treatment plant. Proceedings of an International Symposium NORM VII Beijing, China, 22–26 April 2013, pp. 407-416.
 53. Palomo M. [et al.]. Radiochemical characterization of the sludge from a treatment plant of potable water: Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19 – 22 March 2007). Poster 5-5. IAEA. Vienna, 2008.
 54. Lisachenko E.P. Justification of the necessity of the radiation control of the water treatment systems and facilities for the deep-water use. Actual questions of radiation hygiene. Conference proceedings. Saint-Petersburg, 2014, pp. 136-138. (In Russian)
 55. Vacaa F. [et al.]. Fluxes and enhancement of natural radionuclides in a pulp mill factory located in the south-west of Spain: Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19 – 22 March 2007). Poster 7-6. IAEA. Vienna, 2008.
 56. P.W. Waggitt. A global overview of NORM residue remediation and global practice. Proceedings of the VI International Symposium on NORM held in Marrakesh, Morocco, 22–26 March 2010. Vienna IAEA 2011. P
 57. Manafly R., Aliev N. Live under the radiation. Ekho = Echo, № 88 (1569), 19 May 2007. – Available on: www.echo_az.com/archive/2007_05/1569 (Accessed: 27.07.2018). (In Russian)
 58. Lisachenko E.V., 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;11(1):113-122. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-113-122>
 59. Graschenko S.M., Gritchenko Z.G., Shishkunova L.V. Distribution of natural radionuclides in the process of the excretion of iodine from the drill waters using air-desorption method. Radiokhimiya = Radiochemistry, № 39, pp. 93-96. (In Russian)
 60. Litvinenko V.I. Complex exploration of the deposits. Neft. Gaz. Promyshlennost = Oil. Gas. Industry, 2006, № 1(21). – Available on: <http://www.stroy-press.ru/print.php?id=6166> (Accessed: 28.07.2018). (In Russian)
 61. Kuznetsov P.I. Analysis of the buildup of the solid radioactive wastes in the Troitsk iodine factory in the process of iodine production with the substitution of sulfuric acid by the chloric acid on the stage of acidification of the iodine-bromide water. ANRI = ANRI, 2002, Vol. 1, pp. 23-32. (In Russian)
 62. Mauricheva T.S., Kiselev G.P. Sources of the radioactive contamination of the environment at the extraction and use of mineral coal. Radioactivity and radioactive elements in the human environment. Proceedings of the II International conference. Tomsk, 18-22 October 2004, 2004, pp. 367-370. (In Russian)
 63. Lisachenko E.P., Kormanovskaya T.A., Stamat I.P., Graschenko S.M. On the necessity of the regulation of the concentration of natural radionuclides in coals. Proceedings of the 4th International Forum "Fuel and energy complex of Russia: regional aspects". St-Petersburg, 6-9 April 2004, pp. 306-308. (In Russian)
 64. Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Lisachenko E.P., Graschenko S.M. Problems of the use of the fossil coals due to the natural radionuclides. Radioactivity and radioactive elements in the human environment. Proceedings of the II International conference. Tomsk, 18-22 October 2004, pp. 569-573. (In Russian)
 65. Ovseychuk V.A., Krylov D.A., Sidorova G.P., Mamash E.A. Ecological monitoring in the process of extraction of the coals with increased concentration of natural radionuclides on the example of Urtuiskoe deposit in Zabaikalye. Vestnik ZabGU = Newsletter of ZabGU, 2013, № 12 (103), pp. 39-46. (In Russian)
 66. Sidorova G.P. Radiation-hygienic quality of the coals from Urtuiskoe deposit: ecological problems and solutions. Gornyy zhurnal = Mountain journal, 2012, № 8, pp. 26-28. (In Russian)
 67. Ovseychuk V.A., Sidorova G.P. Uranium concentrations in the brown coals in Zabaykalye: monography. ZabGU, 2012, 196 p. (In Russian)
 68. Ovseychuk V.A., Sidorova G.P., Krylov D.A. Problems of coal energy due to the radioactivity of the coals. Vestnik ZabGU = Newsletter of ZabGU, 2013, № 08 (99), pp. 38-45. (In Russian)
 69. Volostnov A.V., Arbuzov S.I. Uranium and thorium in the coals of Itatskoye deposit of Kansk-Achinsk basin. Radioactivity and radioactive elements in the human environment. Proceedings of the III International conference. Tomsk, 23-27 June 2009, pp. 120-123. (In Russian)
 70. IAEA safety standards series no. Ws-g-5.1 release of sites from regulatory control on termination of practices. Safety guide. Vienna, 2008, 42 p. (In Russian)
 71. IAEA Safety Standards for protecting people and environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. Part 3 No GSR Part 3. Vienna, 2014, 436 p.
 72. Shandala N.K., Titov A.V., Kiselev S.M., Seregin V.A., Isaev D.V., Semenova M.P. Radiation-hygienic monitoring in the area of the Priargunskiy industrial mining-chemical combine. Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal = Saratov scientific-medical journal, 2013, Vol. 9, № 4, pp. 824-827. (In Russian)
 73. Shandala N.K., Semenova M.P., Isaev D.V., Kiselev S.M., Seregin V.A., Titov A.V., Filonova A.A., Zhuravleva L.A., Marennyy A.M. Radioecological situation in the area of the Priargunskiy industrial mining-chemical combine. Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitation, 2014, Vol. 93, № 4, pp. 14-18. (In Russian)
 74. Shandala N.K., Titov A.V., Khokhlova E.A., Isaev D.V., Zolotukhina S.B., Zhuravleva L.A., Shlygin V.V. Radiation-hygienic monitoring in the area of the uranium mines in Zabaykalye. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety, 2014, Vol. 59, № 4, pp. 5-8. (In Russian)
 75. Kiselev V.Ya., Malevich L.V. Radiation monitoring on the deposits of the solid mineral resources of the Baykal region. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances of the modern natural science, 2005, № 9, pp. 56-57. (In Russian)
 76. Ryzhakov V.N., Krapivsky E.I., Amosov D.A., Mats N.A., Khaykovich I.M., Chernik D.A. On the radiation control of the sites, contaminated with the natural radionuclides due to the hydrocarbon extraction. Neftyanoe khozyaystvo = Oil economy, 2002, № 3, pp. 107-110. (In Russian)

Received: August 01, 2018

For correspondence: Ivan K. Romanovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Director of 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: I.Romanovich@niirg.ru)

Tatyana A. Kormanovskaya – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the 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

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

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, Saint-Petersburg, Russia

Kirill A. Saprykin – Acting head of the laboratory of the natural sources dosimetry 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: Romanovich I.K., Kormanovskaya T.A., Koroleva N.A., Lisachenko E.P., Saprykin K.A. Scientific justification of the methodical approaches to the establishment and conduction of the conclusive radiation survey of the areas remediated after contamination with natural radionuclides. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol.11, No 3, pp.7-21 (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-7-21

Расчет дозы облучения для некоторых компонентов пищевой цепочки пресноводной экосистемы реки Енисей в период деятельности предприятия ядерно-топливного цикла – Горно-химического комбината, г. Красноярск

В.Н. Ракитский, Л.Г. Бондарева, Н.Е. Федорова

Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Мытищи, Московская область, Россия

В работе исследованы уровни накопления техногенных радионуклидов некоторыми компонентами реки Енисей вблизи места сброса вод, содержащих значительный перечень техногенных радионуклидов и являющихся стоками Горно-химического комбината. Исследования проводились в период деятельности третьего атомного реактора, входящего в комплекс данного предприятия (2006–2009 гг.). Измерялось содержание гамма-излучающих техногенных и естественных радионуклидов. Гамма-спектрометрическим методом выявлены значительные количества техногенных радионуклидов активационного типа (^{24}Na – до 1950 Бк/кг, ^{51}Cr – до 2860 Бк/кг) в биологических объектах. При принятии ряда допущений при расчете мощности доз для изученных организмов наибольшие дозы выявлены (мкГр/сут): водные растения – до 39, хариус – 22,3, щука – 36,4. Эти значения значительно ниже принятой дозы радиационного облучения для водной биоты, которая составляет 10 мГр/сут [1].

Ключевые слова: река Енисей, гидробионты, мощность дозы, техногенные радионуклиды.

Введение

Река Енисей загрязнена техногенными радионуклидами в результате многолетней деятельности Горно-химического комбината (ГХК ГК Росатом), который расположен на правом берегу реки, в 60 км ниже по течению от г. Красноярска. Техногенные радионуклиды зарегистрированы во всех компонентах экосистемы, в том числе в ихтиофауне [2–6]. Ихтиофауна является ключевым звеном, связывающим пресноводные трофические цепочки с человеком, тем самым должна рассматриваться как потенциальный переносчик техногенных радионуклидов для населения, проживающего в пойме реки Енисей и употребляющего рыбу, выловленную в рассматриваемой реке.

В основе гипотезы обеспечения радиационной безопасности человека лежит допущение о стохастическом беспороговом действии ионизирующего излучения.

Один из первых критериев в регламентации радиационного воздействия на биоту был предложен в работах [1, 7–10], где полагалось, что мощность дозы хронического облучения, при которой обеспечивается радиационная безопасность водной биоты, не превышает 10 мГр/сут. В дальнейшем в качестве безопасного (порогового) уровня радиационного воздействия на биоту предлагалось использовать значения мощности дозы в диапазоне 1–10 мГр/сут [1, 11–13].

Цель исследования – оценка мощности дозы облучения компонентов пищевой цепочки р. Енисей в период деятельности третьего реактора Горно-химического комбината ГК Росатом.

Задачи исследования

1. Сбор и анализ данных по содержанию радионуклидов в исследуемых компонентах пищевой цепочки пресноводной экосистемы реки Енисей.
2. Расчет мощности дозы облучения водных организмов, с учетом источников излучения – воды и донных отложений.
3. Оценка радиационной составляющей в экологогигиеническом риске среды обитания населения Красноярского края.

Материалы и методы

Объектами исследований служили пробы воды, донные отложения и водные организмы реки Енисей, отобранные в ближней зоне влияния ГХК, в районе с. Атаманово. Отбор проб проводили в период деятельности третьего реактора ГХК (2006–2009 гг.). Место отбора расположено у правого берега на расстоянии 5 км вниз по течению от места основного сброса сточных вод, содержащих радионуклиды.

Бондарева Лидия Георгиевна

Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана

Адрес для переписки: 141014, Мытищи, Московская обл., ул. Семашко, д. 2; E-mail: lydiabondareva@gmail.com

Отобранные образцы водной растительности принадлежали к трем основным видам погруженных водных растений: *Potamogeton lucens*, *Fontinalis antipiretica*, *Elodea canadensis*.

Пробы фитопланктона отбирались согласно рекомендациям при помощи батометра БМ-48 объемом 1,5 л воды с глубины 0,5 м от поверхности воды в фотическом слое воды. Определяли общее число видов, численность, биомассу. Альгофлора состояла из диатомовых, синезеленых, пиропитовых и евгленовых водорослей. Средняя численность фитопланктона составляла $9,82 \pm 2,19$ млн клеток/л.

Все образцы зообентоса были собраны с помощью стандартной драги Экмана. Образцы зообентоса просеивали через сито 200 мкм. Места отбора зообентоса соответствовали пунктам отбора донных отложений и водных растений. После отбора зообентос тщательно промывали и немедленно замораживали в переносных морозильниках для последующих исследований в лаборатории. В общем составе зоопланктонного сообщества найдено 40 видов и групп организмов, из них Cladocera – 19, Copepoda – 5, Rotatoria – 16.

Биомасса зоопланктона и фитопланктона не превышала 1 мг/л и в зависимости от сезона отбора составляла от 7 до 21% осадка взвешенного вещества в водном потоке.

При сборе ихтиологического материала и его камеральной обработке руководствовались рекомендациями [14, 15]. В уловах рыб определяли численность, видовой состав. Численность рыб определяли методом прямого учета. Видовой состав определяли согласно справочникам и атласам [16].

В связи с тем, что в настоящей работе проведены расчеты для гамма-излучающих радионуклидов, удельную активность отобранных образцов проводили с использованием гамма-спектрометра фирмы Canberra (США) со сверхчистым германиевым детектором. Обработку гамма-спектров проводили с помощью программного обеспечения CANBERRAGINIE-PC и GENIE-2000 (США), позволяющим измерять гамма-спектр в диапазоне энергии от 30 до 3000 кэВ с разрешением 2 кэВ и регистрировать радионуклиды в пробах жидких и твердых фракций без дополнительной подготовки. Расчет удельных активностей радионуклидов в водных организмах проводили на дату отбора. Расчет содержания радионуклидов в воде проводили после предварительного концентрирования на сорбционном патроне, разработанном Л.Г. Бондаревой [17].

Общепринято использование рекомендаций МКРЗ [18, 19], но в настоящих исследованиях мы использовали

другие подходы, в том числе и на основе модели, предложенной И.И. Крышевым и А.И. Крышевым [1, 11, 12, 20].

Мощность поглощенной дозы внутреннего облучения (D_{int}) рассчитывали по содержанию радионуклидов в исследуемых организмах с использованием расчетных дозовых коэффициентов [20–24] по формуле:

$$D_{int} = \sum_i C_i^{int} \cdot DCC_{int,i}, \quad (1)$$

где C_i^{int} – средняя удельная активность i -го радионуклида в тканях организма (Бк/кг естественной влажности); $DCC_{int,i}$ – коэффициент преобразования дозы для внутреннего облучения, учитывающий соотношение между средней удельной активностью i -го радионуклида в исследуемом организме и поглощенной дозой для этого организма ($\text{мкГр час}^{-1}/\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ естественной влажности). Расчет мощности поглощенной дозы от внешнего облучения (D_{ext}) проводили согласно формуле:

$$D_{ext} = D_{wat} + D_{sed}, \quad (2)$$

где: D_{wat} – мощность поглощенной дозы от водной массы с взвешенным веществом (мкГр/ч), D_{sed} – мощность поглощенной дозы от донных отложений (мкГр/ч). Мощность поглощенной дозы от водной массы с взвешенным веществом рассчитывали по формуле:

$$D_{wat} = \sum_i C_i^{wat} \times DCC_{ext,i}, \quad (3)$$

где C_i^{wat} – средняя активность i -го радионуклида в водной массе (Бк/л); $DCC_{ext,i}$ – коэффициент преобразования дозы для внешнего облучения, учитывающий соотношение между средней удельной активностью i -го радионуклида в окружающей среде (водная масса, включающая взвешенные вещества) и поглощенной дозы для этого организма ($\text{мкГр} \cdot \text{ч}^{-1}/\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ естественной влажности).

Общую мощность поглощенной дозы (D_{total}) определяли как сумму внутренней и внешней доз:

$$D_{total} = D_{ext} + D_{int}, \quad (4)$$

где D_{ext} – суммарная внешняя поглощенная доза (мкГр/час); D_{int} – суммарная внутренняя поглощенная доза (мкГр/час).

Погрешность оценки дозовых нагрузок не превышала 30%.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведены данные по содержанию радионуклидов в поверхностном слое донных отложений, отобранных в пункте отбора воды и биологических объектов.

Таблица 1

Содержание радионуклидов в воде и донных отложениях реки Енисей, Бк/кг

[Table 1]

Content of radionuclides in water and benthic deposits of the Yenisei River, Bk/kg

Вода [Water]											
²⁴ Na	⁴⁶ Sc	⁵¹ Cr	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁷⁶ As	¹⁰⁶ Ru	¹³⁷ Cs	¹⁴⁰ La	¹⁵² Eu	²³⁹ Np
92,4 ± 2,5	0,14 ± 0,02	0,4 ±0,1	0,07 ±0,02	0,14 ± 0,02	0,65 ± 0,37	0,14± 0,06	0,6 ±0,3	0,12± 0,06	0,16 ±0,03	0,06 ±0,02	0,34± 0,04
Донные отложения [Bottom sediments]											
⁴⁰ K	⁶⁰ Co		¹³⁷ Cs		¹⁵² Eu		¹⁵⁴ Eu	¹⁵⁵ Eu		²⁴¹ Am	
466±36	266±11		1311±67		637±13		130±5	29±3		38±7	

Как видно из представленных результатов, в реку Енисей поступали следующие радионуклиды активационного происхождения: ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co и др.

Получены собственные данные по содержанию радионуклидов в исследуемых водных растениях (табл. 2), в фито- и зоопланктоне, рыбах (табл. 3).

Из техногенных радионуклидов в пробах биоты обнаружены активационные радионуклиды: ^{51}Cr ($T_{1/2} = 27,8$ сут), ^{54}Mn ($T_{1/2} = 312,3$ сут), ^{58}Co ($T_{1/2} = 70,82$ сут), ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,27$ лет), ^{65}Zn ($T_{1/2} = 243,9$ сут), ^{144}Ce ($T_{1/2} = 284,89$

сут), ^{152}Eu ($T_{1/2} = 13,5$ лет) и продукт ядерного распада ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,1$ лет).

В период работы реакторного производства наблюдалась высокая активность короткоживущих радионуклидов (^{24}Na , ^{51}Cr , ^{239}Np) во всех исследуемых организмах (см. табл. 2, 3).

Во всех биологических образцах, отобранных выше по течению от сбросов ГХК, присутствовали только техногенный ^{137}Cs , содержание которого соответствует фоновым значениям для исследуемого региона (~ 70 Бк/кг), и природные радионуклиды ^{40}K и ^7Be .

Таблица 2

Содержание радионуклидов (Бк/кг) в водных растениях реки Енисей, отобранных в возле с. Атаманово (5 км от места сброса вод ГХК)

[Table 2]

Concentration of radionuclides (Bq / kg) in aquatic plants of the Yenisei River, sampled in the vicinity of the Atamanovo village (5 km from the water discharge site of the MCC)

Содержание радионуклидов, Бк/кг (+/-,%) [Concentration of radionuclides, Bq/kg (+/-, %)]											
<i>Fontinalis antipyretica</i>											
^{24}Na	^{46}Sc	^{51}Cr	^{54}Mn	^{58}Co	^{59}Fe	^{60}Co	^{65}Zn	^{76}As	^{95}Zr	^{95}Nb	^{103}Ru
1950 (22)	90 (6)	2680 (16)	50 (11)	90 (9)	40 (13)	420 (4)	540 (6)	340 (35)	6 (17)	30 (19)	13 (27)
^{106}Ru	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	^{140}Ba	^{140}La	^{141}Ce	^{144}Ce	^{152}Eu	^{154}Eu	^{155}Eu	^{239}Np
7 (30)	21 (26)	1,5 (38)	100 (9)	70 (23)	60 (9)	40 (9)	25 (24)	23 (9)	7 (8)	4 (25)	800 (3)
<i>Elodea canadensis</i>											
^{24}Na	^{46}Sc	^{51}Cr	^{54}Mn	^{58}Co	^{59}Fe	^{60}Co	^{65}Zn	^{76}As	^{95}Zr	^{95}Nb	^{103}Ru
1250 (20)	40 (6)	1800 (7)	45 (6)	70 (6)	24 (12)	330 (4)	290 (6)	–	3 (38)	23 (14)	10 (17)
^{106}Ru	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	^{140}Ba	^{140}La	^{141}Ce	^{144}Ce	^{152}Eu	^{154}Eu	^{155}Eu	^{239}Np
14 (17)	10 (27)	1,2 (16)	55 (7)	–	–	50 (13)	15 (26)	12 (13)	3 (9)	1,7 (18)	370 (8)
<i>Potamogeton lucens</i>											
^{24}Na	^{46}Sc	^{51}Cr	^{54}Mn	^{58}Co	^{59}Fe	^{60}Co	^{65}Zn	^{76}As	^{95}Zr	^{95}Nb	^{103}Ru
800 (30)	310 (5)	1970 (16)	80 (9)	120 (9)	78 (7)	790 (4)	330 (6)	330 (22)	17 (20)	38 (17)	21 (24)
^{106}Ru	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	^{140}Ba	^{140}La	^{141}Ce	^{144}Ce	^{152}Eu	^{154}Eu	^{155}Eu	^{239}Np
22 (22)	35 (24)	8,4 (22)	350 (8)	85 (17)	106 (7)	85 (8)	80 (15)	68 (8)	16 (8)	4 (20)	1490 (3)

Таблица 3

Содержание радионуклидов в фито- и зоопланктоне, рыбе, Бк/кг

[Table 3]

Concentration of radionuclides in phyto- and zooplankton, fish, Bq / kg

Содержание радионуклидов, Бк/кг (+/-,%) [Concentration of radionuclides, Bq/kg (+/-, %)]				
Радионуклид [Radionuclides]	Фитопланктон [phytoplankton]	Зоопланктон [zooplankton]	Рыба [fish]	
			Хариус [grayling]	Щука [pike]
^{24}Na	478 (23)	67 (12)	89 (17)	105 (34)
^{40}K	27 (9)	340 (13)	127 (8)	374 (19)
^{46}Sc	–	97 (48)	–	–
^{51}Cr	1873 (24)	2227 (11)	1794 (17)	2584 (13)
^{54}Mn	–	21 (32)	–	–
^{60}Co	7,4 (3)	80 (5)	–	–
^{65}Zn	5,8 (5)	120 (8)	2,3 (15)	6,3 (12)
^{137}Cs	5,6 (2)	80 (7)	71 (10)	112 (15)
^{152}Eu	1,9 (14)	14 (21)	21 (12)	34 (11)

Расчет суммарных доз облучения некоторых компонентов пищевой цепочки пресноводной экосистемы Енисея

При расчете мощностей доз гамма-излучателей важно учитывать как размеры гидробионта, так и его геометрию. При рассмотрении фитопланктона и зоопланктона энергия рассеивается вне гидробионтов ввиду их малых размеров. Следовательно, вклад этого типа излучения на данные объекты можно не учитывать.

Для рыб в соответствии с рекомендациями, описанными в работах [21, 25], была предпринята попытка представить геометрию исследуемых организмов в виде цилиндров, поверхность которых однородна. Геометрический фактор и мощность дозы облучения, согласно рекомендациям, приведенным в работах [21, 26], были вычислены для центров изучаемого биологического материала.

Источниками внешнего облучения для гидробионтов являются вода и донные отложения. Тогда расчет мощности дозы для воды может быть проведен по формулам для бесконечно протяженного источника, а донные отложения могут быть представлены в виде блока, имеющего бесконечную толщину и протяженность [20].

Ввиду особенностей в физических свойствах различных видов ионизирующих излучений, основной вклад в мощность дозы внешнего облучения дают источники γ -излучения. Ввиду того, что размеры и строение изучаемых гидробионтов очень малы по сравнению с толщиной водного потока и слоем донных отложений, процессами поглощения и рассеяния энергии излучения гамма-квантов можно пренебречь. В соответствии с этим мощность дозы облучения от внешних источников может быть одинаковой для микроводорослей (фитопланктона и зоопланктона), для макрофитов и для рыб, находящихся на одном и том же расстоянии от источника излучения.

Для расчета мощности дозы внешнего облучения гидробионтов были использованы собственные данные по содержанию радионуклидов, находящихся в воде и донных отложениях (см. табл. 1). Результаты расчетов мощности дозы облучения гидробионтов от радионуклидов, присутствующих в воде и донных отложениях, представлены в таблице 4. Полученные результаты свидетельствуют о том, что основной вклад в мощность дозы внешнего облучения от радионуклидов, присутствующих в воде, дает активационный радионуклид ^{24}Na .

Доля суммарной мощности дозы природного радионуклида ^{40}K не превышает 10% для воды и ~ 1% для донных отложений.

При анализе полученных расчетов доз облучения гидробионтов от радионуклидов, присутствующих в донных отложениях (см. табл. 4), было обнаружено, что в этом случае мощность дозы превышает мощность дозы от радионуклидов, присутствующих в воде. При этом основной вклад дают техногенные радионуклиды.

Однако учитывая тот факт, что основная биомасса изучаемых макрофитов произрастает на расстоянии 50–100 см от поверхности дна, мощность дозы облучения от радионуклидов, присутствующих в донных отложениях, может быть сопоставимой с мощностью дозы облучения от воды.

Для фитопланктона и зоопланктона отсутствуют четкие границы их распределения в толще воды, т.е. равновероятно их присутствие и вблизи поверхности донных отложений, и на любом другом расстоянии от поверхности. При расчете мощности дозы облучения было сделано допущение об экспоненциальном характере убывания дозы облучения при удалении от дна. Тогда средняя мощность дозы облучения фито- и зоопланктона от радионуклидов, содержащихся в донных отложениях, составила 5,2 мкГр/сут при равновероятном распределении в толще воды.

Дозовые нагрузки на организм рыб формируются и за счет внешнего облучения – от воды и донных отложений, и за счет внутреннего – от инкорпорированных радионуклидов.

Для того чтобы определить сформированную за год поглощенную дозу внутреннего облучения рыб, достаточно иметь данные о среднегодовом содержании радионуклидов в организмах разных видов. Внешнее облучение от воды рассчитывают, исходя из среднегодовой концентрации радионуклидов в воде. При изменении удельного содержания радионуклида в организме или водных массах применяется средняя концентрация за период времени, в течение которого изменением концентрации можно пренебречь, затем суммируется доза, полученная организмом за такие периоды.

Поглощенная доза зависит также от миграционного поведения рыб [11, 12, 20, 26, 27]. Поведение рыб обусловлено рядом факторов. Пищевое поведение зависит от состава рациона и расположения кормовых объектов относительно донных отложений [26, 27]. Это значительно влияет на вертикальное распределение рыб разных видов в водных массах и, следовательно, на величину геометрического фактора облучения рыб. Время нахождения рыб в разных слоях водных масс зависит от способа добывания пищи, подвижности рыб, погодных условий и особенностей зимовки [26, 27].

Таблица 4

Мощность дозы внешнего облучения гидробионтов от радионуклидов, содержащихся в речной воде и донных отложениях (P, мкГр/сут)

[Table 4

Dose rate of external exposure of hydrobionts from radionuclides in river water and bottom sediments]											
	Радионуклиды [Radionuclides]										ΣP
	^{40}K	^{24}Na	^{51}Cr	^{54}Mn	^{59}Fe	^{60}Co	^{65}Zn	^{76}As	^{137}Cs	^{152}Eu	
$P_{\text{вода}} [P_{\text{water}}]$	0,021	0,169	0,0002	0,001	0,004	0,0003	0,001	0,004	0,0002	–	0,201
$P_{\text{дно}} [P_{\text{sediment}}]$	0,5	–	–	–	–	7,1	–	–	10,6	7,8	26,0

Проведена оценка уровня содержания некоторых радионуклидов (^{24}Na , ^{40}K , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{137}Cs , ^{152}Eu) в хариусе *Thymallus arcticus* Pallas, питанием которого является бентос и растения, и типичном хищнике – щуке *Esox Lucius* (см. табл. 3). Данные виды рыб не являются мигрирующими, следовательно, влияние радионуклидов может рассматриваться как хроническое.

В связи с тем, что содержание изотопа ^{90}Sr в настоящих исследованиях не определялось, были сделаны заключения по содержанию изотопа ^{137}Cs . Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 [28] и МУК 2.6.1.1194-03 [29], максимальное значение содержания радионуклида в рыбе не должно превышать значения 130 Бк/кг. В настоящих исследованиях содержание ^{137}Cs ниже допустимых значений, максимальное полученное значение выявлено для щуки – 112 Бк/кг. Следовательно, ^{137}Cs не является основным дозообразующим радионуклидом, на что указывают данные, приведенные в таблицах 2, 3. Полученные в исследованиях результаты указывают, что в исследуемых рыбах содержание обнаруженных радионуклидов не превышает установленных норм. Геометрический фактор и мощность дозы внутреннего облучения были вычислены для рыб, согласно рекомендациям, приведенным в работах [20, 30, 31]. Суммарная мощность дозы для хариуса составила 22,3 мкГр/сут, для щуки – 36,4 мкГр/сут. Полученные различия в суммарной мощности дозы для хищника и планктофага в 1,5 раза свидетельствуют о том, что происходит накопление радионуклидов по пищевой цепочке от жертвы к хищнику.

Итоговая суммарная мощность дозы облучения исследованных гидробионтов реки Енисей от внешних и внутренних источников излучения приведена в таблице 5.

Следует отметить, что на современном этапе, после остановки в 2010 г. последнего реактора ГХК, водные массы вносят в суммарную дозу облучения реки Енисей менее 0,1%. Вклад инкорпорированных радионуклидов в

суммарную дозу облучения рыб мирных видов составляет 1–14%, хищников – 2–24%. Таким образом, вклад водных масс в суммарную поглощенную за год дозу облучения половозрелых представителей промысловой ихтиофауны реки Енисей настолько незначителен, что им можно пренебречь.

Полученные в ходе настоящих исследований данные показывают, что радиационная составляющая пресноводной экосистемы реки Енисей невелика, так как полученные значения много ниже установленных норм радиационной безопасности и поэтому не вносят существенный вклад при оценке эколого-гигиенического риска среды обитания населения Красноярского края. С учетом того, что рыба, обитающая в реке Енисей, не является основным источником питания для населения, фактор радиационного воздействия на здоровье населения может не учитываться.

Выводы

1. Анализ воды, донных отложений, некоторых компонентов пищевой цепочки пресноводной экосистемы, отобранных в период деятельности Горно-химического комбината ГК Росатом, выявил значительный перечень техногенных радионуклидов (^{24}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co и др.), имеющих различное происхождение (активационные, осколочные), различные периоды полураспада (часы, сутки, годы) и различные физико-химические свойства.

2. На основании имеющихся рекомендаций проведена оценка мощности дозы облучения компонентов пищевой цепочки пресноводной экосистемы реки Енисей – фито- и зоопланктона, некоторых водных растений и для двух видов промысловых рыб: планктофаг – хариус, хищник – щука. Для фито- и зоопланктона суммарная мощность дозы составляет 6,5–8,5 мкГр/сут, для водных растений – 27,1–39,0 мкГр/сут, для исследуемых видов рыб:

Таблица 5

Суммарная мощность дозы облучения водных организмов реки Енисей

[Table 5]

Total dose rate of aquatic organisms of the Yenisei River]

Организм [Organism]	Мощность дозы (P, мкГр/сут) [Dose rate (P, µGy/day)]				Суммарная мощность дозы [Total dose rate]
	Внутреннее облучение [Internal exposure]		Внешнее облучение [External exposure]		
	техногенное облучение [technogenic exposure]	естественное облучение [natural exposure]	вода [water]	донные отложения [sediments]	
Potamogeton lucens	27,1	4,6	0,2	0,2	32,1
Elodea canadensis	23,0	5,3	0,2	0,2	27,1
Fontinalis antipyretica	34,9	3,7	0,2	0,2	39,0
Фитопланктон [Phytoplankton]	3,1	0,03	0,2	5,2	8,5
Зоопланктон [Zooplankton]	1,1	0,02	0,2	5,2	6,5
Thymallus arcticus Pallas	15,9	1,01	0,2	5,2	22,3
Esox Lucius	27,4	3,6	0,2	5,2	36,4

для хариуса – 22,3 мкГр/сут, для щуки – 36,4 мкГр/сут. Содержание стронция не определялось. Полученное максимальное значение содержания ^{137}Cs для щуки 112 Бк/кг не превышает установленных содержаний радионуклида. Несмотря на это, показано, что большую долю мощности дозы создают техногенные радионуклиды, тогда как естественные (представленные преимущественно ^{40}K) дают не более 5,3%.

3. Полученные в настоящих исследованиях дозы облучения для гидробионтов реки Енисей в период деятельности третьего атомного реактора ГХК значительно ниже дозы радиационного облучения для водной биоты – 10 мГр/сут.

4. Установлено, что вклад радиационной составляющей пресноводной экосистемы реки Енисей в техногенную нагрузку на среду обитания населения незначителен и, следовательно, может не учитываться при оценке эколого-гигиенического риска среды обитания населения Красноярского края.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-05-00205.

Литература

1. Крышев, И.И. Радиационная безопасность окружающей среды: необходимость гармонизации российских и международных нормативно-методических документов с учётом требований федерального законодательства и новых международных основных норм безопасности ОНБ-2011 / И.И. Крышев, Т.Г. Сазыкина // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22, № 1 – С. 47–61.
2. Носов, А.И. Радиоактивное загрязнение р. Енисей, обусловленное сбросами Красноярского горно-химического комбината / А.В. Носов, М.В. Ашанин, А.Б. Иванов, А.М. Мартынова // Атомная энергия. – 1993. – Т. 74, № 21. – С. 144–150.
3. Носов, А.В. Анализ радиационной обстановки на р. Енисее после снятия с эксплуатации прямоточных реакторов Красноярского ГХК / А.В. Носов, А.М. Мартынова // Атомная энергия. – 1996. – Т. 81, № 3. – С. 226–232.
4. Вакуловский, С.М. Накопление ^{32}P в рыбе Енисей и реконструкция дозы облучения населения/ С.М. Вакуловский [и др.] // Атомная энергия. – 2004. – Т. 97, № 1. – С. 61–67.
5. Зотина, Т.А. Распределение техногенных радионуклидов в организмах рыб из р. Енисей (Россия) и водоемов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС (Украина) / Т.А. Зотина [и др.] // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2010. – №1 (12). – С. 91–94.
6. Zotina T.A., Trofimova E.A., Bolsunovsky A.Ya. Artificial radionuclides in fish fauna of the Yenisei River in the vicinity of the Minimg-and-Chemical Combine (Siberia, Russia). Radioprotection, 2011, Vol. 46, No. 6, pp. 75–78.
7. Кузин, А.М. Радиационная биохимия / А.М. Кузин. – Moscow, 1962.
8. Бак, З. Основы радиобиологии: пер. с англ. / З. Бак, П.А. Александер. – М.: Иностранная литература. – 1963.
9. Основы радиационной биологии. – М., 1964.
10. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. – Санкт-Петербург, 2009. – 100 с.
11. Крышев, И.И. Оценка воздействия на окружающую среду выбросов и сбросов радионуклидов / И.И. Крышев, А.И. Крышев, М.А. Скакунова // Атомная энергия. – 2013. – Т. 115, № 1.
12. Крышев, А.И. Динамическое моделирование переноса радионуклидов в гидробиоценозах и оценка последствий радиоактивного загрязнения для биоты и человека. Автореферат дисс. док биол наук / А.И. Крышев. – Обнинск, 2008. – 46 с.
13. Handbook for assessment of the exposure of biota to ionising radiation from radionuclides in the environment. Ed. by J. Brown, P. Strand, Al. Hosseini. Project within the EC 5th Framework Programme, Contract № FIGE-CT-2000-00102. Framework for Assessment of Environmental Impact, 2003.
14. Правдин, И.Ф. Руководство по изучению рыб / И.Ф. Правдин. – М.: Пищевая промышленность. – 1966. – 376 с.
15. Лукьяненко, В.И. Общая ихтиотоксикология / В.И. Лукьяненко. – М.: Легкая и пищ. пром-ть. – 1983. – 320 с.
16. Атлас «Пресноводные рыбы России» / под ред. Решетникова Ю. – М.: Наука, 2002.
17. Бондарева, Л.Г. Патент РФ № 2011149436 (РФ) от 07.12.2011 г. «Универсальное устройство для предварительной подготовки проб воды различного генезиса» / Л.Г. Бондарева, А.А. Шубин.
18. NCRP – National Council on Radiation Protection and Measurements. Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms. NCRP Report N 109. Bethesda, Maryland, USA, 1991. 115 p.
19. ICRP Publication 136: Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation. Ann ICRP. 2017 Dec; 46(2):1-136. doi: 10.1177/0146645317728022.
20. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. / под общ. ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009.
21. Крышев, И.И. Имитационные модели динамики экосистем в условиях антропогенного воздействия ТЭС и АЭС / И.И. Крышев, Т.Г. Сазыкина. – М.: Энергоиздат, 1990. – С. 51–64.
22. Soldat J.K., Robinson N.M., Buker D.A. Models and computer codes for evaluating environmental radiation doses BNWL-1754. Pacific Northwest National Laboratory. Richland, Washington, 1974.
23. NCRP. Report No. 109 – Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms, 1991.
24. UN – United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly, with annexes. – United Nations, New York, 2010.
25. Radiological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Aquatic Biota at OAK Ridge. National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. USA. BJC/OR, 1998, pp. 2-12.
26. Ивлев, В.С. Экспериментальная экология питания рыб / В.С. Ивлев. – К.: Наук. Думка, 1977. – 272 с.
27. Сабанев, Л.П. Жизнь и ловля пресноводных рыб / Л.П. Сабанев. – К.: Урожай, 1994. – 7-е изд., стер. – 608 с.
28. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов/ Дата актуализации: 01.01.2018.
29. МУК 2.6.1.1194-03 «Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка»
30. Хайн, Дж. Радиационная дозиметрия / Дж. Хайн, Г. Браунелл. – Москва: Иностранная литература, 1958. – 758 с.
31. A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota. – DOE-STD-1153-2002. – 2002.Washington DC: U.S.DOE, 2002. 234 p.

Поступила: 22.05.2018 г.

Ракитский Валерий Николаевич – академик РАН, профессор, и.о. директора Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, Федеральная служба по надзору в свете защиты прав потребителей и благополучия человека, Мытищи, Россия

Бондарева Лидия Георгиевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, Федеральная служба по надзору в свете защиты прав потребителей и благополучия человека. Адрес для переписки: 141014, Мытищи, Московская обл., ул. Семашко, д. 2; E-mail: lydiabondareva@gmail.com

Федорова Наталия Евгеньевна – доктор биологических наук, заведующая отделом «Аналитические методы контроля» Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, Федеральная служба по надзору в свете защиты прав потребителей и благополучия человека, Мытищи, Россия

Для цитирования: Ракитский В.Н., Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е. Расчет дозы облучения для некоторых компонентов пищевой цепочки пресноводной экосистемы реки Енисей в период деятельности предприятия ядерно-топливного цикла – Горно-химического комбината, г. Красноярск // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 22-29. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-22-29

Calculation of the irradiation dose for some components of the food chain of the freshwater ecosystem of the Yenisei River, during the operation of the nuclear fuel cycle enterprise – the Mining and Chemical Combine, Krasnoyarsk

Valeriy N. Rakitsky, Lydiya G. Bondareva, Nataliya E. Fedorova

Federal Scientific center of Hygiene named after F.F. Erisman, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Mytishchi, Moscow region, Russia

This study is focused on the evaluation of the levels of accumulation of the man-made radionuclides by several components of Yenisei River close to the water discharge spot of the Mining and chemical plant containing a significant amount of man-made radionuclides. The study was performed during the period of activity of the third nuclear reactor, belonging to this facility and included measuring the concentration of the gamma-emitting man-made and natural radionuclides. Gamma-spectrometry indicated significant amounts of man-made activation radionuclides (^{24}Na – up to 1950 Bk/kg, ^{51}Cr – up to 2860 Bk/kg) in biological objects. With some assumptions at the dose rate assessment, the highest doses were estimated for the following organisms (mGy/day): water plants – up to 39, fish – grayling 22,3 and pike 36,4. These values are significantly lower compared to the accepted dose from ionizing radiation for the water biota – 10 mGy/day.

Key words: Yenisei River, hydrobiont, dose rate, man-made radionuclides.

References

1. Kryshev I.I., Sazykina T.G. Radiation safety of the environment: a demand for harmonization of Russian and international legislation considering the requirements of the federal legislation and new international basic safety norms ONB-2011. Radiatsiya i risk = Radiation and risk, 2013, Vol. 22, No. 1, pp. 47-61. (In Russian)
2. Nosov A.V., Ashanin M.V., Ivanov A.B., Martynova A.M. Radioactive contamination of the Yenisey river due to the discharges of Krasnoyarsk mining-chemical plant. Atomnaya energiya = Atomic energy, 1993, Vol. 74, No. 21, pp. 144-150. (In Russian)
3. Nosov A.V., Martynova A.M. Evaluation of the radiation situation on the Yenisey river after decommissioning of the once-through reactors of the Krasnoyarsk CMP., 1996, Vol. 81, No. 3, pp. 226-232. (In Russian)
4. Vakulovsky S.M. [et al.] Accumulation of ^{32}P in the Yenisey fish and reconstruction of the population dose. Atomnaya energiya = Atomic energy, 2004, Vol.97, No. 1, pp. 61-67. (In Russian)
5. Zotina T.A. [et al.] Distribution of the man-made radionuclides in the fish from Yenisey river (Russia) and basins of the exclusion zone of the Chernobyl NPP (Ukraine). Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoy ekologii = Problems of the biogeochemistry and geochemical ecology 2010, No.1 (12), pp. 91-94. (In Russian)
6. Zotina T.A., Trofimova E.A., Bolsunovsky A.Ya. Artificial radionuclides in fish fauna of the Yenisei River in the vicinity of the Mining-and-Chemical Combine (Siberia, Russia). Radioprotection, 2011, Vol. 46, No. 6, pp. 75-78.
7. Kuzin A. M., Radiatsionnaya biokhimiya = Radiation biochemistry, Moscow, 1962. (In Russian)

Lydiya G. Bondareva

Federal Scientific center of Hygiene named after F.F. Erisman

Address for correspondence: Semashko str., 2, Mytishchi, Moscow region, 141014; E-mail: lydiabondareva@gmail.com

8. Bak Z., Aleksander P.A. Basics of radiobiology, Translation from English. Moscow, Inostrannaya literatura = Foreign literature, 1963. (In Russian)
9. Basics of radiation biology, Moscow, 1964. (In Russian)
10. Norms of the radiation safety (NRB 99/2009): Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 100 p. (In Russian)
11. Kryshev I.I., Kryshev A.I., Skakunova M.A. Assessment of the impact of the discharges of radionuclides on the environment. Atomnaya energiya = Atomic energy, 2013, Vol.115, No. 1. (In Russian)
12. Kryshev A.I. Dynamic modelling of the radionuclide transfer in hydrobiocenoses and assessment of the consequences of radioactive contamination for the biota and human. Abstract of doctoral thesis. Obninsk, 2008, 46 p. (In Russian)
13. Handbook for assessment of the exposure of biota to ionizing radiation from radionuclides in the environment. Ed. By J. Brown, P. Strand, Al. Hosseini. Project within the EC 5th Framework Programme, Contract № FIGE-CT-2000-00102. Framework for Assessment of Environmental Impact, 2003.
14. Pravdin I.F. Manual on the fish evaluation / Правдин И.Ф. – М.: Pishchevaya promyshlennost = Food industry, 1966, 376 p. (In Russian)
15. Lukyanenko V.I. Common ichthyotoxicology. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost = Light and food industry, 1983, 320 p. (In Russian)
16. Atlas «Freshwater fish of Russia». Ed. By Reshetnikov Yu. Moscow, Nauka = Science, 2002. (In Russian)
17. Bondareva L.G., Shubin A.A. Patent of the Russian Federation № 2011149436 (Ru) from 07.12.2011 «Universal device for the preparation of the water samples of different genesis». (In Russian)
18. NCRP – National Council on Radiation Protection and Measurements. Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms. NCRP Report N 109. Bethesda, Maryland, USA, 1991. 115 p.
19. ICRP Publication 136: Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation. Ann ICRP. 2017 Dec; 46(2):1-136. Doi: 10.1177/0146645317728022.
20. 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. (In Russian)
21. Kryshev I.I., Sazykina T.G. Imitational models of the ecosystem dynamics in the environment of the anthropogenic exposure of CPP and NPP. Moscow, Energoizdat, 1990, pp. 51-64. (In Russian)
22. Soldat J.K., Robinson N.M., Buker D.A. Models and computer codes for evaluating environmental radiation doses B-NWL-1754. Pacific Northwest National Laboratory. Richland, Washington, 1974.
23. NCRP. Report No. 109 – Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms. – 1991.
24. UN – United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly, with annexes. United Nations, New York, 2010.
25. Radiological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Aquatic Biota at OAK Ridge. National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. USA. BJC/OR, 1998, pp. 2-12.
26. Ivlev V.S. Experimental ecology of fish nutrition. Nauk. Dumka, 1977, 272 p. (In Russian)
27. Sabaneyev L.P. Life and fishing of the freshwater fish. Urozhay, 1994, 608 p. (In Russian)
28. SanPiN 2.3.2.1078-01 Hygienic requirements on the safety and nutrition of the food products. Actual on: 01.01.2018. (In Russian)
29. MUK 2.6.1.1194-03 «Radiation control. Strontium-90 and Caesium-137. Foodproducts. Sampling, analysis and hygienic assessment» (In Russian)
30. Khayn Dzh., Braunell G. Radiation dosimetry. Moscow, Foreign literature, 1958, 758 p. (In Russian)
31. A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota. – DOE-STD-1153-2002. – 2002.Washington DC: U.S.DOE, 2002. 234 p.

Received: May 22, 2018

Valeriy N. Rakitsky – Academic of Russian Academy of sciences, acting head of the Federal scientific center of hygiene after F.F. Erisman, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Mytishchi, Moscow region, Russia

For correspondence: Lydiya G. Bondareva – PhD, senior scientist, the Federal scientific center of hygiene after F.F. Erisman, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Semashko str., 2, Mytishchi, Moscow region, 141014; E-mail: lydiabondareva@gmail.com)

Nataliya E. Fedorova – Doctor of biological sciences, head of the «Analytical methods of control» department, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Mytishchi, Moscow region, Russia

For citation: Rakitsky V.N., Bondareva L.G., Fedorova N.E. Calculation of the irradiation dose for some components of the food chain of the freshwater ecosystem of the Yenisei River, during the operation of the nuclear fuel cycle enterprise – the Mining and Chemical Combine, Krasnoyarsk. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 3, pp. 22-29. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-22-29

Анализ результатов мониторинга содержания долгоживущих радионуклидов в организме жителей Уральского региона

М.О. Дёгтева¹, Е.И. Толстых¹, К.Г. Суслова², С.А. Романов², А.В. Аклеев¹

¹Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Федеральное медико-биологическое агентство, Челябинск, Россия

²Южно-Уральский институт биофизики, Федеральное медико-биологическое агентство, Озёрск, Россия

Цель исследования: провести комплексный анализ и оценку динамики уровней внутреннего облучения населения на территориях, загрязненных в результате деятельности производственного объединения «Маяк», на основе результатов долговременного мониторинга содержания долгоживущих техногенных радионуклидов в организме жителей Уральского региона. Материалы и методы: рассмотрены данные посмертных и прижизненных обследований для трёх групп населения: 1) жителей прибрежных сёл верхнего и среднего течения реки Теча, загрязненной в 1949–1956 гг. жидкими радиоактивными отходами; 2) людей, облучившихся в результате аварии 1957 г. на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа; 3) жителей г. Озёрска, расположенного на расстоянии 8 км от предприятия. Методы обследований включали: 1) радиохимический анализ образцов органов и тканей, отобранных при аутопсиях; 2) прижизненные измерения на спектрометрах излучений человека. В статье представлены результаты измерений содержания цезия-137, стронция-90 и трансурановых радионуклидов в организме, начиная с 1950-х гг. по настоящее время. Анализ данных позволил выделить две исторически сложившиеся группы населения с максимальными уровнями текущего содержания в организме стронция-90 и плутония. В состав первой группы вошли люди, проживавшие в начале 1950-х гг. в населенных пунктах на реке Теча, для которых уровни перорального поступления ^{90}Sr достигали 1,4 МБк/год. В состав второй группы вошли жители г. Озёрска, для которых уровни ингаляционного поступления плутония в период 1951–1958 гг. достигали 8 Бк/год. Заключение: оценки ожидаемых эффективных доз от поступления долгоживущих радионуклидов с 1949 по 2012 г. для критических групп населения Урала составили: 300 мЗв для бывших жителей села Мусломова на реке Теча (вклад ^{90}Sr – 85%) и 13 мЗв для жителей г. Озёрска (вклад трансурановых радионуклидов – 30%).

Ключевые слова: производственное объединение «Маяк», река Теча, Восточно-Уральский радиоактивный след, цезий-137, стронций-90, плутоний.

Введение

Оценка доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационно-опасных объектов, является неотъемлемой частью радиационно-гигиенического мониторинга – системы комплексного динамического наблюдения, включающего в себя постоянный контроль параметров радиационной обстановки. Специфику радиационной обстановки в районе размещения производственного объединения (ПО) «Маяк» на территории Челябинской области определили последствия крупномасштабного радиоактивного загрязнения наземных и водных объектов, возникшего в середине XX в. [1].

Наиболее значимыми источниками загрязнения были сбросы жидких радиоактивных отходов в реку Теча в 1949–1956 гг., взрыв в хранилище высокоактивных отходов в 1957 г., в результате которого образовался Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС), а также значительные газо-аэрозольные выбросы предприятия,

имевшие место в начальный период его работы (1948–1958 гг.). Помимо этого, ветровой перенос радиоактивного ила с прибрежной полосы промышленного озера Карачай в 1967 г. привел к дополнительному загрязнению территории Челябинской области. Долгоживущие техногенные радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr поступали в организм жителей населённых пунктов (НП) реки Теча и ВУРСа с питьевой водой и сельскохозяйственными продуктами, полученными на загрязненных территориях. Газо-аэрозольные выбросы ПО «Маяк» приводили к радиоактивному загрязнению приземного слоя воздуха и почвы, в результате чего происходило ингаляционное поступление радионуклидов в организм.

С момента образования зон радиоактивного загрязнения значительное влияние на формирование текущей радиационной обстановки вокруг ПО «Маяк» оказывали процессы миграции и перераспределения радионуклидов по территории в результате естественных и антропо-

Дёгтева Марина Олеговна

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

генных факторов. Карта-схема загрязнения территории Южного и Среднего Урала стронцием-90 по состоянию на 1997 г. показана на рисунке 1. Схема составлена на основе карты уровней загрязнения почв Уральского региона, выпущенной в 2000 г. Институтом глобального климата и экологии, и поэтому базируется на внесистемных единицах Ки/км², которые были использованы в оригинале [2].

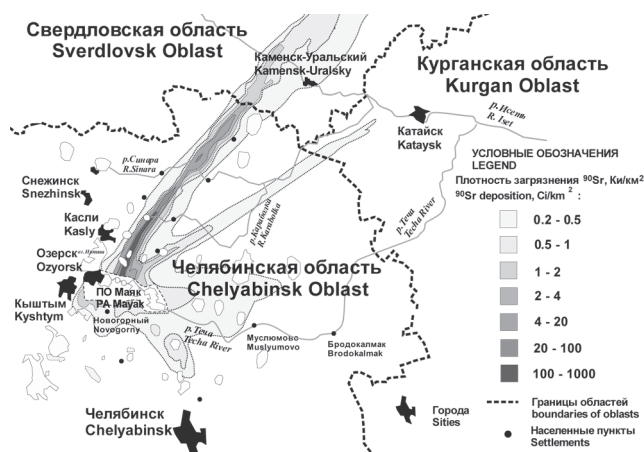


Рис. 1. Карта-схема загрязнения территории Урала стронцием-90 по состоянию на 1997 г. (1 Ки/км² = 37 КБк/м²)
[Fig. 1. Schematic map of ⁹⁰Sr contamination of territories of the Urals region as of 1997 (1 Ci/km² = 37 kBq/m²)

Как видно на рисунке 1, ось ВУРСа проходит в северо-восточном направлении от ПО «Маяк» в сторону г. Каменск-Уральского. Загрязнения в направлении г. Катайск, восточном и юго-восточном направлениях обусловлены, в основном, ветровым переносом радионуклидов из озера Карачай весной 1967 г. Наименьшая плотность загрязнения на 1997 г. (0,2–0,5 Ки/км²), указанная на рисунке 1, соответствует значениям 0,4–1,0 Ки/км² в 1967 г. и 0,5–1,2 Ки/км² в 1957 г. Для сравнения, средний уровень загрязнения почв стронцием-90 глобального происхождения в 1957 г. был 0,005 Ки/км², а начиная с 1963 г. составлял 0,03–0,05 Ки/км² [3].

Специфика радиационной обстановки в Уральском регионе, исторически сложившаяся в результате деятельности ПО «Маяк», определила особые требования к методологии оценки доз внутреннего облучения населения. Методические указания МУ 2.6.1.024-95 и МУ 2.6.1.1182-03 «Реконструкция накопленной дозы у жителей бассейна р. Теча и зоны аварии в 1957 г. на производственном объединении «Маяк» определяют требования к исходным данным и процедуру расчета накопленных доз (включая дозы от инкорпорированных трансурановых радионуклидов). Оценки доз внутреннего облучения базируются на данных мониторинга содержания радионуклидов в организме: 1) прижизненных измерений содержания ⁹⁰Sr на спектрометре излучения человека СИЧ-9.1 у жителей прибрежных НП р. Теча; 2) посмертных исследований содержания трансурановых радионуклидов у лиц, проживавших вблизи ПО «Маяк».

Цель исследования – провести комплексный анализ и оценку динамики уровней внутреннего облучения населения на территориях, загрязненных в результате деятельности ПО «Маяк», на основе результатов мониторинга содержания долгоживущих техногенных радионуклидов в организме жителей Уральского региона.

Материалы и методы

Мониторинг содержания радионуклидов в организме у жителей Уральского региона продолжается более 50 лет, главным образом силами двух учреждений: Уральского научно-практического центра радиационной медицины (УНПЦ РМ, г. Челябинск) и Южно-Уральского института биофизики (ЮУрИБФ, г. Озёрск). ЮУрИБФ проводит мониторинг работников ПО «Маяк» и населения Озёрского городского округа. УНПЦ РМ проводит мониторинг людей, облучившихся в НП на реке Теча и ВУРСа. Таким образом, полученные данные не дублировали, а дополняли друг друга. В обеих лабораториях анализировали биопробы, взятые посмертно, а также проводили прижизненные измерения на спектрометрах излучения человека (СИЧ). В таблице 1 представлены сводные сведения по опубликованным работам, позволяющие оценить масштабы мониторинга.

Таблица 1

Сводная таблица по мониторингу долгоживущих техногенных радионуклидов в организме у жителей Уральского региона

[Table 1

Summary table on monitoring of long-lived anthropogenic radionuclide body burden in residents of the Urals region]

Территория наблюдения [Catchment area]	Период наблюдения [Follow-up period]	Радионуклид / метод анализа [Radionuclide / analysis method]	Число человек [Number of people]	Ссылка [Reference]
Река Теча [Techa River]	1951–1989	⁹⁰ Sr/ аутопсии [⁹⁰ Sr/ autopsy]	246	[4, 5]
	1974–2014	⁹⁰ Sr, ¹³⁷ Cs/ СИЧ [⁹⁰ Sr, ¹³⁷ Cs/ WBC]	10174	[5, 6, 7]
ВУРС [EURT]	1960–1988	⁹⁰ Sr/ аутопсии [⁹⁰ Sr/ autopsy]	1646	[8]
	1974–1997	⁹⁰ Sr, ¹³⁷ Cs/ СИЧ* [⁹⁰ Sr, ¹³⁷ Cs/ WBC*]	369	[8]

Территория наблюдения [Catchment area]	Период наблюдения [Follow-up period]	Радионуклид/ метод анализа [Radionuclide / analysis method]	Число человек [Number of people]	Ссылка [Reference]
г. Озёрск [Ozyorsk]	1963–2013	^{90}Sr / аутопсии [^{90}Sr / autopsy]	961	[9]
	1966–1980	^{137}Cs / аутопсии [^{137}Cs / autopsy]	468	[10]
	1971–1994	^{137}Cs / СИЧ	835	[10]
	2011–2014	[^{137}Cs / WBC]	350	[9]
	1964–1971	^{239}Pu / аутопсии [^{239}Pu / autopsy]	104	[11]
г. Снежинск [Snezhinsk]	1975–2013	^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am / аутопсии** [^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am / autopsy**]	249	[9]
	1982–1983	^{90}Sr / аутопсии [^{90}Sr / autopsy]	117	[12]
	1961–1985	^{90}Sr / аутопсии [^{90}Sr / autopsy]	1481	[13]
	1983–1994	^{238}Pu + ^{239}Pu + ^{240}Pu / аутопсии*** [^{238}Pu + ^{239}Pu + ^{240}Pu / autopsy***]	446	[14]
	1975–1997	^{90}Sr , ^{137}Cs / СИЧ	1277	[15]
г. Кыштым, г. Касли, пос. Новогорный и другие НП Челябинской области [Kyshtym, Kasli, Novogorny and other settle- ments of Chelyabinsk Oblast]	2006–2012	[^{90}Sr , ^{137}Cs / WBC]	1090	[7]

* – только для жителей эвакуированных НП, которые в результате миграции расселились по территории всей Челябинской области
[* – only for evacuees, who migrated throughout the entire Chelyabinsk Oblast];

** – с 1978 г. в образцах измеряли Σ (^{238}Pu + ^{239}Pu + ^{240}Pu), а также ^{241}Am (дочерний радионуклид ^{241}Pu) методом альфа-радиометрии; а с 2000 г. ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Am определяли раздельно методом альфа-спектрометрии

[** – since 1978, Σ (^{238}Pu + ^{239}Pu + ^{240}Pu) and ^{241}Am (daughter of ^{241}Pu) was measured in the samples by alpha-radiometry, and since 2000 the ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu and ^{241}Am have been measured separately by alpha-spectrometry];

*** – для этих образцов фиксировали только дату и место смерти человека, предысторию его облучения на территории Урала не восстанавливали

[***only the date and place of death were recorded for these samples, the exposure histories were not traced].

Методы измерений содержания долгоживущих радионуклидов, которые использовались в ЮУриБФ и УНПЦ РМ, были детально описаны ранее [6, 7, 9, 10, 14–18]. Для измерения содержания ^{137}Cs в организме обе лаборатории с начала 1970-х гг. использовали спектрометры излучения человека (СИЧ) [6, 10]. Значения минимальной измеряемой активности (МИА) для используемых в настоящее время спектрометров составляют 100 Бк [9, 17].

Содержание ^{90}Sr в образцах костной ткани с конца 1950-х гг. обе лаборатории определяли посмертно радиохимическими методами [13, 14]. С 1974 г. в УНПЦ РМ содержание ^{90}Sr в организме начали измерять прижизненно на уникальном спектрометре СИЧ-9.1 по тормозному излучению дочернего ^{90}Y с использованием 4 фосвич-детекторов [6, 16]. Порог обнаружения ^{90}Sr на СИЧ-9.1 составлял 820 Бк; МИА равнялась 2 кБк [15]. С 2006 г. содержание ^{90}Sr определяют на модернизированном спектрометре СИЧ-9.1М [17]. Для нового прибора порог обнаружения ^{90}Sr составил 350 Бк; МИА=1 кБк; погрешность измерений <30% для уровней >5 кБк и 40% для уровней <5 кБк [7].

В ЮУриБФ для измерения содержания трансуранных радионуклидов (^{238}Pu + ^{239}Pu + ^{240}Pu и ^{241}Am) в образцах легких, печени и костей до 2000 г. использовали альфа-радиометрию [18]. С 2000 г. по настоящее время в ЮУриБФ образцы тканей, взятые при аутопсиях, анализируют на

содержание ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Am методом альфа-спектрометрии, а содержание ^{90}Sr определяют на низкофонном альфа-бета-радиометре [9]. Пороги обнаружения и минимальные измеряемые активности на единицу массы образца для всех радионуклидов детально описаны в статье [9].

Результаты и обсуждение

Основные результаты мониторинга жителей Уральского региона показаны на примере следующих групп населения:

1. Жители НП, расположенных в 1949–1956 гг. в пределах до 100 км ниже по течению р. Теча от места сбросов жидких радиоактивных отходов ПО «Маяк» (начиная с 1961 г., на этом отрезке реки оставался только НП Муслумово, а жители остальных НП были переселены в 1955–1960 гг.).

2. Взрослые жители НП, расположенных в северо-восточном направлении от ПО «Маяк» вдоль оси ВУРСа в пределах до 100 км от места аварии.

3. Взрослые жители г. Озёрска, расположенного в северо-западном направлении от ПО «Маяк» на расстоянии 8 км.

Результаты мониторинга, сгруппированные по отдельным радионуклидам, кратко просуммированы ниже.

Цезий-137

Измерения ^{137}Cs в организме отражают текущий уровень поступления радионуклида с рационом, поскольку он депонируется в мягких тканях, период его полувыведения у взрослых составляет 100–110 дней [3]. Таким образом, содержание ^{137}Cs в организме не зависит от предыдущих контактов с источниками поступления. Результаты прижизненных измерений содержания ^{137}Cs в организме жителей НП реки Теча и г. Озёрска показаны на рисунке 2.

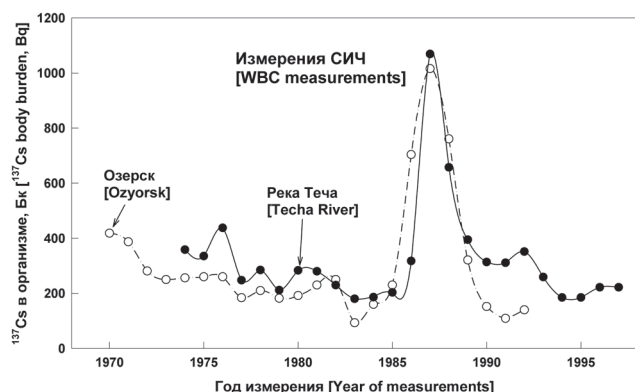


Рис. 2. Динамика содержания ^{137}Cs в организме людей, проживающих в НП на реке Теча и в г. Озёрске по измерениям УНПЦ РМ и ЮУРИБФ

[Fig. 2. Dynamics of ^{137}Cs -body burdens for people living on the Tcha River and in the Ozyorsk city according to the data of URCRM and SUBI]

Как видно из рисунка 2, с 1974 по 1985 г. содержание ^{137}Cs в организме людей, проживающих в НП на р. Теча и в г. Озёрске, имело близкие значения и постепенно снижалось с уровней, близких к 400 Бк, до 100–200 Бк. Это в 2–4 раза превышало средние по России оценки содержания глобального ^{137}Cs [3]. В 1986–1987 гг. в результате выпадений ^{137}Cs после Чернобыльской аварии содержание ^{137}Cs в организме жителей Урала резко возросло до 0,8–1,0 кБк, а затем снова снизилось к началу 1990-х гг. Пик «чернобыльского цезия» на Урале был синхронно зарегистрирован по измерениям СИЧ в обеих лабораториях (см. рис. 2).

Как видно из рисунка 2, в начале 1990-х гг. у жителей НП Муслюмово всё ещё наблюдались повышенные уровни содержания ^{137}Cs в организме. Это связано с тем, что в этот период люди стали более интенсивно использовать загрязненную ^{137}Cs пойму реки для выпаса скота и сенокосов, несмотря на запрет использования воды и поймы р. Теча для любых хозяйственно-бытовых нужд, который был введён ещё в 1954 г.

К 1995 г. содержание ^{137}Cs , измеренное на СИЧ-9.1, снизилось до уровней 180–220 Бк. Это соответствовало данным экспедиции Санкт-Петербургского института радиационной гигиены, согласно которым в 1998 г. оценка среднего содержания ^{137}Cs в организме жителей села Муслюмово составляла 160 Бк [19]. Измерения на СИЧ-9.1М, выполненные в период 2006–2012 гг., показали, что среднее содержание ^{137}Cs

в Муслюмово снизилось до 128 Бк, при этом 85% измерений были ниже МИА. В этот же период времени 97% измерений ^{137}Cs у жителей г. Озёрска были ниже МИА [9]. Это объясняется тем, что в этот период не было дополнительных поступлений ^{137}Cs в окружающую среду. Естественные процессы радиоактивного распада и перехода радионуклида в необменные формы привели к тому, что содержание ^{137}Cs в Уральском регионе снизилось повсеместно.

Стронций-90

Будучи аналогом кальция, стронций-90 накапливается и длительное время удерживается в костной ткани человека. С 1951 г. содержание ^{90}Sr у жителей НП вдоль реки Теча оценивали по результатам посмертных исследований образцов костных тканей. Уровни накопления ^{90}Sr зависели от расстояния от места проживания человека до места сбросов 1949–1956 гг., а также от источников питьевой воды (река или колодцы). Результаты исследований показали, что у взрослых жителей НП, расположенных на р. Теча в пределах 100 км от места сброса, средние значения содержания ^{90}Sr уменьшились с 80 кБк в 1951 г. до 10 кБк в 1975 г. (рис. 3). В период с 1974 по 1997 г. измерения ^{90}Sr были продолжены прижизненно и показали, что содержание ^{90}Sr у жителей НП вдоль реки Теча продолжало снижаться со скоростью 2,5–5,0% в год (см. рис. 3).

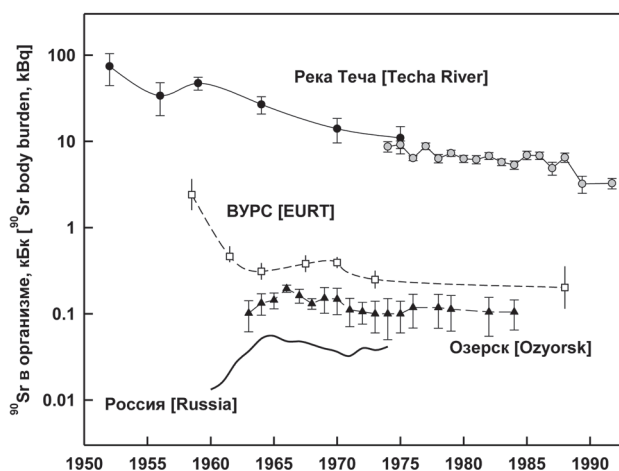


Рис. 3. Динамика содержания ^{90}Sr в организме у различных групп жителей Уральского региона. Верхняя кривая – взрослые жители НП вдоль реки Теча (черным цветом показаны посмертные измерения, а серым цветом – прижизненные измерения). Посмертные измерения ^{90}Sr у взрослых жителей ВУРСа (16–100 км от места аварии) показаны квадратными символами, а треугольные символы соответствуют жителям г. Озёрска. Нижняя кривая показывает средние по России уровни глобального ^{90}Sr в организме по данным [3]

[Fig. 3. The dynamics of ^{90}Sr -body burdens for various groups of the Urals residents. The upper curve is adult residents of the Tcha River (black color shows postmortem measurements, and gray color – in vivo measurements). Postmortem measurements of ^{90}Sr in adult residents of the EURT (16–100 km from the accident site) are shown by square symbols, and triangular symbols correspond to the inhabitants of the Ozyorsk city. The lower curve shows Russia national average levels of the global ^{90}Sr -body burden according to [3]]

С 1960-х гг. на Урале (как и в других регионах земного шара) в связи с глобальными выпадениями после испытаний ядерного оружия была организована широкомасштабная программа измерений ^{90}Sr в образцах кости [3, 4, 9]. Результаты исследований показали, что содержание ^{90}Sr в костной ткани взрослых жителей северной части Челябинской области (включая г. Озёрск) в 2–4 раза превышало среднероссийские значения глобального ^{90}Sr (см. рис. 3). Посмертные измерения ^{90}Sr у жителей г. Озёрска продолжались до настоящего времени и показали, что содержание в скелете у людей, приехавших в город в 1949–1960 гг., на начало 1990-х гг. составляло 140 ± 70 Бк, а к настоящему времени снизилось до 37 ± 12 Бк [9].

Посмертные измерения ^{90}Sr у постоянных жителей НП, расположенных вдоль оси ВУРСа на расстоянии 16–100 км от места аварии, показали, что содержание ^{90}Sr в скелете снизилось с 2,5 кБк в 1959 г. до 0,2 кБк в 1988 г. Из рисунка 3 видно, что влияние глобальных выпадений ^{90}Sr (максимум в 1964 г.) можно заметить только на кривых для жителей г. Озёрска и зоны ВУРСа. Дополнительное загрязнение территорий вокруг ПО «Маяк» в 1967 г., которое наложилось на территорию ВУРСа, не привело к существенному увеличению содержания ^{90}Sr , однако замедлило его выведение из организма.

В период 1980–1985 гг. была организована программа измерений на СИЧ–9.1 людей, эвакуированных с наиболее загрязненных территорий, расположенных на оси ВУРСа на расстояниях 12,5–23 км от места аварии. Уровни содержания ^{90}Sr оказались выше пределов чувствительности прибора (МИА=2 кБк) только для лиц, которые были моложе 20 лет на момент аварии в 1957 г. Уровни ^{90}Sr у людей, эвакуированных с ВУРСа в детском и подростковом возрасте, через 25 лет оставались значительно выше глобальных и составляли 2–4 кБк [8].

Известно, что уровни накопления ^{90}Sr в организме существенно зависят от возраста на момент поступления радионуклида, это наиболее ясно показывают многочисленные прижизненные измерения у жителей НП по реке Теча (рис. 4). Как видно из рисунка 4, максимальные значения стронция наблюдались у людей, которые были подростками (12–15 лет) в период основного поступления ^{90}Sr в 1950–1953 гг. Для них уровни содержания ^{90}Sr были в 5–6 раз выше по сравнению со взрослыми. Для людей 1930–1945 годов рождения, которые в 1950–1956 гг. проживали в НП на реке Теча, содержание ^{90}Sr превышало предел детектирования СИЧ–9.1М (МИА=1 кБк) спустя 60 лет с момента основного поступления (см. рис. 4). Эти люди составляют в настоящее время исторически сложившуюся критическую группу населения Уральского региона по содержанию ^{90}Sr в организме. Среднее содержание ^{90}Sr в этой критической группе в период 2006–2012 гг. равнялось $2,6 \pm 2,0$ кБк. При этом мощность поглощенной дозы в красном костном мозге от бета-излучения радионуклидов $^{90}\text{Y}/^{90}\text{Sr}$, депонированных в скелете, составляла $0,5 \pm 0,4$ мГр в год.

В целом, массовые измерения ^{90}Sr у жителей реки Теча позволили получить уникальные данные, которые были использованы для разработки пологовозрастной биокинетической модели поведения стронция в организме человека [5]. Также были разработаны биокинетические модели для беременных и кормящих женщин и оценены переходы стронция в плод и грудное молоко [20, 21].

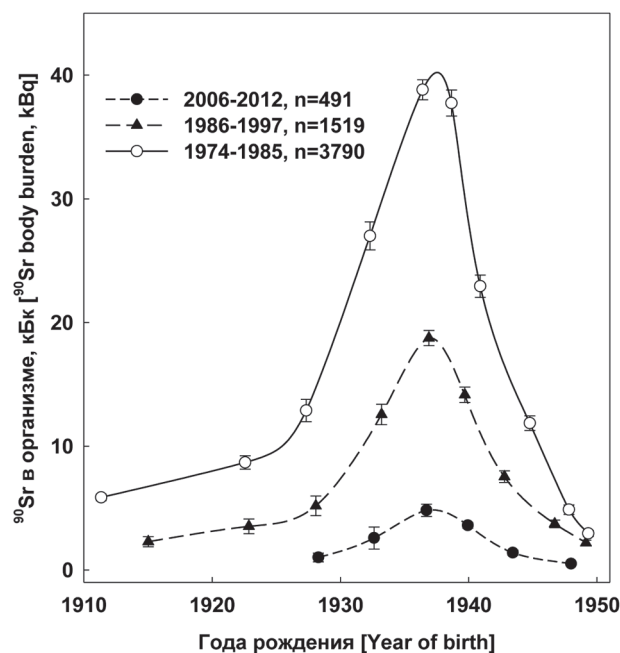


Рис. 4. Изменение со временем измеренного на СИЧ содержания ^{90}Sr в организме для различных возрастных групп людей, которые проживали в 1950–1956 гг. в НП вдоль реки Теча в пределах 100 км от места сброса

[Fig. 4. The change over time of the ^{90}Sr measured with the WBC for different age groups of people who in 1950–1956 lived on the Tcha River within 100 km of the discharge site]

Трансурановые радионуклиды

Плутоний поступал в организм жителей г. Озёрска и НП подветренной зоны ПО «Маяк» с вдыхаемым воздухом. Органами депонирования плутония являются скелет, печень и лёгкие. Содержание трансурановых радионуклидов ($^{238,239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am) оценивали по результатам радиохимических анализов образцов этих органов, взятых посмертно.

Первые данные о содержании ^{239}Pu в воздухе с подветренной стороны и лёгочной ткани жителей г. Озёрска, не имевших профессиональных контактов с радиоактивностью, были опубликованы в статье [11]. Согласно этим данным, среднее значение концентрации ^{239}Pu в легких в 1964–1971 гг. составляло 0,83 Бк/кг, что значительно превышало глобальные уровни этого радионуклида, равные 0,015 Бк/кг [11]. В ЮУриБФ систематический мониторинг содержания изотопов плутония ($^{238,239,240}\text{Pu}$) у жителей г. Озёрска, расположенного на расстоянии 8 км от ПО «Маяк», был начат в 1975 г. Согласно данным [22], среднее значение концентрации плутония в легких взрослых людей в период 1975–1994 гг. равнялось 0,17 Бк/кг. При этом доля плутония в легких относительно его содержания во всём организме составляла 4–5%.

В 1983–1994 гг. были проведены обследования жителей НП Челябинской области, расположенных на расстояниях от 8 до 90 км от ПО «Маяк», которые показали, что содержание плутония в организме существенно снижалось с увеличением расстояния до места проживания человека от ПО «Маяк» [23]. Наибольшие уровни накопления

наблюдались у жителей г. Озёрска, среди которых максимальные значения были получены для людей, постоянно проживавших в городе с начала 1950-х гг. [23]. Таким образом, эти люди составляют исторически сложившуюся критическую группу населения Уральского региона по содержанию плутония в организме. В 1979–1994 гг. среднее содержание плутония в этой группе равнялось $4,0 \pm 0,24$ Бк [14]. В 2000–2013 гг. оно снизилось до $2,2 \pm 0,43$ Бк [9]. На рисунке 5 показаны уровни содержания плутония, усреднённые за весь период наблюдения (249 аутопсий) в зависимости от года начала проживания человека в г. Озёрске. Как видно из рисунка 5, у людей, приехавших в город после 2000 г., содержание плутония в организме не отличается от глобального уровня.

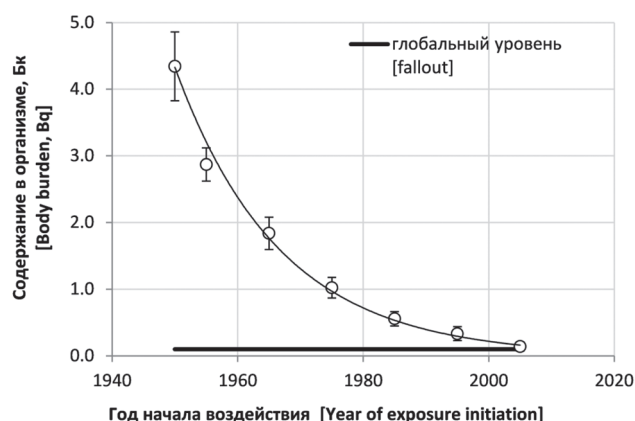


Рис. 5. Среднее содержание плутония ($\Sigma Pu = {}^{238}Pu + {}^{239,240}Pu$) у жителей г. Озёрска в зависимости от года начала воздействия по сравнению с уровнем глобального плутония
[Fig. 5. Average Pu- body burden ($\Sigma Pu = {}^{238}Pu + {}^{239,240}Pu$) in Ozyorsk residents against year of exposure initiation in comparison with the content of fallout plutonium]

Альфа-спектрометрические измерения образцов тканей показали, что вклад ${}^{238}Pu$ в суммарную активность изотопов плутония был мал и составлял в среднем 4–8% [9]. Вклад ${}^{241}Am$ в суммарную альфа-активность составлял 27% для скелета, 12% для легких и 9% для печени [9]. Для организма в целом вклад ${}^{241}Am$ увеличивался от 5% у людей, приехавших в г. Озёрск в 1949–1970 гг., до почти 30% у людей, приехавших в город после 1970-х гг.

Эффективные дозы внутреннего облучения

Как было описано выше, долговременный мониторинг содержания радионуклидов в организме у жителей Уральского региона позволил нам выделить исторически сложившиеся критические группы людей с наибольшими уровнями в организме стронция-90 и плутония. В состав первой группы вошли люди, которые в начале 1950-х гг. были подростками и проживали в НП на реке Теча. Уровни перорального поступления ${}^{90}Sr$ для этих людей в 1950–1953 гг. составляли 0,3–1,4 МБк/год [24]. В состав второй группы вошли взрослые жители г. Озёрска, для которых уровни ингаляционного поступления плутония в период 1951–1958 гг. достигали 8 Бк/год [9].

В таблице 2 показаны ожидаемые к 70-летнему возрасту эффективные дозы от поступления в организм долгоживущих радионуклидов с 1949 по 2012 г. для жителей села Муслюмово и г. Озёрска, оцененные с использованием дозовых коэффициентов (Зв/Бк) из Публикации 119 МКРЗ [25]. Методы оценки поступления радионуклидов и результаты расчета доз для взрослых жителей г. Озёрска были детально описаны в работе [9]. Эти результаты показаны в таблице 2.

Средние уровни поступления ${}^{90}Sr$ и ${}^{137}Cs$ для жителей села Муслюмово взяты из работ [24, 26]. Дозы рассчитаны для постоянных жителей 1938 года рождения, находившихся на начало поступления в возрасте 12 лет. Для учета возрастной зависимости дозовых коэффициентов для ${}^{90}Sr$ были использованы значения $8,0 \times 10^{-8}$ Зв/Бк для возрастов 12–17 лет и $2,8 \times 10^{-8}$ Зв/Бк для возрастов >17 лет (в соответствии с МУ 2.6.1.1182-03). Дозовый коэффициент для ${}^{137}Cs$ ($1,3 \times 10^{-8}$ Зв/Бк) не изменяется с возрастом. Для оценки доз от ингаляционного поступления плутония и америция было использовано отношение содержания плутония у жителей села Муслюмово к его содержанию у жителей г. Озёрска, которое, согласно МУ 2.6.1.024-95, равнялось 0,15.

Как видно из таблицы 2, ожидаемая эффективная доза для жителей села Муслюмово превышает 300 мЗв, причем вклад ${}^{90}Sr$ составляет 85%. Необходимо заметить, что в селе Муслюмово с 1954 г. действовал запрет на использование воды и поймы р. Теча для хозяйственно-бытовых нужд, который частью жителей не соблюдался. В 2012 г. все жители села Муслюмово были отселены от загрязнённой реки. Ожидаемая эффективная доза для

Ожидаемые эффективные дозы за счет поступления долгоживущих радионуклидов с 1949 по 2012 г. для критических групп населения Урала

Таблица 2

Committed effective doses from intakes of long-lived radionuclides over the period from 1949 through 2012 for critical groups of the Urals residents]

[Table 2

Группа населения [Population group]	Ожидаемая эффективная доза, мЗв [Committed effective dose, mSv]			
	${}^{90}Sr$	${}^{137}Cs$	${}^{239}Pu + {}^{241}Am$	Сумма [Total]
Подростки из с. Муслюмово на р. Теча [Adolescentss from Muslyumovo on the Techa River]	256	46	0,6	303
Взрослые жители г. Озёрска [Adult residents of Ozyorsk]	1,9	7,3	3,8	13

жителей г. Озёрска была значительно меньше и составила 13 мЗв, из которых 56% было обусловлено ^{137}Cs , а 29% – трансурановыми радионуклидами. Никаких ограничительных мер в городе не вводилось.

Необходимо отметить, что, помимо долгоживущих радионуклидов, рассмотренных в настоящей работе, дополнительный вклад в дозу внутреннего облучения жителей Уральского региона внесли продукты деления урана с более коротким периодом полураспада (^{131}I , ^{89}Sr , ^{144}Ce , ^{106}Ru и др.), а также внешнее облучение от загрязненной окружающей среды. Поэтому суммарные эффективные дозы от всех источников облучения были ещё выше.

Заключение

1. Мониторинг содержания радионуклидов в организме у жителей Уральского региона продолжается более 50 лет, главным образом силами УНПЦ РМ и ЮУРИБФ.

2. В настоящее время для мониторинга изотопов плутония и америция в ЮУРИБФ используется метод радиохимического анализа образцов аутопсии, для измерений изотопов плутония и америция – альфа-спектрометрический метод. Для мониторинга цезия-137 обе организации используют прижизненный метод измерений на СИЧ. Для мониторинга стронция-90 в ЮУРИБФ используется радиометрический метод по данным аутопсии, в УНПЦ РМ – прижизненный метод измерений на СИЧ.

3. Мониторинг позволил получить объективную информацию об уровнях накопления радионуклидов в организме как от локальных источников, связанных с «наследием» прошлой производственной деятельности ПО «Маяк» (загрязнение реки Теча, ВУРС, газо-аэрозольные выбросы), так и от источников вне Уральского региона (глобальные выпадения после испытаний ядерного оружия и выпадения после Чернобыльской аварии).

4. Мониторинг позволил получить уникальные данные, которые были использованы для разработки биокинетических моделей, представленных в Международную комиссию по радиологической защите.

5. Современная ситуация в сравнении с ситуацией 1990-х гг. показала, что в организме у людей, которые в 1950-е гг. проживали в НП на реке Теча, достоверно обнаруживается ^{90}Sr , а у людей, проживающих с 1950-х гг. в г. Озёрске, измерены достоверные уровни трансурановых радионуклидов (^{239}Pu , ^{241}Am). У людей, приехавших в Уральский регион или же родившихся в регионе после 1960 г., превышений содержания радионуклидов в организме над глобальными уровнями не обнаружено.

6. Для объективной оценки текущей радиационной обстановки на территории Уральского региона, загрязненной в результате прошлых аварий и инцидентов, необходимо разделять влияние прошлых и текущих выбросов ПО «Маяк», для чего необходимо дальнейшее продолжение мониторинга.

Благодарность

Анализ выполнен в рамках реализации федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности» при финансовой поддержке Федерального медико-биологического агентства России.

Литература

1. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона / под ред. С.К. Шойгу. – М.: Комтехпринт, 2002. – 287 с.

- Карта современных (на 1997 г.) уровней загрязнения почв Южно-Уральского региона стронцием-90 от аварий 1957 и 1967 гг. на ПО «Маяк». Масштаб 1:200000. – М.: Институт глобального климата и экологии, 2000.
- Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека / под ред. А.Н. Мареев. – М.: Атомиздат, 1980. – 186 с.
- Толстых, Е.И. Компьютерный регистр аутопсийного материала костной ткани человека как основа для дозиметрических, радиоэкологических и антропологических исследований / Е.И. Толстых, Н.Б. Шагина, Е.Э. Токарева [и др.] // Сб. «Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин» Вып. 11. – Екатеринбург, 2007. – С. 290-319.
- Shagina N.B., Tolstykh E.I., Degteva M.O. [et al.] Age and gender specific biokinetic model for strontium in humans. J. Radiol. Prot. 2015, 35(1), pp. 87-127.
- Kozheurov V.P. SICH-9.1-A unique whole-body counting system for measuring Sr-90 via bremsstrahlung: The main results from a long-term investigation of the Techa River population. Sci. Total Environ. 1994, 14(1-2), pp. 37-48.
- Толстых, Е.И. Результаты прижизненных измерений стронция-90 в организме жителей Уральского региона: анализ данных за 2006-2012 гг. / Е.И. Толстых [и др.] // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, №1. – С. 5-11.
- Tolstykh E.I., Peremyslova L.M., Degteva M.O. [et al.] Reconstruction of radionuclide intakes for residents of East Urals Radioactive Trace (1957-2011). Radiat. Environ. Biophys., 2017, 56, pp. 27-45.
- Suslova K.G., Romanov S.A., Efimov A.V. [et al.] Dynamics of body-burdens and doses due to internal irradiation from intakes of long-lived radionuclides by residents of Ozyorsk situated near Mayak PA. J. Radiol. Prot., 2015, 35, pp. 789-818.
- Хохряков, В.Ф. Накопление цезия-137 в организме жителей г. Челябинска-65 / В.Ф. Хохряков, А.Г. Бажин, В.И. Черников // Сборник тезисов I международного симпозиума «Хроническое радиационное воздействие: риск отдаленных эффектов», Челябинск, 9-13 января 1995 г. – Челябинск, 1995. – С. 16-17.
- Зыкова, А.С. Содержание плутония-239 в атмосферном воздухе и легочной ткани человека / А.С. Зыкова [и др.] // Бюллетень радиационной медицины. – 1974. – № 4. – С. 99-105.
- Гавриловский, Л.П. Оценка доз облучения жителей г. Снежинска по содержанию стронция-90 в костях и зубах людей / Л.П. Гавриловский [и др.] // Вопросы радиационной безопасности. – 2004. – №2. – С. 59-64.
- Толстых, Е.И. Особенности накопления и выведения ^{90}Sr у жителей Уральского региона в период 1957-1988 гг. / Е.И. Толстых [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2005. – Т. 45, №4. – С. 495-504.
- Суслова, К.Г. Особенности распределения и прогноз уровней накопления долгоживущих радионуклидов ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{90}Sr в организме у населения Южного Урала, проживающего в зоне выбросов ПО «Маяк» // Сб. «Источники и эффекты облучения работников ПО «Маяк» и населения, проживающего в зоне влияния предприятия» Часть I. – Озёрск, 2009. – С. 195-233.
- Kozheurov V.P., Zalyapin V.I., Shagina N.B. [et al.] Evaluation of uncertainties in the ^{90}Sr -body-burdens obtained by whole-body count: Application of Bayes' rule to derive detection limits by analysis of a posteriori data. Appl. Radiat. Isot., 2002, 57, pp. 525-535.
- Белле, Ю.С. Спектрометр излучений человека СИЧ-9.1, позволяющий измерять низкие содержания инкорпорированного стронция-90 / Ю.С. Белле [и др.] // Мед. радиология. – 1975. – №20. – С. 52-58.
- Бугров, Н.Г. Модернизированный спектрометр излучений человека СИЧ-9.1М для измерения содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в организме / Н.Г. Бугров, М.О. Дегтева, С.М. Аршанский // Медицина экстремальных ситуаций. – 2008. – № 4(26). – С. 78-86.

18. Khokhryakov V.F., Kudryavtseva V.I., Chernikov V.I. [et al.] A scintillation method for determination of actinide alpha-activity in samples. *Radioanal. Nucl. Chem.*, 1998, 234, pp. 293-295.
19. Balonov M.I., Bruk G.Ya., Golikov V.Yu. [et al.] Assessment of current exposure of the population living in the Techa River basin from radioactive releases of the Mayak facility. *Health Phys.*, 2007, 92(2), pp. 134-147.
20. Shagina N.B., Fell T.P., Tolstykh E.I. [et al.] Strontium biokinetic model for the pregnant woman and fetus: application to Techa River studies. *J. Radiol. Prot.*, 2015, 35, pp. 659-676.
21. Shagina N.B., Tolstykh E.I., Fell T.P. [et al.] Strontium biokinetic model for the lactating woman and transfer to breast milk: application to Techa River studies. *J. Radiol. Prot.*, 2015, 35, pp. 677-694.
22. Суслова, К.Г. Особенности распределения и ритма накопления плутония у населения зоны наблюдения / К.Г. Суслова, В.Ф. Хохряков // Вопросы радиационной безопасности. – 1996. – №1. – С. 35–44.
23. Суслова, К.Г. Содержание плутония в организме жителей Челябинской области / К.Г. Суслова, В.Ф. Хохряков, С.А. Романов // Атомная энергия. – 1994. – Т. 77, № 6. – С. 440–445.
24. Tolstykh E.I., Degteva M.O., Peremyslova L.M. [et al.] Reconstruction of long-lived radionuclide intakes for Techa riverside residents: Strontium-90. *Health Phys.*, 2011, 101(1), pp. 28–47.
25. ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41, Suppl. 1.
26. Tolstykh E.I., Degteva M.O., Peremyslova L.M. [et al.] Reconstruction of long-lived radionuclide intakes for Techa riverside residents: ¹³⁷Cs. *Health Phys.*, 2013, 104(5), pp. 481–498.

Поступила: 18.05.2018 г.

Дёгтева Марина Олеговна – кандидат технических наук, заведующая биофизической лабораторией Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России.
Адрес для переписки: 454076, г. Челябинск, ул. Воровского д. 68а. E-mail: marina@urcrm.ru

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

Суслова Клара Гилимовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

Романов Сергей Анатольевич – кандидат биологических наук, директор Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

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

Для цитирования: Дёгтева М.О., Толстых Е.И., Суслова К.Г., Романов С.А., Аклеев А.В. Анализ результатов мониторинга содержания долгоживущих радионуклидов в организме жителей Уральского региона // *Радиационная гигиена*. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 30-39. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-30-39

Analysis of the results of long-lived radionuclide body burden monitoring in residents of the Urals region

Marina O. Degteva¹, Evgenia I. Tolstykh¹, Klara G. Suslova², Sergey A. Romanov², Alexandr V. Akleyev¹

¹Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency, Chelyabinsk, Russia

²Southern Urals Biophysics Institute, Federal Medical Biological Agency, Ozyorsk, Russia

Objective of the study: To conduct a comprehensive analysis and assessment of the dynamics of internal exposure levels in the territories contaminated due to the activities of the Mayak Production Association, based upon the results of long-term monitoring of the long-lived anthropogenic radionuclide body burden in

Marina O. Degteva

Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency of Russia

Address for correspondence: Vorovsky str., 78a, Chelyabinsk, 454076, Russia; E-mail: marina@urcrm.ru

residents of the Urals region. *Materials and methods:* The data of postmortem and in vivo examinations for three groups of population were analyzed: 1) residents of riverside villages of the upper and middle reaches of the Techa River, contaminated in 1949–1956 with liquid radioactive waste; 2) people who were exposed as a result of the 1957 accident on the territory of the East Urals Radioactive Trace; 3) residents of the Ozyorsk city, located at an 8 km distance from the enterprise. The following methods of the examinations were used: 1) radiochemical analysis of specimens of organs and tissues sampled at autopsy; 2) in vivo measurements with the use of the whole body counters. The results of measurements of cesium-137, strontium-90 and trans-uranium radionuclide body burden over the period 1950s – present are provided. Data analysis made it possible to distinguish two historically formed groups of population with the maximum levels of current strontium-90 and plutonium body burden. The first group included people who lived in the early 1950's in the basin of the Techa River, for whom the levels of oral intake of ^{90}Sr reached 1.4 MBq/year. The second group comprised residents of the Ozyorsk city, for whom the levels of inhalation intake of plutonium in the period 1951–1958 reached 8 Bq/year. *Conclusion:* Estimates of the committed effective doses due to the intake of long-lived radionuclides over the period from 1949 through 2012 for critical groups of residents of the Urals were: 300 mSv for former residents of the Muslyumovo settlement on the Techa River (^{90}Sr contribution – 85%) and 13 mSv for residents of the Ozyorsk city (the contribution of trans-uranium radionuclides is 30%).

Key words: the Mayak Production Association, the Techa River, East Urals Radioactive Trace, cesium, strontium, plutonium.

References

- Consequences of anthropogenic radiation exposure and rehabilitation problems of the Ural region. Ed.: S.K. Shoygu. Moscow, 2002, 287 p. (in Russian).
- Map of contemporary (normalized to 1997) contamination of soils by Strontium-90 of the Southern Urals region as a result of the 1957 and 1967 accidents at the Mayak PA. 1:200000. Moscow: Institute of Global Climate and Ecology, 2000 (in Russian).
- Global fallout of nuclear explosion products as a factor of human exposure. Ed.: A.N. Marey. Moscow, 1980, 186 p. (in Russian).
- Tolstykh E.I., Shagina N.B., Tokareva E.E. [et al.] Computer registry of autopsy samples of human bone tissue as a basis for dosimetric, radio-ecological and anthropological research. In: Problems of ecology and border disciplines. Issue 11. Ekaterinburg: Urals State University, 2007, pp. 290–319 (in Russian).
- Shagina N.B., Tolstykh E.I., Degteva M.O. [et al.] Age and gender specific biokinetic model for strontium in humans. J. Radiol. Prot., 2015, 35(1), pp.87–127.
- Kozheurov V.P. SICH-9. 1-A unique whole-body counting system for measuring Sr-90 via bremsstrahlung: The main results from a long-term investigation of the Techa River population. Sci. Total Environ, 1994, 14(1–2), pp. 37–48.
- Tolstykh E.I., Bougrov N.G., Krivoshchapov V.A. [et al.] Results of in vivo measurements of strontium-90 body-burden in Urals residents: data analysis on 2006–2012. Radiatsionnaya Gygiyena = Radiation Hygiene, 2013, Vol. 6, pp. 5–11 (in Russian).
- Tolstykh E.I., Peremyslova L.M., Degteva M.O. [et al.] Reconstruction of radionuclide intakes for residents of East Urals Radioactive Trace (1957–2011). Radiat. Environ. Biophys., 2017, 56, pp. 27–45.
- Suslova K.G., Romanov S.A., Efimov A.V. [et al.] Dynamics of body-burdens and doses due to internal irradiation from intakes of long-lived radionuclides by residents of Ozyorsk situated near Mayak PA. J. Radiol. Prot., 2015, 35, pp. 789–818.
- Khokhryakov V.F., Bazhin A.G., Chernikov V.I. The depositing of Cesium-137 in organism of Chelyabinsk-65 residents. In: Chronic Radiation Exposure: Risk of Late Effects. Abstracts. Chelyabinsk: Urals Research Center for Radiation Medicine, 1995, pp. 96–97.
- Zykova A.S., Shumakov V.I., Voronina T.F. [et al.] Content of plutonium-239 in atmospheric air and human lung tissue. Bulletin Radiatsionnoy Meditsiny = Bulletin of Radiation Medicine, 1974, No 4, pp. 99–105. (in Russian).
- Gavrilovsky L.P., Subbotin L.A., Shklyarevskaya N.A. Assessment of radiation doses for residents of Snezhinsk based on the content of strontium-90 in the bones and teeth of people. Voprosy Radiatsionnoy Bezopasnosti = Radiation Safety Problems, 2004, No 2, pp. 59–64. (in Russian).
- Tolstykh E.I., Peremyslova L.M., Shagina N.B. [et al.] Characteristics of ^{90}Sr accumulation and elimination for residents of the Urals region in 1957–1988. Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya = Radiation Biology. Radioecology, 2005, Vol. 45, pp. 495–504 (in Russian).
- Suslova K.G. Features of metabolism and prediction of accumulation levels of ^{239}Pu , ^{241}Am and ^{90}Sr in the population at the Southern Urals living in the vicinity of the Mayak PA. In: Radioactive Sources and Radiation Effects on the Mayak Workers and Population Living in the Area of Nuclear Facility Influence. Part I, Ozyorsk, 2009, pp. 195–233. (in Russian).
- Kozheurov V.P., Zalyapin V.I., Shagina N.B. [et al.] Evaluation of uncertainties in the ^{90}Sr -body-burdens obtained by whole-body count: Application of Bayes' rule to derive detection limits by analysis of a posteriori data. Appl. Radiat. Isot., 2002, 57, pp. 525–535.
- Belle Yu.S., Kovtun A.N., Kozheurov V.P. [et al.] Human radiation spectrometer for measuring low content of incorporated strontium-90. Meditsinskaya Radiologiya = Medical Radiology, 1975, No 20, pp. 52–58. (in Russian).
- Bougrov N.G., Degteva M.O., Arshansky S.M. Modernized whole-body counter SICH-9.1M for in vivo measurements of ^{90}Sr and ^{137}Cs body burden. Meditsina Extremalnykh Situatsiy = Medicine of Extreme Situations, 2008, No 4, pp. 78–86. (in Russian).
- Khokhryakov V.F., Kudryavtseva V.I., Chernikov V.I. [et al.] A scintillation method for determination of actinide alpha-activity in samples. Radioanal. Nucl. Chem, 1998, 234, pp. 293–295.
- Balonov M.I., Bruk G.Ya., Golikov V.Yu. [et al.] Assessment of current exposure of the population living in the Techa River basin from radioactive releases of the Mayak facility. Health Phys, 2007, 92(2), pp. 134–147.
- Shagina N.B., Fell T.P., Tolstykh E.I. [et al.] Strontium biokinetic model for the pregnant woman and fetus: application to Techa River studies. J. Radiol. Prot., 2015, 35, pp. 659–676.
- Shagina N.B., Tolstykh E.I., Fell T.P. [et al.] Strontium biokinetic model for the lactating woman and transfer to breast milk: application to Techa River studies. J. Radiol. Prot., 2015, 35, pp. 677–694.
- Suslova K.G., Khokhryakov V.F. Peculiarities of distribution and rhythm of plutonium accumulation in the population of the monitoring zone. Voprosy Radiatsionnoy Bezopasnosti

- = Radiation Safety Problems, 1996, No 1, pp. 35-44. (in Russian).
23. Suslova K.G., Khokhryakov V.F., Romanov S.A. Plutonium body burden in residents of Chelyabinsk region. Atomnaya Energiya = Atomic Energy, 1994, Vol. 77, No. 6, pp. 440-445. (in Russian).
 24. Tolstykh E.I., Degteva M.O., Peremyslova L.M. [et al.] Reconstruction of long-lived radionuclide intakes for Techa riverside residents: Strontium-90. Health Phys., 2011, 101(1), pp. 28-47.
 25. ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41, Suppl. 1.
 26. Tolstykh E.I., Degteva M.O., Peremyslova L.M. [et al.] Reconstruction of long-lived radionuclide intakes for Techa riverside residents: ¹³⁷Cs. Health Phys., 2013, 104(5), pp. 481-498.

Received: May 18, 2018

For correspondence: Marina O. Degteva – Candidate of Technical Science, Head of Biophysics Laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency of Russia (Vorovsky str., 78a, Chelyabinsk, 454076, Russia. E-mail: marina@urcrm.ru)

Evgenia I. Tolstykh – Doctor of Biological Science, Lead Researcher, Biophysics Laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

Klara G. Suslova – Candidate of Biological Science, Lead Researcher, Southern Urals Biophysics Institute, Federal Medical Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Russia

Sergey A. Romanov – Candidate of Biological Science, Director of Southern Urals Biophysics Institute, Federal Medical Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Russia

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

For citation: Degteva M.O., Tolstykh E.I., Suslova K.G., Romanov S.A., Akleyev A.V. Analysis of the results of long-lived radionuclide body burden monitoring in residents of the Urals region. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 3, pp. 30-39. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-30-39

Fukushima fallout in Sakhalin Region, Russia, part 3: ^{137}Cs and ^{134}Cs in cow's milk

Valery P. Ramzaev, Anatoly N. Barkovsky, Alexey V. Gromov, 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 study was conducted on Kunashir, Shikotan and Iturup Islands (Sakhalin Region of Russia) in order to evaluate the impact of the Fukushima accident on the "soil–grass–cow's milk" exposure pathway. A total of 22 samples of cow's milk were collected in the May 2011 – September 2012 period. Radiocaesium was isolated from thermally treated specimens using the antimony–iodide radiochemical method. The activity concentrations of ^{134}Cs and ^{137}Cs were measured by γ -ray spectrometry using high purity germanium detectors. Caesium-134 was detected in 18 of the total 22 samples of milk. The activity concentration of ^{134}Cs in the samples varied from 0.08 Bq kg^{-1} to 2.00 Bq kg^{-1} . Caesium-137 was quantified in all 22 samples: range = 0.088 – 2.43 Bq kg^{-1} . On average, more than a half of the total ^{137}Cs in the milk samples from Sakhalin Region was of Fukushima origin (mean = 60%, median = 57%, range = 13–95%). The highest activity concentrations and values of the soil–to–milk aggregated transfer coefficient, T_{ag} , for ^{134}Cs (and Fukushima-derived ^{137}Cs) were observed in milk samples collected in mid-May 2011. The mean T_{ag} values decreased in the May–October period of 2011 from $12 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ to $2.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$. In September 2012, the T_{ag} values remained unchanged (mean = $2.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$) compared to those in September–October 2011. In the autumns of 2011 and 2012, the calculated values of T_{ag} for Fukushima-derived radiocaesium were on average 17 times larger than the ones for pre-Fukushima ^{137}Cs . The higher transfer of Fukushima-derived ^{137}Cs (compared to pre-Fukushima ^{137}Cs) for milk reflected the difference between the "new" and "aged" radiocaesium in the intensity of the radionuclide transfer from soil to grassland plants which were the major component of the cow's diet in the area of our study. The ratio between the ^{137}Cs activity concentration in the milk (fresh weight) and that in the grassland plants (dry weight) ranged from 0.028 to 0.11. The effective dose from ingestion of Fukushima-derived radiocaesium in locally produced cow's milk for critical group of adult residents of the southern Kuril in the first year after the accident is conservatively estimated as 0.0027 mSv. The Fukushima accident has had a negligible impact on radiocaesium contamination of cow's milk and the corresponding human exposure on the southern Kuril Islands: Shikotan, Kunashir and Iturup.

Key words: the Fukushima accident, global fallout, Kuril Islands, cow, milk, plants, ^{134}Cs , ^{137}Cs , aggregated transfer coefficient, effective dose.

Фукусимские выпадения в Сахалинской области России, сообщение 3: ^{137}Cs и ^{134}Cs в коровьем молоке

В.П. Рамзаев, А.Н. Барковский, А.В. Громов, 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

Исследование проводилось на островах Кунашир, Шикотан и Итуруп (Сахалинская область России) для оценки влияния аварии на АЭС «Фукусима-1» на радиоактивное загрязнение коровьего молока. Всего в период с мая 2011 г. по сентябрь 2012 г. было отобрано 22 пробы молока. Радиоактивный цезий выделяли из проб после их сжигания и озоления с использованием радиохимического сурьмяно-йодидного метода. Удельную активность ^{134}Cs и ^{137}Cs определяли методом гамма-спектрометрии с использованием детекторов из особо чистого германия. Цезий-134 был обнаружен в 18 из 22 образцов молока. Удельная активность ^{134}Cs в пробах варьировала от 0,08 Бк/кг до 2,00 Бк/кг. Цезий-137 был выявлен во всех 22 пробах: диапазон = 0,088–2,43 Бк/кг. В среднем более половины от общей актив-

Valery P. Ramzaev

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

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

ности ^{137}Cs в пробах молока из Сахалинской области имело фукусимское происхождение (среднее значение = 60%, медиана = 57%, диапазон = 13–95%). Максимальная удельная активность ^{134}Cs и значения агрегированного коэффициента переноса (T_{ag}) почва – молоко для ^{134}Cs (и фукусимского ^{137}Cs) наблюдались для проб молока, отобранных в середине мая 2011 г. Среднее значение T_{ag} снизилось в период с мая по октябрь 2011 г. с $12 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ до $2,3 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$. В сентябре 2012 г. значения T_{ag} остались неизменными (среднее значение = $2,8 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$) по сравнению с таковыми в сентябре – октябре 2011 г. Вычисленные значения T_{ag} для радиоцезия фукусимского происхождения были осенью 2011 и 2012 гг. в среднем в 17 раз больше, чем таковые для дофукусимского ^{137}Cs . Более высокий коэффициент переноса фукусимского ^{137}Cs (по сравнению с дофукусимским ^{137}Cs) в коровье молоко отражает разницу между «новым» и «старым» радиоцезием в отношении интенсивности перехода радионуклидов из почвы в луговые растения, которые являются основным компонентом рациона питания коров в обследованном регионе. Значения фактора накопления ^{137}Cs для пары (молоко, на свежий вес)/(луговые растения, на сухой вес) находились в диапазоне 0,028–0,11. Эффективная доза облучения от поступления фукусимского радиоцезия с местным коровьим молоком для критической группы взрослых жителей Южных Курил в первый год после аварии консервативно оценивается величиной 0,0027 мЗв. Авария на АЭС «Фукусима-1» оказала пренебрежимо малое влияние на радиоактивное загрязнение коровьего молока и соответствующее воздействие на человека на Южных Курильских островах Кунашир, Шикотан и Итуруп.

Ключевые слова: Фукусимская авария, глобальные выпадения, Курильские острова, корова, молоко, растения, ^{134}Cs , ^{137}Cs , агрегированный коэффициент переноса, эффективная доза.

Introduction

The Fukushima accident led to a significant atmospheric emission of the long-lived radionuclides ^{134}Cs and ^{137}Cs that fell to the surface of land and sea in the entire Northern Hemisphere [1–3]. Such fallout were registered in Russia, specifically in its Far-Eastern territories and the adjacent regions of Pacific Ocean [4–6]. Shortly after the accident, when the situation with actual levels of Fukushima fallout on the Russian territory remained unclear, the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Rospotrebnadzor) initiated a monitoring program on the assessment of radioactive contamination of the locally produced food and imported foodstuff [7, 8].

Evaluation of cow's milk contamination by radiocaesium was of importance. Previous studies performed after atmospheric nuclear weapons tests and the Chernobyl accident had shown that, in the Russian Federation, the "grass-cow-milk" pathway might be one of the major contributors to internal exposure of the local population by radiocaesium (e.g., [9–11]).

In May 2011, ^{134}Cs , a marker of Fukushima fallout, was quantified (range = 0.8–2.5 Bq kg⁻¹) in all samples of cow's milk obtained from certain private farms on Kunashir and Shikotan Islands (Sakhalin Region) [12]. Cs-137 was also determined in the samples. Although the total activity concentrations of the radiocaesium isotopes were far below the permissible level of 100 Bq kg⁻¹ adopted in Russia for cow's milk [13], the generic recommendation of Rospotrebnadzor was that radiological monitoring of milk as well as of other locally produced food should be continued [5]. The measurements of cow's milk samples collected in Sakhalin Region in autumn 2011 by Rospotrebnadzor [8] confirmed the negligible influence of the Fukushima accident on the "grass-cow-milk" exposure pathway in the south of Sakhalin Island and in Kunashir and Shikotan Islands.

The published evaluations [5, 8, 12] of the milk contamination in Sakhalin Region after the Fukushima accident were primarily focused on the hygienic (radiological) aspect. Such important radioecological issues as soil-to-milk transfer and forage-to-milk transfer of Fukushima-derived radiocaesium and pre-Fukushima ^{137}Cs remained

Введение

Авария на АЭС «Фукусима-1» привела к значительным атмосферным выбросам долгоживущих радионуклидов ^{134}Cs и ^{137}Cs , которые выпали на поверхность суши и моря во всем Северном полушарии [1–3]. Такие выпадения были зарегистрированы и в России, особенно на ее дальневосточных территориях и в прилегающих районах Тихого океана [4–6]. Вскоре после аварии, когда ситуация с фактическими уровнями фукусимских выпадений на территории России оставалась неясной, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) инициировала программу мониторинга по оценке радиоактивного загрязнения продуктов питания местного производства и импортных пищевых продуктов [7, 8].

Важное значение имела оценка загрязнения коровьего молока радиоактивными изотопами цезия (далее по тексту – «радиоцезий»). Предыдущие исследования, проведенные в связи с испытаниями ядерного оружия в атмосфере и аварией на Чернобыльской АЭС, показали, что в Российской Федерации пищевая цепочка «трава – корова – молоко» может быть одним из основных факторов, влияющих на внутреннее облучение местного населения радиоцезием (например, [9–11]).

В мае 2011 г. ^{134}Cs , маркер фукусимских выпадений, был определен количественно (диапазон = 0,8–2,5 Бк/кг) во всех пробах коровьего молока, полученных из частных хозяйств на островах Кунашир и Шикотан (Сахалинская область) [12]. В пробах также определяли ^{137}Cs . Хотя удельная активность радиоцезия была намного ниже допустимого уровня 100 Бк/кг, принятого в России для коровьего молока [13], общие рекомендации Роспотребнадзора заключались в том, что радиационно-гигиенический мониторинг молока, а также других продуктов местного производства должен быть продолжен [5]. Результаты исследований проб молока, отобранных в Сахалинской области осенью 2011 г. специалистами учреждений Роспотребнадзора [8], подтвердили пренебрежимо малое влияние фукусимской аварии на пищевую цепочку «трава – корова – молоко» для южной части острова Сахалин и островов Кунашир и Шикотан.

beyond the scope of the investigations. One of the reasons was the fact that at the moment of publishing the book [8] in 2012, the assessments of the $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ activities ratio in Fukushima fallout, the radiocaesium inventories in soils and the radioactive contamination of plants in grasslands were incomplete. Currently, after publication of additional experimental data and generic estimations focused on the above mentioned issues [14–18], the transfer parameters in the “soil–grass–cow–milk” pathway can be evaluated quantitatively. Additionally, the authors had an opportunity to collect and analyze a new series of cow’s milk samples in Sakhalin Region in 2012. It has allowed to evaluate dynamics of the radiocaesium contamination levels in milk in the first and second years after the accident.

The main objectives of the study are:

- 1) to present new experimental data and to summarize all results obtained in Sakhalin Region in 2011–2012 on cow’s milk contamination by caesium radionuclides;
- 2) to estimate the “soil–to–cow’s milk” aggregated transfer coefficients (T_{ag}) for Fukushima-derived and pre-Fukushima radiocaesium;
- 3) to estimate the “cow’s milk/forage” concentration ratios (CR) for Fukushima-derived and pre-Fukushima radiocaesium;
- 4) to assess the effective dose from ingestion of radiocaesium in locally produced milk for critical group of adult residents of the southern Kuril in the first year after the accident.

Materials and methods

A total of 22 samples of cow’s milk were obtained from private farms on the Kunashir (four settlements), Shikotan (two settlements) and Iturup (six settlements) islands. The samples were provided by the farmers (the cows’ owners); they were interested in getting information on the quality of milk.

The investigated areas and the properties of soil and vegetation in grasslands have already been described in [8, 14, 17, 18].

In all cases the cows grazed freely on the territory of a settlement or in its vicinity, including grasslands, edges of forests and the beaches of Pacific Ocean or Okhotsk Sea. A mixture of grasses and herbs (the grass-forb crop, GFC [14]) in the grasslands was the main contributor to the forage of the cows, however the cows’ owners also mentioned dwarf bamboo (*Sasa* sp.) and edible sea macro-algae (e.g., *Laminaria* sp.) [19].

The mass of a milk aliquot taken for laboratory analyses ranged from 0.5 to 1.0 kg (fresh weight, f.w.). The aliquots were dried and ashed at a temperature below 450 °C. Radiocaesium was extracted from the treated specimens using the antimony–iodide radiochemical method [20]. The precipitate of caesium antimony iodide was placed on an aluminium plate (diameter = 1.5 cm) and dried. Gamma-spectrometry analyses were performed using high-purity germanium detectors and multichannel analysers (ORTEC) to determine the ^{134}Cs and ^{137}Cs activities [14, 16]. The plates were placed at a distance of about 3 mm from the cup of the detector. Primary calibration of the spectrometers for this geometry was done in 2011 [8, 12]. The final calibration was performed in 2011–2012 using certified sources ^{134}Cs and

Опубликованные оценки [5, 8, 12] по загрязнению молока в Сахалинской области после аварии на АЭС «Фукусима-1» в первую очередь касались гигиенического (радиологического) аспекта. Такие важные радиозологические параметры, как коэффициент переноса радиоцезия из почвы в молоко и соотношение концентрации радиоцезия в коровьем молоке и в кормах, поступающих в организм животных, оставались за рамками исследований. Одна из причин заключалась в том, что на момент подготовки и выхода книги [8] в 2012 г. оценки, касающиеся соотношения активностей $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ в выпадениях, запаса радиоцезия в почве и радиоактивного загрязнения растений на лугах, были неполными. В настоящее время после публикации дополнительных экспериментальных данных и обобщенных оценок по вышеуказанным вопросам [14–18] параметры перехода радиоцезия в цепочке «почва – трава – корова – молоко» могут быть оценены количественно. Кроме того, у авторов была возможность отобрать и проанализировать еще одну серию проб коровьего молока в Сахалинской области в 2012 г. Это позволило оценить динамику уровня радиоактивного загрязнения в первый и второй год после аварии.

Задачи исследования:

1. Представить новые экспериментальные данные и обобщить все результаты измерений, проведенных в 2011–2012 гг. относительно загрязнения коровьего молока радионуклидами цезия в Сахалинской области.
2. Оценить агрегированные коэффициенты переноса (T_{ag}) фукусимского и дофукусимского радиоцезия из почвы в молоко.
3. Оценить фактор накопления (ФН), т.е., величину соотношения концентрации фукусимского и дофукусимского радиоцезия в коровьем молоке и в кормах, поступающих в организм животных.
4. Оценить эффективную дозу облучения от радиоцезия, содержащегося в молоке местного производства, для критической группы взрослых жителей южных Курил в первый год после аварии.

Материалы и методы

Всего из фермерских (частных) хозяйств, расположенных на острове Кунашир (4 населенных пункта (Н.п.)), острове Шикотан (2 Н.п.) и острове Итуруп (6 Н.п.), было получено 22 пробы коровьего молока. Пробы были переданы фермерами (владельцами коров); они были заинтересованы в получении информации о качестве молока.

Свойства почвы и растительности на лугах Южных Курил приведены в [8, 14, 17, 18].

На Курильских островах коровы свободно пасутся на территории населенных пунктов или в их окрестностях, включая луга, опушки лесов и пляжи Тихого океана или Охотского моря. Смешанные травяные сообщества (СТС) [14]) на лугах являются основным кормом для крупного рогатого скота, однако владельцы коров также упоминали карликовый бамбук (*Sasa* sp.) и съедобные морские водоросли (например, *Laminaria* sp.) [19].

Масса пробы молока, взятой для лабораторных анализов, составляла от 0,5 до 1,0 кг на свежий вес (св.в.). Пробы сжигали и затем озоляли при температуре, не превышающей 450 °C. Радиоактивный цезий выделяли из озоленных проб с использованием радиохимического

^{137}Cs [21]. All gamma-ray spectra recorded in 2011–2012 for the milk specimens were evaluated (or re-evaluated) using the final calibration parameters.

In order to quantify the soil-to-milk transfer of caesium radionuclides, their aggregated transfer coefficients, T_{ag} ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$), were estimated. The T_{ag} value was calculated as the ratio of activity concentration of radionuclide in milk (Bq kg^{-1}) to inventory of radionuclide in soil (Bq m^{-2}) [22, 23]. The activity concentrations of ^{137}Cs and ^{134}Cs in milk were determined directly from results of gamma-spectrometric analyses. The activity concentration of pre-Fukushima ^{137}Cs was calculated as a difference between the total activity concentration of ^{137}Cs and the activity concentration of Fukushima-derived ^{137}Cs . To calculate the activity concentration of Fukushima-derived ^{137}Cs , we applied the $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ activities ratio of 1.0 in Fukushima fallout as of 15 March 2011 [14, 16]. The half-life of ^{137}Cs and ^{134}Cs is 30.0 y and 2.06 y, respectively [24]. The mean values of ^{134}Cs inventory in soil on the islands of Kunashir (87 Bq m^{-2}) and Shikotan (124 Bq m^{-2}) [17] were used to calculate T_{ag} values for ^{134}Cs . On Iturup Island, where there was a large difference between the western and eastern sides of the island in the intensity of Fukushima fallout, the mean value of 26 Bq m^{-2} and 100 Bq m^{-2} was taken for the western and eastern side, respectively. To calculate T_{ag} for pre-Fukushima ^{137}Cs , the mean reference inventory value for pre-Fukushima ^{137}Cs of 2590, 2910 and 2860 Bq m^{-2} was used for Kunashir, Shikotan and Iturup, respectively (see Table 7 in [17]).

The radiocaesium (cow's milk)/(pasture grass) concentration ratio, CR, was calculated as the ratio of the mean value of T_{ag} for milk to the mean value of T_{ag} for vegetation. The T_{ag} values for pasture grasses (GFC) were obtained from the paper by Ramzaev et al. [18].

Results are presented as means, medians and standard deviation. The non-parametric Mann-Whitney U-test was used to evaluate differences between the groups on the three sampling occasions. Correlation between activity concentrations of ^{134}Cs and ^{137}Cs in milk was estimated using Spearman's rank order correlation coefficient, R_{sp} . The level of statistical significance was set to $P < 0.05$. All analyses were performed using the Excel for MS Windows and a free on-line calculator accessible at the web-site [25].

Results and discussion

The measured activity concentrations (decay-corrected to the date of sampling) for ^{134}Cs and ^{137}Cs in milk samples from individual farms are listed in Table 1. Additionally, this table contains data for the corresponding levels of inventories of ^{134}Cs and pre-Fukushima ^{137}Cs in soil. Values of contribution of Fukushima ^{137}Cs to total ^{137}Cs , and values of T_{ag} are presented in the last four columns of the table; the summary statistics are given in Table 2.

Cs-134 was determined in 18 of the total 22 samples of milk. The activity concentration of ^{134}Cs in the samples varied from 0.08 Bq kg^{-1} to 2.00 Bq kg^{-1} . Cs-137 was quantified in all 22 samples: range = $0.088\text{--}2.43 \text{ Bq kg}^{-1}$. The activity concentrations of the sum $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ (maximum = 4.4 Bq kg^{-1}) were well below the permissible level of 100 Bq kg^{-1} currently adopted for ^{137}Cs in milk in Russia [13]. On average, more than a half of the total ^{137}Cs in milk (mean = 60%, median = 57%, range = 13–95%) was of Fukushima origin. After correction

сурьмяно-йодидного метода [20]. Осадок сурьмяно-йодистого цезия помещали на алюминиевую подложку (диаметр = 1,5 см) и высушивали. Активность радионуклидов ^{134}Cs и ^{137}Cs определяли методом гамма-спектрометрии с использованием детекторов из особо чистого германия [14, 16]. Подложки размещали на расстоянии около 3 мм от торца детектора. Первичная калибровка спектрометров для этой геометрии была проведена в 2011 г. [8, 12]. Окончательная калибровка была выполнена в 2011–2012 гг. с использованием образцовых гамма-источников ^{134}Cs и ^{137}Cs [21]. Все спектры гамма-излучения, зарегистрированные в 2011–2012 гг. для проб молока, были обработаны (или повторно обработаны) с использованием окончательных параметров калибровки.

Для количественной оценки перехода радионуклидов цезия из почвы в молоко мы вычислили их агрегированные коэффициенты переноса (T_{ag} , $\text{м}^2/\text{кг}$). Значение T_{ag} рассчитывается как отношение удельной активности радионуклида в молоке (Бк/кг) к запасу радионуклида в почве (Бк/м^2) [22, 23]. Удельную активность фукусимского ^{134}Cs и общую удельную активность ^{137}Cs в молоке определяли непосредственно по результатам гамма-спектрометрического анализа. Удельная активность дофукусимского ^{137}Cs была рассчитана как разница между общей удельной активностью ^{137}Cs и удельной активностью фукусимского ^{137}Cs . Для расчета удельной активности фукусимского ^{137}Cs мы использовали соотношение активностей $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ в фукусимских выпадениях, равное 1,0 (по состоянию на 15 марта 2011 г.) [14, 16]. Периоды полураспада ^{137}Cs и ^{134}Cs составляют 30,0 лет и 2,06 года соответственно [24]. Средние значения запаса ^{134}Cs в почве на острове Кунашир (87 Бк/м^2) и острове Шикотан (124 Бк/м^2) [17] были использованы при расчете T_{ag} для ^{134}Cs . На острове Итуруп, где наблюдалась большая разница между западной и восточной сторонами острова в интенсивности фукусимских выпадений, были взяты средние значения 26 Бк/м^2 и 100 Бк/м^2 для западной и восточной сторон острова соответственно. При расчете T_{ag} для дофукусимского ^{137}Cs на островах Кунашир, Шикотан и Итуруп использовали средние референтные значения запасов дофукусимского ^{137}Cs , равные 2590, 2910 и 2860 Бк/м^2 соответственно (см. таблицу 7 в [17]).

Фактор накопления радиоактивного цезия в паре (молоко)/(смешанные травяные сообщества) был рассчитан как отношение среднего значения T_{ag} для молока к среднему значению T_{ag} для растительности. Значения T_{ag} для луговой растительности (СТС) были взяты из статьи Ramzaev et al. [18].

Результаты представлены в виде средней, медианы и стандартного отклонения. Для проверки различий между группами для трех периодов пробоотбора использовали непараметрический U-тест Манна – Уитни. Корреляцию между активностями ^{134}Cs и ^{137}Cs в молоке оценивали с использованием рангового коэффициента Спирмена, R_{sp} . Уровень статистической значимости был установлен равным $P < 0,05$. Все расчеты были выполнены с использованием Excel для MS Windows и бесплатного он-лайн калькулятора, доступного на сайте [25].

Table 1

Activity concentration of caesium radionuclides in cow's milk (fresh weight), the radionuclides inventory in soil, contribution of Fukushima derived ^{137}Cs to total ^{137}Cs and the soil-to-milk aggregated transfer coefficient (T_{ag}) for Fukushima-derived ^{137}Cs and pre-Fukushima ^{137}Cs in individual samples of milk obtained from private farms on the Kunashir, Iturup and Shikotan islands in 2011 and 2012

[Таблица 1]

Удельная активность радионуклидов цезия в коровьем молоке (на свежий вес), запас радионуклидов в почве, вклад фукусимского ^{137}Cs в общую активность ^{137}Cs и агрегированный коэффициент переноса (T_{ag}) почва – молоко для фукусимского ^{137}Cs и дофукусимского ^{137}Cs в отдельных пробах молока, полученных из частных хозяйств на островах Кунашир, Итуруп и Шикотан в 2011 и 2012 гг.]

Sample code* [Код пробы*]	Date [Дата отбора]	Activity concen- tration in milk (Bq kg ⁻¹ , f.w.)** [Удельная актив- ность в молоке (Бк/кг, св.в.)**]		Inventory in soil (Bq m ⁻²)*** [Запас в почве (Бк/м ²)***]		Contribution of Fukushima ¹³⁷ Cs to total ¹³⁷ Cs (%) [Вклад фукусимского ¹³⁷ Cs в общий ¹³⁷ Cs (%)]		¹³⁷ Cs T _{ag} (m ² kg ⁻¹ , n × 10 ⁻³)	
		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	Pre-Fukushima ¹³⁷ Cs [Дофукусимский ¹³⁷ Cs]	Milk [Молоко]	Soil [Почва]	Fukushima [Фукусимский]	Pre-Fukushima [Дофукусимский]
2011, spring [весна 2011 г.]									
Kun- Otr-1	13 May	0.61 (15)	0.76 (11)	82	2660	85	3.3	7.4	0.044
Kun- Yu-1	13 May	1.11 (8.2)	1.28 (6.8)	82	2660	91	3.3	14	0.045
Kun- Gol-1	14 May	0.93 (13)	2.40 (6.3)	82	2660	41	3.3	11	0.55
Kun- Yu-2	14 May	1.05 (17)	1.31 (13)	82	2660	84	3.3	13	0.081
Kun- Gol-2	14 May	1.43 (9.4)	1.77 (8.7)	82	2660	85	3.3	17	0.10
Shi- Mal-1	12 May	1.32 (14)	1.79 (12)	117	3020	78	4.1	11	0.14
Shi- Kra-1	12 May	1.20 (15)	1.33 (12)	117	3020	95	4.1	10	0.023
Shi- Mal-2	13 May	2.00 (8.6)	2.43 (6.9)	117	3020	87	4.1	17	0.11
Shi- Kra-2	13 May	0.93 (12)	1.55 (7.9)	117	3020	63	4.1	7.9	0.20
2011, autumn [осень 2011 г.]									
Kun- Otr-2	28 Sep.	0.20 (15)	0.49 (6.0)	73	2630	48	3.2	2.7	0.10
Kun- Dub-1	28 Sep.	0.41 (16)	0.92 (6.4)	73	2630	53	3.2	5.6	0.17
Kun- Tre-1	28 Sep.	0.16 (21)	0.42 (8.2)	73	2630	46	3.2	2.2	0.089
Kun- Yu-3	03 Oct.	0.17 (15)	0.55 (4.8)	73	2630	37	3.2	2.3	0.14
Shi- Mal-3	01 Oct.	0.082 (19)	0.20 (8.7)	103	2980	49	4.1	0.80	0.036
Shi- Kra-3	01 Oct.	<0.05	0.088 (13)	103	2980	–	4.1	<0.5	–
2012, autumn [осень 2012 г.]									
Kun- Tre-2	24 Sep.	0.06 (37)	0.73 (4.6)	52	2550	13	4.1	1.2	0.26
Kun- Gol-3	28 Sep.	0.17 (6.5)	0.45 (2.6)	52	2550	61	4.1	3.3	0.072
Itu-Gor- 1e	19 Sep.	0.13 (19)	0.71 (5.3)	60	2760	30	3.4	2.2	0.19
Itu-Bur- 1e	21 Sep.	0.28 (11)	1.31 (3.0)	60	2760	36	3.4	4.7	0.31

Table 1 (continued)
[Окончание таблицы 1]

Sample code* [Код пробы*]	Date [Дата отбора]	Activity concentration in milk (Bq kg ⁻¹ , f.w.)** [Удельная активность в молоке (Бк/кг, св.в.)**]		Inventory in soil (Bq m ⁻²)*** [Запас в почве (Бк/м ²)***]		Contribution of Fukushima ¹³⁷ Cs to total ¹³⁷ Cs (%) [Вклад фукусимского ¹³⁷ Cs в общий ¹³⁷ Cs (%)]		¹³⁷ Cs T _{ag} (m ² kg ⁻¹ , n × 10 ⁻³)	
		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	Pre-Fukushima ¹³⁷ Cs [Дофукусимский ¹³⁷ Cs]	Milk [Молоко]	Soil [Почва]	Fukushima [Фукусимский]	Pre-Fukushima [Дофукусимский]
Itu-Kur-1w	19 Sep.	<0.08	0.53 (20)	16	2760	–	0.9	<5	–
Itu-Kit-1w	21 Sep.	<0.05	0.49 (5.3)	16	2760	–	0.9	<3	–
Itu-Rib-1w	21 Sep.	<0.05	0.15 (11)	16	2760	–	0.9	<3	–

* – the code “Kun”, “Shi” or “Itu” corresponds to the sample obtained from Kunashir, Shikotan or Iturup, respectively.

** – counting error is given in brackets in percent (%) at one sigma level. The activity concentrations in milk, inventories in soil and T_{ag} values are given on the date of milk sampling.

*** – the inventory values of ¹³⁴Cs are the mean values determined for Kunashir and Shikotan Islands and for the eastern and western sides of Iturup Island [17]; the inventory values of ¹³⁷Cs are the reference values deduced for Kunashir, Shikotan and Iturup Islands [17].

[* – код “Kun”, “Shi” или “Itu” означает, что данная проба была получена с острова Кунашир, Шикотан или Итуруп соответственно.

** – ошибка вычисления площади фотопика указана в скобках в процентах (%) на уровне одной сигмы. Удельная активность в молоке, запасы в почве и значения T_{ag} приведены на дату отбора проб молока.

*** – значения запаса ¹³⁴Cs представляют собой средние величины, определенные для островов Кунашир и Шикотан, а также для восточной и западной сторон острова Итуруп [17]; значения запаса ¹³⁷Cs являются референтными величинами, вычисленными для островов Кунашир, Шикотан и Итуруп [17].]

Table 2

Summary statistics on the contribution of Fukushima derived ¹³⁷Cs to total ¹³⁷Cs in milk and in soil and on the soil-to-milk aggregated transfer coefficient (T_{ag}) for Fukushima-derived ¹³⁷Cs and pre-Fukushima ¹³⁷Cs in milk samples obtained from private farms on the islands of Kunashir, Iturup and Shikotan in 2011 and 2012

[Таблица 2]

Сводные статистические данные о вкладе фукусимского ¹³⁷Cs в суммарное содержание ¹³⁷Cs в молоке и в почве и об агрегированном коэффициенте переноса из почвы в молоко (Tag) для фукусимского ¹³⁷Cs и дофукусимского ¹³⁷Cs в пробах молока, полученных из частных хозяйств на островах Кунашир, Итуруп и Шикотан в 2011–2012 гг.]

Parameter [Параметр]	Contribution of Fukushima ¹³⁷ Cs to total ¹³⁷ Cs (%) [Вклад фукусимского ¹³⁷ Cs в общий ¹³⁷ Cs (%)]		¹³⁷ Cs T _{ag} (m ² kg ⁻¹ , n × 10 ⁻³)	
	Milk [Молоко]	Soil [Почва]	Fukushima [Фукусимский]	Pre-Fukushima [Дофукусимский]
<i>2011, spring (n = 9) [весна 2011 г.; (n = 9)]</i>				
Median [Медиана]	85	3.3	11	0.10
Mean [Средняя]	79	3.7	12	0.14
SD [C.o.]	17	0.4	4	0.16
<i>2011, autumn (n = 5) [осень 2011 г.; (n = 5)]</i>				
Median [Медиана]	47	3.2	2.3	0.10
Mean [Средняя]	45	3.4	2.3	0.11
SD [C.o.]	7	0.4	1.9	0.05
<i>2012, autumn (n = 4) [осень 2012 г.; (n = 4)]</i>				
Median [Медиана]	33	3.8	2.7	0.23
Mean [Средняя]	35	3.8	2.8	0.21
SD [C.o.]	21	0.4	1.6	0.10

n – number of samples with quantified activity of ¹³⁴Cs.

SD – standard deviation.

[n – число проб молока, в которых было количественно определено содержание ¹³⁴Cs.

C.o. – стандартное отклонение.]

for radioactive decay (as of 15 March 2011), the activity concentrations of ^{137}Cs and ^{134}Cs in samples were positively and significantly correlated with each other ($R_{sp} = 0.85$, $P < 0.01$; $n = 18$), also indicating a substantial input of Fukushima derived ^{137}Cs to total ^{137}Cs in the milk.

In addition, the relationship between ^{134}Cs and ^{137}Cs can be presented in the graphical format using a regression analysis (Fig. 1). The scatterplot and the value of coefficient of determination (0.745) indicate a close positive association between two radionuclides in milk samples from Sakhalin Region in 2011–2012. The slope of the regression line of 0.98 ± 0.14 (a 95% confidence interval of 0.67–1.28) corresponds to the $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ activities ratio values of approximately 1.0 reported for Fukushima fallout by other authors for Japan (e.g., [7, 26]) and Sakhalin Region [15]. The intercept of $0.41 \pm 0.13 \text{ Bq kg}^{-1}$ can be interpreted as the background (pre-Fukushima) ^{137}Cs activity concentration associated with global and Chernobyl fallout.

The highest activity concentrations and values of T_{ag} for ^{134}Cs (and Fukushima-derived ^{137}Cs) were observed in samples obtained in mid-May 2011 (Table 1). The mean (median) T_{ag} values decreased in the May–October period in 2011 from $12 (11) \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ to $2.3 (2.3) \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$. The difference between two sampling occasions was statistically significant (the Mann-Whitney test, $P < 0.01$; $n_1 = 9$, $n_2 = 5$). In September 2012, the T_{ag} values remained unchanged (mean = $2.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, median = $2.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$) compared to those in September–October 2011 (the Mann-Whitney test, $P > 0.05$; $n_1 = 5$, $n_2 = 4$).

Although activity concentration of radiocaesium in cow's milk and the corresponding parameters of radiocaesium transfer from the environment to cow's milk typically decline over time [27–30], the stabilization of the T_{ag} values noted in our observations is not the only exception. For example, Mück and Gerzabek [27] identified a group of areas in Austria in

Результаты и обсуждение

Значения удельной активности (на дату отбора проб) ^{134}Cs и ^{137}Cs в пробах молока из отдельных хозяйств приведены в таблице 1. В этой же таблице представлены данные для соответствующих запасов ^{134}Cs и дофукусимского ^{137}Cs в почве. Значения вклада фукусимского ^{137}Cs в общую активность ^{137}Cs и значения T_{ag} представлены в последних четырех столбцах таблицы; сводная статистика приведена в таблице 2.

Присутствие ^{134}Cs было выявлено в 18 из 22 пробах молока. Удельная активность в отдельных пробах варьировала от 0,08 Бк/кг до 2,00 Бк/кг. Удельная активность ^{137}Cs была количественно определена для всех 22 проб: диапазон = 0,088–2,43 Бк/кг. Удельная активность суммы $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ (максимум = 4,4 Бк/кг) была значительно ниже допустимого уровня 100 Бк/кг, который в настоящее время принят в России для содержания ^{137}Cs в молоке [13]. В целом, более половины общей активности ^{137}Cs в пробах молока (среднее значение = 60%, медиана = 57%, разброс = 13–95%) имело фукусимское происхождение. После поправки на радиоактивный распад (по состоянию на 15 марта 2011 г.) активности ^{137}Cs и ^{134}Cs в пробах положительно и значимо коррелировали друг с другом ($R_{sp} = 0.85$, $P < 0.01$; $n = 18$), что также указывает на существенный вклад фукусимского ^{137}Cs в общую активность ^{137}Cs в молоке коров.

Кроме того, соотношение между ^{134}Cs и ^{137}Cs может быть продемонстрировано в графическом формате с использованием регрессионного анализа (рис. 1). Диаграмма рассеяния и величина коэффициента детерминации (0,745) свидетельствуют о тесной положительной связи между двумя радионуклидами в пробах молока, отобранных в Сахалинской области в 2011–2012 гг. Наклон линии регрессии 0.98 ± 0.14 (95% доверительный интервал = 0,67–1,28) соответствует тем

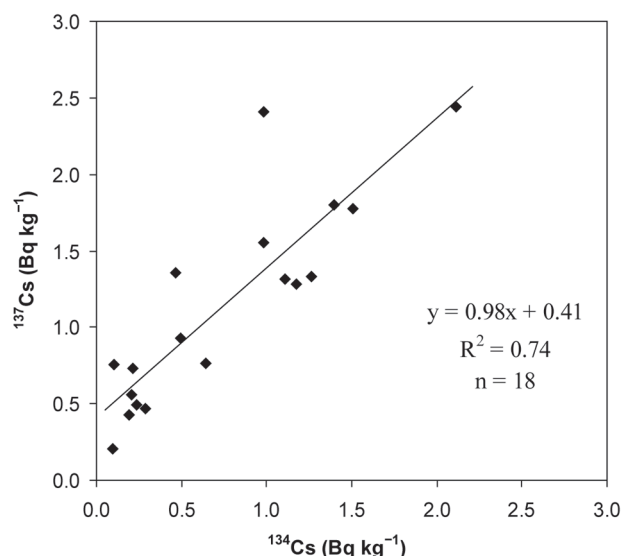


Fig. 1. Relationship between activities of ^{134}Cs and ^{137}Cs in samples of cow's milk obtained on Kuril Islands in 2011 and 2012. The activity concentrations are presented after correction for radioactive decay (as of 15 March 2011)

[**Рис. 1.** Взаимосвязь между активностями ^{134}Cs и ^{137}Cs в пробах коровьего молока, отобранных на Курильских островах в 2011 и 2012 гг. Значения удельной активности показаны после поправки на радиоактивный распад (по состоянию на 15 марта 2011 г.)]

which there was virtually no decrease in activity concentration of ^{137}Cs in cow's milk during the first two years after the Chernobyl accident.

However, our further calculation of T_{ag} values for pre-Fukushima ^{137}Cs confirmed the generic declining time-dependent trend in the radiocaesium transfer from the environment to the milk of cows in Sakhalin Region. The values of T_{ag} for "aged" pre-Fukushima ^{137}Cs were one-two orders of magnitude lower than those for "new" Fukushima-borne radiocaesium (Table 2). The major source (96%) of pre-Fukushima ^{137}Cs in Sakhalin Region is global fallout due to nuclear weapons tests in the atmosphere [14]. The fallout peaked in the middle of the 1960s [31], and approximately 45 years had passed before the new contamination occurred due to the Fukushima accident. In Fig. 2, we have plotted all deduced T_{ag} values (for Fukushima-borne and pre-Fukushima ^{137}Cs) versus time since radiocaesium deposition. Roughly, two time periods can be distinguished. During the first 2–6 month period, the T_{ag} value decreases fast with a half-time of about 55 days (0.15 y). A much slower decline of the T_{ag} with a half-time of approximately 10 y is observed in a later period. A two-period dynamic model, which included the fast and slow components, was reported by Kaduka and Shutov [32] in respect of T_{ag} values for radiocaesium in cow's milk in the European part of Russia after the Chernobyl accident. The ecological half-times of Chernobyl-derived ^{137}Cs in cow's milk were in the range of 1–2 y in the first several years after deposition, increasing up to 10–20 y in late period after the accident. It should be noted that the depuration rates were estimated for those periods when plants contamination via root uptake prevailed. In the earliest phase after the Chernobyl accident (in May–June 1986), when plants contamination was associated mainly with the aerial pathway, the ^{137}Cs concentration in milk decreased faster with a half-time of 10–30 days [32].

значениям отношения активностей $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ (примерно 1,0), которые приводят другие авторы в отношении фукусимских выпадений для Японии (например, [7, 26]) и Сахалинской области [15]. Величину свободного члена ($0,41 \pm 0,13$ Бк/кг) можно интерпретировать как фоновое (дофукусимское) значение удельной активности ^{137}Cs , связанного с глобальными и чернобыльскими выпадениями.

Самые высокие значения удельной активности и T_{ag} для ^{134}Cs (и фукусимского ^{137}Cs) были зарегистрированы в пробах молока, отобранных в середине мая 2011 г. (см. табл. 1). Средние (медианные) значения T_{ag} уменьшились в период с мая по октябрь 2011 г. с 12 (11) $\times 10^{-3}$ м²/кг до $2,3$ ($2,3$) $\times 10^{-3}$ м²/кг. Разница между двумя периодами пробоотбора была статистически значимой (тест Манна – Уитни, $P < 0,01$; $n_1 = 9$, $n_2 = 5$). В сентябре 2012 г. значения T_{ag} остались неизменными (среднее значение = $2,8 \times 10^{-3}$ м²/кг, медиана = $2,7 \times 10^{-3}$ м²/кг) по сравнению с таковыми в сентябре – октябре 2011 г. (тест Манна – Уитни, $P > 0,05$; $n_1 = 5$, $n_2 = 4$).

Хотя содержание радиоцезия в молоке и соответствующие параметры переноса радиоцезия из окружающей среды в коровье молоко обычно снижаются со временем [27–30], стабилизация значений T_{ag} , отмеченная в наших наблюдениях, не является единственным исключением. Например, Mück и Gerzabek [27] выделили группу областей в Австрии, в которых практически не было снижения содержания ^{137}Cs в коровьем молоке в течение первых двух лет после Чернобыльской аварии.

Однако наш дальнейший расчет значений T_{ag} для дофукусимского ^{137}Cs подтвердил общую тенденцию к снижению зависящей от времени интенсивности переноса радиоцезия из окружающей среды в молоко коров в Сахалинской области. Значения T_{ag} для «старого» дофукусимского ^{137}Cs были на 1–2 порядка ниже, чем

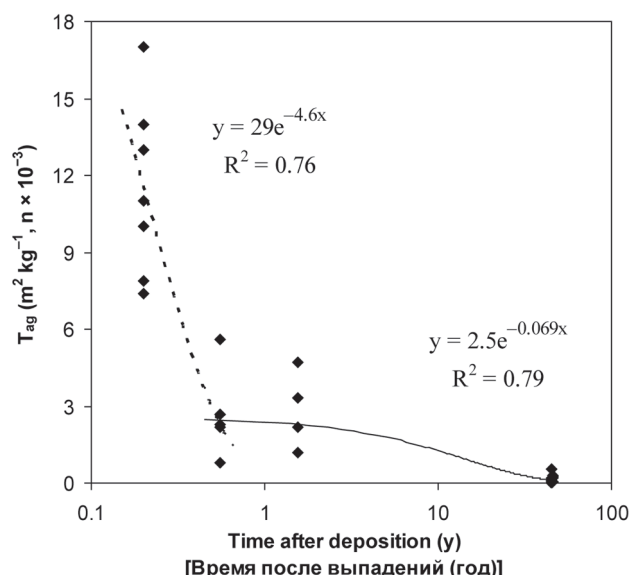


Fig. 2. Scatter-plot of T_{ag} values for ^{137}Cs in cow's milk versus time since the moment of ^{137}Cs deposition on Kuril Islands. Exponential curves are fitted to the early period data (a dashed line) and the late period data (a solid line). The first three clusters of data points (0.2 y, 0.55 y and 1.55 y) are Fukushima-derived radiocaesium and the last cluster (45 y) is pre-Fukushima (global) radiocaesium

[Рис. 2. Диаграмма рассеяния значений T_{ag} для ^{137}Cs в коровьем молоке в зависимости от времени, прошедшего с момента выпадения ^{137}Cs на Курильских островах. Экспоненциальные кривые привязаны к точкам раннего периода (пунктирная линия) и точкам позднего периода (сплошная линия). Первые три кластера точек данных (0,2 года, 0,55 года и 1,55 года) представляют собой фукусимский ^{137}Cs , а последний кластер (45 лет) – дофукусимский (глобальный) ^{137}Cs]

The range of T_{ag} for “new” radiocaesium in Sakhalin Region in May 2011 ($7.3\text{--}17 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$) is in good agreement with the data reported in other studies for early period after deposition of radiocaesium in certain Arctic areas (including the north-west of the Russian Federation) before the Fukushima accident: $2.8\text{--}20 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ [22, 33]. The T_{ag} values obtained for “aged” pre-Fukushima ^{137}Cs in our study (range = $0.023\text{--}0.55 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$) are as well in good agreement with the ones derived by other authors for selected sites in Russian Arctic (range = $0.062\text{--}0.24 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ [22]) and in Iceland (range = $0.04\text{--}1.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ [33]) in late period after the peak intensity of the ^{137}Cs global fallout due to atmospheric nuclear weapons tests.

The higher transfer of Fukushima-derived ^{137}Cs (compared to pre-Fukushima ^{137}Cs) to cow's milk reflects the difference between “new” and “aged” radiocaesium in the intensity of the radionuclide transfer from soil to grassland plants which are the major component of the cow's diet in the region of our study. Ramzaev et al. [18] determined that in GFC from grasslands in Sakhalin Region, T_{ag} values for pre-Fukushima ^{137}Cs were one–two orders of magnitude lower compared to those for Fukushima-derived radiocaesium. Using data from the study [18] we have calculated mean values of the ^{137}Cs T_{ag} for GFC on Kunashir, Shikotan and Iturup Islands. Such calculation was possible for two sampling occasions: in the autumns of 2011 and 2012. Unfortunately, a representative collection of plant samples in May 2011 was not performed. Results of the calculation for grass are provided in Table 3 together with the corresponding results for milk. In the autumns of 2011 and 2012, the T_{ag} values for Fukushima-derived radiocaesium in milk were on average 17 times larger than the ones for pre-Fukushima ^{137}Cs . A comparable difference (a factor of 14) between “new” and “aged” ^{137}Cs in the values of T_{ag} was observed for grass. The higher T_{ag} for Fukushima-derived ^{137}Cs compared to pre-Fukushima ^{137}Cs indicates that “fresh” ^{137}Cs is preferentially transferred to the cow's body and milk from the environment. This is further confirmed by a strong difference between soil and milk in the contribution of Fukushima-derived ^{137}Cs to total ^{137}Cs (Tables 1 and 2).

It should be additionally noted that there is a major difference between the vertical distributions of Fukushima derived ^{137}Cs and pre-Fukushima ^{137}Cs in grassland soils in Sakhalin Region [17]. The mean contribution of the Fukushima NPP accident to total inventory of ^{137}Cs in the top 0–1 cm layer of soil is estimated as 35%, which exceeds the average contribution of ~3–4% in the whole 20-cm soil profile by the factor of 10 [17]. The enrichment of the top-most layer of soil with “new” radiocaesium promotes a higher intake of the radionuclide into the body of a cow not only with green fodder but with the soil itself. Note that, although the radiocaesium intake via soil adhered to vegetation can be significant, the gastro-intestinal absorption of the soil-associated radionuclide is usually substantially lower than that incorporated into plants [22].

We have calculated the transfer factor (concentration ratio, CR) from GFC to cow's milk for radiocaesium based on the mean normalized (to the deposition density) activity concentrations of radiocaesium in the milk and in the grass (Bq kg^{-1} per Bq m^{-2}), i.e., the T_{ag} values; results are provided in Table 3. The values of CR for fresh weight of plants and milk are given in column 4 of the table, while column 5 contains

значения для «свежего» фукусимского радиоцезия (см. табл. 2). Основным источником (96%) дофукусимского ^{137}Cs в Сахалинской области являются глобальные выпадения после испытаний ядерного оружия в атмосфере [14]. Эти события достигли пика в середине 1960-х гг. [31], и прошло примерно 45 лет до того момента, когда произошли новые выпадения после аварии на АЭС «Фукусима-1». На рисунке 2 представлены все вычисленные значения T_{ag} (для фукусимского и дофукусимского ^{137}Cs) в зависимости от времени, прошедшего с момента выпадения радиоцезия. Можно выделить два периода изменений значений T_{ag} с течением времени после выпадений. В течение первых 2–6 месяцев (начальный период) значение T_{ag} быстро снижается со скоростью полууменьшения около 55 дней (0,15 года). В дальнейшем (отдаленный период) наблюдается гораздо более медленное снижение T_{ag} с периодом полууменьшения около 10 лет. Двухкомпонентная динамика, которая включала быстрый и медленный периоды, была представлена М.В. Кадука и В.Н. Шутовым [32] в отношении значений T_{ag} для радиоцезия в коровьем молоке в европейской части России после аварии на Чернобыльской АЭС. Значения экологического периода полууменьшения активности чернобыльского ^{137}Cs в коровьем молоке в первые несколько лет после выпадений находились в пределах 1–2 лет. В дальнейшем значение данного периода полууменьшения стало составлять 10–20 лет. Следует отметить, что скорость очищения была оценена в те периоды, когда преобладало загрязнение растений в результате корневого поглощения. На самой ранней стадии после Чернобыльской аварии (в мае – июне 1986 г.), когда загрязнение растений происходило главным образом воздушным путем, концентрация ^{137}Cs в молоке снижалась быстрее с периодом полууменьшения 10–30 дней [32].

Диапазон значений T_{ag} для «нового» радиоцезия в Сахалинской области в мае 2011 г. ($7,3\text{--}17 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$) находится в хорошем согласии с данными, полученными до аварии на АЭС «Фукусима-1» в других исследованиях для раннего периода после выпадений радиоцезия в некоторых районах Арктики (включая северо-запад Российской Федерации): $2,8\text{--}20 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ [22, 33]. Значения T_{ag} , вычисленные для «старого» дофукусимского ^{137}Cs в нашем исследовании (диапазон $0,023\text{--}0,55 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$), также хорошо соответствуют значениям, полученным другими авторами для отдельных районов в российской Арктике (диапазон $0,062\text{--}0,24 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ [22]) и в Исландии (диапазон $0,04\text{--}1,4 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ [33]) в отдаленный период после пика интенсивности глобальных выпадений ^{137}Cs в связи с испытаниями ядерного оружия в атмосфере.

Более высокие значения T_{ag} для фукусимского ^{137}Cs (по сравнению с T_{ag} для дофукусимского ^{137}Cs) в молоке отражают разницу между «новым» и «старым» радиоцезием в интенсивности перехода радионуклидов из почвы в луговые растения, которые являются основным компонентом корма коров в Сахалинской области. Ramzaev et al. [18] определили, что в СТС на лугах Сахалинской области значения T_{ag} дофукусимского ^{137}Cs были на два порядка ниже по сравнению со значениями T_{ag} фукусимского ^{137}Cs . Используя данные из работы [18], мы вычислили средние значения T_{ag} ^{137}Cs для СТС на островах Кунашир, Шикотан и Итуруп.

results of the calculation for fresh weight of milk and dry weight of plants. Wet matter was converted to dry matter assuming a water content of 75% in fresh grasses [22]. For fresh weight of plants, the CR values varied from 0.11 to 0.43. The expected scatter of CR values for individual cows and sampling occasions can be considerably wider due to the high coefficients of variation (up to 170%) for the T_{ag} values both in milk and in vegetation (Table 3). The averaged CR values correspond to a mean value of 0.30 that can be deduced using the normalized activity concentrations of ^{137}Cs in grasses (f.w.) and in cow's milk (f.w.) registered on Russian territory in the 1960s due to global fallout from atmospheric nuclear weapons tests [9]. The range of the CR values derived in our study is comparable with the range of 0.064–0.189 reported for the transfer of ^{137}Cs from pasture grasses (f.w.) to cow's milk (f.w.) in Belarus after the Chernobyl accident

Такой расчет был возможен для двух выборок: осенью 2011 и 2012 гг. К сожалению, репрезентативный сбор растений в мае 2011 г. не проводился. Результаты расчета для СТС приведены в таблице 3 вместе с соответствующими результатами для молока. В молоке значения T_{ag} для фукусимского радиоцезия были осенью 2011 и 2012 гг. в среднем в 17 раз больше, чем те, которые были получены для дофукусимского ^{137}Cs . Сопоставимая разница (14 раз) между значениями T_{ag} для «нового» и «старого» ^{137}Cs наблюдалась и в траве. Более высокие значения T_{ag} для фукусимского ^{137}Cs по сравнению с дофукусимским ^{137}Cs показывают, что «свежий» ^{137}Cs предпочтительно переходит в организм коровы и молоко из окружающей среды. Данный факт подтверждается существенной разницей между вкладами фукусимского ^{137}Cs в общую активность ^{137}Cs в пробах почвы и пробах молока (см. табл. 1 и 2).

Table 3
Values of the aggregated transfer coefficient (T_{ag}) for Fukushima-derived and pre-Fukushima ^{137}Cs in cow's milk and in mixed grass-forb crop, and the ^{137}Cs milk/grass concentration ratio (CR) values for samples collected on the islands of Kunashir, Iturup and Shikotan in 2011 and 2012

[Таблица 3]

Значения агрегированного коэффициента переноса (T_{ag}) для фукусимского ^{137}Cs и дофукусимского ^{137}Cs в коровьем молоке и в смешанных травяных сообществах, а также значения фактора накопления (ФН) ^{137}Cs в паре молоко/трава для проб, отобранных на островах Кунашир, Итуруп и Шикотан в 2011–2012 гг.]

Parameter [Параметр]	$^{137}\text{Cs } T_{ag} \text{ (m}^2 \text{ kg}^{-1}, n \times 10^{-3})$		$^{137}\text{Cs CR [ФН]}$	
	Milk, f.w. [Молоко, св.в.]	Grass, f.w.* [Трава, св.в.*]	f.w.** [св.в.**]	d.w.*** [сух.в.***]
<i>2011, autumn; Fukushima-derived ^{137}Cs [осень 2011 г.; фукусимский ^{137}Cs]</i>				
Mean [Средняя]	2.3	20	0.12	0.029
SD [С.о.]	1.9 (83)	26 (130)	–	–
n	5	12	–	–
<i>2011, autumn; pre-Fukushima ^{137}Cs [осень 2011 г.; дофукусимский ^{137}Cs]</i>				
Mean [Средняя]	0.11	1.00	0.11	0.028
SD [С.о.]	0.05 (45)	1.68 (168)	–	–
n	5	12	–	–
<i>2012, autumn; Fukushima-derived ^{137}Cs [осень 2012 г.; фукусимский ^{137}Cs]</i>				
Mean [Средняя]	2.8	6.5	0.43	0.11
SD [С.о.]	1.6 (57)	3.9 (60)	–	–
n	4	8	–	–
<i>2012, autumn; pre-Fukushima ^{137}Cs [осень 2012 г.; дофукусимский ^{137}Cs]</i>				
Mean [Средняя]	0.21	0.90	0.23	0.058
SD [С.о.]	0.10 (48)	0.95 (106)	–	–
n	4	8	–	–

SD – standard deviation.

n – number of samples with quantified activity of ^{134}Cs . Values of coefficient of variation (percent) are given in brackets.

* – the $^{137}\text{Cs } T_{ag}$ values in the grass-forb crop have been calculated based on results of measurements and estimations presented in [14, 17, 18].

** – for fresh weight of the milk and grass samples.

*** – for fresh weight (f.w.) of the milk samples and dry weight (d.w.) of the grass samples; the dry weight conversion has been performed assuming 25% dry matter in grass [22].

[С.о. – стандартное отклонение. Значения коэффициента вариации (в процентах) приведены в скобках.

n – число проб молока, в которых было количественно определено содержание ^{134}Cs .

* – значения T_{ag} ^{137}Cs в траве были рассчитаны на основе результатов измерений и оценок, представленных в [14, 17, 18].

** – на свежий вес (св.в.) проб молока и травы.

*** – на свежий вес (св.в.) проб молока и сухой вес (сух.в.) проб травы; пересчет на сухой вес был выполнен, предполагая 25-процентное содержание сухого вещества в траве [22].]

[34]. The range of variation of the ^{137}Cs CR for (fresh milk)/(dry grasses) of 0.028–0.11 (Table 3) is within the range of 0.0036–0.9 (arithmetic mean = 0.11; $n = 289$) reported by Howard et al. [35] in the recent review of published values of the CR for cow's milk (fresh weight) and the feedstuff (dry weight) ingested by the animals.

Besides grasses and forbs from grasslands (for description of the plants species in Sakhalin Region, see e.g., [14, 36]), other natural fodder components such as bamboo, marine macro-algae and edible wild fungi can be included in the cow's ration in the southern Kuril. Inclusion of bamboo in the cow's diet can hardly change the radiocaesium content in the milk because the activity concentrations of Fukushima derived ^{137}Cs and pre-Fukushima ^{137}Cs in GFC are comparable with those in bamboo [14, 18]. A partial substitution of pasture grasses by marine macro-algae (e.g., *Laminaria* sp.) would lead to a decrease of the content of Fukushima derived ^{137}Cs and pre-Fukushima ^{137}Cs in the milk due to considerably lower activity concentrations of $^{137}\text{Cs}+^{134}\text{Cs}$ (at maximum of 0.7 Bq kg^{-1} , f.w. [21]) in edible macro-algae compared to GFC (at maximum of 23 Bq kg^{-1} , f.w. [14]). On the opposite, a consumption of wild mushrooms by cows could lead to an increase of radiocaesium content in the milk due to the higher activity concentrations of total radiocaesium in edible fungi (maximum = 110 Bq kg^{-1} , f.w. [8]) than in GFC. After the Chernobyl accident, Karlén et al. [37] reported a slower rate for ^{137}Cs decrease in milk for the farms in Sweden where pastures were located in semi-natural environment, including forest, and cows had access to wild plants and mushrooms. During our surveys of Kuril Islands, we observed that cows had free access to any of the above considered nutritional sources but a comprehensive evaluation of their actual contribution to the cow's ration is beyond the scope of our study.

The calculated values of T_{ag} and ecological half-time for Fukushima-borne radiocaesium in cow's milk in Sakhalin Region allow us to make a rough estimate of the effective dose from ingestion of the milk for adult residents of the southern Kuril in the first year (15 March 2011–14 March 2012) after the accident. The following assumptions have been applied:

- the initial deposition density (as of 15 March 2011) was 100 Bq m^{-2} for ^{137}Cs and 100 Bq m^{-2} for ^{134}Cs , which corresponded to the averaged inventories of the radionuclides in soil on the islands of Kunashir and Shikotan and on the eastern side of Iturup Island [17];

- in the period No. 1 (15 March – 14 May 2011), the T_{ag} value linearly increased from 0 to $12 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$;

- in the period No. 2 (15 May – 30 September 2011), the T_{ag} value exponentially decreased with a half-time of 0.15 y (see corresponding equation in Fig. 2);

- in the period No. 3 (01 October 2011 – 14 March 2012), the T_{ag} value exponentially decreased with a half-time of 10 y (see corresponding equation in Fig. 2);

- an annual consumption of locally produced milk for critical group of the population was 200 kg per a person [19].

The daily intake of caesium radionuclide, $I_{\text{Cs}-t}$ (Bq), was calculated using the equation:

$$I_{\text{Cs}-t} = A_0 \times \exp\left(-\frac{0.693 \times t}{T_{1/2}}\right) \times T_{\text{ag}-t} \times m, \quad (1)$$

where A_0 is the initial deposition density of radionuclide (100 Bq m^{-2}); t is time elapsed after deposition (day); $T_{1/2}$ is the half-life of radionuclide (754 d for ^{134}Cs and 10960 d for ^{137}Cs);

Следует дополнительно отметить, что существуют принципиальные различия между вертикальными распределениями фукусимского и дофукусимского ^{137}Cs в почвах на лугах Сахалинской области [17]. В среднем вклад аварии на АЭС «Фукусима-1» в общий запас ^{137}Cs в верхнем слое почвы толщиной 0–1 см оценивался величиной 35%, что в 10 раз превышает средний вклад фукусимского ^{137}Cs (~3–4%) во всем 20-сантиметровом почвенном профиле [17]. Обогащение самого верхнего слоя почвы «новым» радиоцезием способствует поступлению радионуклида в организм коровы не только с зеленым кормом, но и с самой почвой. Отметим, что, хотя поступление радиоцезия с почвой, прилипшей к растительности, может быть значительным, желудочно-кишечная абсорбция связанного с почвой радионуклида обычно значительно ниже, чем того радионуклида, который накопился внутри растения [22].

Мы рассчитали фактор накопления (ФН) радиоцезия для пары (коровье молоко)/(СТС) на основе средних нормированных (к плотности выпадений) концентраций радиоцезия в молоке и в растениях (Бк/кг на Бк/м^2), т.е. значений T_{ag} . Результаты расчетов ФН приведены в таблице 3. Значения ФН на свежий вес молока и растений даны в колонке 4 таблицы 3, а в колонке 5 даны результаты расчета на свежий вес молока и сухой вес растений. Свежий вес переводили в сухой вес, предполагая 75% содержание воды в свежей траве [22]. Усредненные значения ФН для сырого веса растений варьировали от 0,11 до 0,43. Ожидаемый разброс значений ФН для отдельных коров и случаев пробоотбора может быть значительно более широким из-за больших коэффициентов вариации (до 170%) значений T_{ag} как для молока, так и для растительности (см. табл. 3). Усредненные значения ФН хорошо согласуются со средним значением 0,30, которое может быть вычислено с использованием нормированных величин удельной активности ^{137}Cs в травах и в коровьем молоке, зарегистрированных на территории России в отношении глобальных выпадений в 1960-х гг. [9]. Размах значений ФН, полученных в нашем исследовании, также сопоставим с диапазоном 0,064–0,189, о котором сообщалось по результатам изучения переноса ^{137}Cs из пастбищных трав в коровье молоко в Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС [34]. Диапазон изменений соотношения концентраций ^{137}Cs для пары (свежее молоко)/(сухая трава), равный 0,028–0,11 (см. табл. 3), находится внутри диапазона колебаний 0,0036–0,9 (среднее арифметическое = 0,11, $n = 289$), который приводят Howard et al. [35] в недавнем обзоре опубликованных значений ФН для коровьего молока (на свежий вес) и кормов (на сухой вес), потребляемых животными.

Помимо травяной луговой растительности (перечень некоторых видов растений для лугов Сахалинской области представлен в [14, 36]), другие природные корма, такие как бамбук, морские макроводоросли и съедобные дикорастущие грибы, могут входить в рацион питания коровы на Южных Курильских островах. Включение бамбука в диету коровы вряд ли может изменить содержание радиоцезия в молоке, потому что значения удельной активности фукусимского и дофукусимского ^{137}Cs в СТС сопоставимы с таковыми в бамбуке [14, 18]. Частичная замена пастбищных трав морскими водорослями (например, *Laminaria* sp.) при-

T_{ag-t} is the aggregated transfer coefficient for Fukushima-derived radiocaesium as of the day t ($m^2 \text{ kg}^{-1}$); m is the mass of milk consumed per day (0.55 kg).

The total effective dose, D (Sv), due to the intake of Fukushima-derived ^{137}Cs and ^{134}Cs during the first year after the accident was calculated using the following equation:

$$D = \left(\sum_{t=1}^{t=365} I_{t-Cs137} \right) \times d_{Cs137} + \left(\sum_{t=1}^{t=365} I_{t-Cs134} \right) \times d_{Cs134}, \quad (2)$$

where $I_{t-Cs137}$ is the intake of ^{137}Cs during the day t (Bq); $I_{t-Cs134}$ is the intake of ^{134}Cs during the day t (Bq); d_{Cs137} and d_{Cs134} are the effective dose coefficients per unit intake (0.019 μSv per Bq for ^{134}Cs and 0.013 μSv per Bq for ^{137}Cs [38]).

The calculated effective dose for adults in the first post-accidental year of 0.0027 mSv is a negligible value compared to the permissible level of 1 mSv per year due to technogenic sources of ionizing radiation [39]. Further, the dose from the Fukushima-derived radiocaesium associated with milk consumption is lower by a factor of about 60 compared to the average worldwide effective internal dose (0.17 mSv per year) from the natural radionuclide ^{40}K [31].

It is interesting to estimate the impact of the environmental contamination by ^{134}Cs and ^{137}Cs on the cow's milk exposure pathway in Kuril Islands in the case of a hypothetical accidental release of the radionuclides into the atmosphere in the future. In particular, it is important to predict the minimum level of the initial ^{137}Cs deposition density at which the radiocaesium ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$) content in milk can reach a permissible level of 100 Bq kg^{-1} . The conservative value of T_{ag} of $20 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ has been applied. For the same source term (the $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ activities ratio = 1.0) and the same conditions of environmental contamination (the end of winter – early spring) as those were in the case of the Fukushima accident, the critical value of soil contamination by ^{137}Cs in the initial period is estimated as 2.5 kBq m^{-2} . For the Chernobyl-similar isotopic ratio (the $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ activities ratio = 0.5), the critical value is 3.3 kBq m^{-2} . Even when ^{137}Cs is the only caesium radionuclide in fallout, the estimated critical value of 5.0 kBq m^{-2} will be far below the threshold value of the criterion of referring the territory to the radioactive contamination zone (37 kBq m^{-2}) which is present in the Russian legislation after the Chernobyl accident [40]. These estimates indicate that the cow's milk production on Kuril Islands is vulnerable to radiocaesium contamination of terrestrial ecosystems. The radiological monitoring of fresh milk and milk products must be prioritized in the initial stage of a large-scale radiation accident.

Conclusions

The Fukushima accident had a negligible impact on radiocaesium contamination of cow's milk in the southern Kuril Islands: Shikotan, Kunashir and Iturup. In 2011–2012, the total activity concentrations of $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ in milk were well below the permissible level of 100 Bq kg^{-1} .

In the autumns of 2011 and 2012, the calculated values of the soil-to-milk aggregated transfer coefficient, T_{ag} , for Fukushima-derived radiocaesium were on average 17 times higher than the ones for pre-Fukushima ^{137}Cs . The higher transfer of Fukushima-derived ^{137}Cs (compared to pre-Fukushima ^{137}Cs) to milk reflected the difference between

вела бы к уменьшению содержания радиоцезия в молоке, поскольку суммарная удельная активность $^{137}\text{Cs}+^{134}\text{Cs}$ (максимум 0,7 Бк/кг на св.в. [21]) в съедобных макроводорослях была значительно ниже, чем в СТС (максимум 23 Бк/кг на св.в. [14]). Напротив, потребление грибов коровами могло бы привести к увеличению радиоактивного загрязнения молока из-за более высокой удельной активности радиоцезия в съедобных грибах (максимум = 110 Бк/кг на св.в. [8]), чем в СТС. После аварии на Чернобыльской АЭС Karlén et al. [37] сообщали о замедлении скорости снижения содержания ^{137}Cs в молоке на тех фермах в Швеции, где пастбища располагались в полуестественной среде обитания, включая лес, и у коров был доступ к дикорастущим растениям и грибам. Во время проведения наших обследований на Курильских островах мы отметили, что у коров имелся свободный доступ к любому из вышеперечисленных источников питания, но всесторонняя оценка их фактического вклада в рацион коровы выходит за рамки данного исследования.

Вычисленные значения T_{ag} и экологических периодов полураспада для фукусимского радиоцезия в коровьем молоке в Сахалинской области позволяют нам сделать грубую оценку эффективной дозы для взрослых жителей Южных Курил от потребления молока в первый год после аварии (15 марта 2011 г. – 14 марта 2012 г.). Были использованы следующие допущения:

- начальная плотность загрязнения почвы (по состоянию на 15 марта 2011 г.) составляла 100 Бк/ m^2 для ^{137}Cs и 100 Бк/ m^2 для ^{134}Cs , что соответствовало усредненным запасам радионуклидов в почве на островах Кунашир и Шикотан и на восточной стороне острова Итуруп [17];
- в период № 1 (15 марта – 14 мая 2011 г.) значение T_{ag} линейно увеличивалось с 0 до $12 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kg}$;
- в период № 2 (15 мая – 30 сентября 2011 г.) значение T_{ag} экспоненциально снижалось с периодом полу-уменьшения 0,15 года (см. соответствующее уравнение на рис. 2);
- в период № 3 (01 октября 2011 г. – 14 марта 2012 г.) значение T_{ag} экспоненциально снижалось с периодом полууменьшения 10 лет (см. соответствующее уравнение на рис. 2);
- потребление местного молока представителями критической группы населения в течение года равнялось 200 кг на человека [19].

Ежедневное поступление радионуклида цезия, I_{Cs-t} (Бк) рассчитывали с использованием уравнения:

$$I_{Cs-t} = A_0 \times \exp\left(-\frac{0.693 \times t}{T_{1/2}}\right) \times T_{ag-t} \times m, \quad (1)$$

где A_0 – начальная плотность выпадений радионуклида (100 Бк/ m^2); t – время, прошедшее после выпадений (день); $T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида (754 дня для ^{134}Cs и 10960 дней для ^{137}Cs); T_{ag-t} – агрегированный коэффициент переноса для фукусимского радиоцезия на день t (m^2/kg); m – масса молока, потребляемого в день (0,55 кг).

Общая эффективная доза, D (Зв), обусловленная поступлением фукусимских ^{137}Cs и ^{134}Cs в течение первого года после аварии, была рассчитана с использованием следующего уравнения:

“new” and “aged” radiocaesium in the intensity of the radionuclides transfer from soil to grassland plants which were the major component of the cow’s diet in the region of our study.

The values of the soil-to-milk T_{ag} and the (cow’s milk)/(meadow vegetation) concentration ratio for Fukushima and pre-Fukushima radiocaesium in Sakhalin Region were generally comparable with those obtained earlier by other authors for global and Chernobyl fallout of radiocaesium in other regions of the world.

The effective dose from intake of radiocaesium with locally produced cow’s milk for critical group of adults on the southern Kuril Islands in the first year after the accident was estimated as 0.0027 mSv. It was lower by a factor of 60 compared to the representative worldwide average of annual effective internal dose (0.17 mSv) from the natural radionuclide ^{40}K .

For the southern Kuril Islands, the minimum level of the initial ^{137}Cs area deposition density, at which the radiocaesium content in milk might exceed the permissible level of 100 Bq kg⁻¹, is estimated as 5 kBq m⁻². The study indicates that the cow milk production on Kuril Islands is very vulnerable to radiocaesium contamination of terrestrial ecosystems.

Acknowledgments

The authors want to thank the farmers participated in the study. The authors are also grateful to T.V. Romanova, L.Yu. Tkalenko, G.N. Romadanova and M.V. Puzanov (Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being on Sakhalin Region) for help with collection of milk samples. The authors especially want to thank the staff at the FHO “Center of Hygiene and Epidemiology in Sakhalin Region” for help with the samples pre-treatment.

$$D = \left(\sum_{t=1}^{t=365} I_{t-\text{Cs}137} \right) \times d_{\text{Cs}137} + \left(\sum_{t=1}^{t=365} I_{t-\text{Cs}134} \right) \times d_{\text{Cs}134}, \quad (2)$$

где $I_{t-\text{Cs}137}$ – поступление ^{137}Cs в течение дня t (Бк); $I_{t-\text{Cs}134}$ – поступление ^{134}Cs в течение дня t (Бк); $d_{\text{Cs}137}$ и $d_{\text{Cs}134}$ – дозовые коэффициенты на единицу поступления (0,019 мкЗв на 1 Бк для ^{134}Cs и 0,013 мкЗв на 1 Бк для ^{137}Cs [38]).

Вычисленная величина (0,0027 мЗв) эффективной дозы для взрослых в первый послеаварийный год является незначительной по сравнению с допустимым уровнем облучения (1 мЗв) в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения [39]. Кроме того, величина дозы облучения от фукусимского радиоцезия, поступившего при потреблении коровьего молока, примерно в 60 раз ниже, чем репрезентативное среднемировое значение эффективной дозы внутреннего облучения (0,17 мЗв в год) от естественного радионуклида ^{40}K [31].

Интересно оценить воздействие загрязнения окружающей среды ^{134}Cs и ^{137}Cs на молочную цепочку на Курильских островах в случае гипотетического аварийного выброса радионуклидов в атмосферу в будущем. В частности, практически важно предсказать то минимальное значение начальной плотности выпадений ^{137}Cs , при котором радиоактивное загрязнение ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) молока может достигать допустимого уровня 100 Бк/кг. В расчете мы использовали консервативное значение T_{ag} , равное 20×10^{-3} м²/кг. Для того же исходного соотношения активностей $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs} = 1,0$, а также для тех же условий загрязнения окружающей среды (конец зимы – начало весны), как это было в случае аварии на АЭС «Фукусима-1», критическое значение загрязнения почвы ^{137}Cs в начальный период аварии оценивается величиной 2,5 кБк/м². Для черновильского соотношения активностей $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs} = 0,5$, критическое значение будет равно 3,3 кБк/м². Даже в том случае, когда ^{137}Cs является единственным радиоизотопом цезия в выпадениях, оценка критической величины, равная 5,0 кБк/м², будет намного ниже порогового значения критерия отнесения территории к зоне радиоактивного загрязнения (37 кБк/м²), который присутствует в российском законодательстве после аварии на Чернобыльской АЭС [40]. Эти оценки показывают, что производство коровьего молока на Курильских островах уязвимо для радиоактивного загрязнения наземных экосистем, и радиационно-гигиенический мониторинг свежего молока и молочных продуктов должен быть приоритетным на начальной стадии широкомасштабной радиационной аварии.

Заключение

Авария на АЭС «Фукусима-1» оказала пренебрежимо малое влияние на радиоактивное загрязнение коровьего молока на Южных Курильских островах Шикотан, Кунашир и Итуруп. В 2011–2012 гг. общая удельная активность радионуклидов ^{137}Cs и ^{134}Cs в молоке была значительно ниже допустимого уровня 100 Бк/кг.

Расчетные значения агрегированного коэффициента переноса (T_{ag}) из почвы в молоко для фукусимского ^{137}Cs

были осенью 2011 и 2012 гг. в среднем в 17 раз больше, чем таковые для дофукусимского ^{137}Cs . Более высокий коэффициент переноса фукусимского ^{137}Cs (по сравнению с дофукусимским ^{137}Cs) из окружающей среды в коровье молоко отражает разницу между «новым» и «старым» радиоцезием в отношении интенсивности переноса радионуклидов из почвы в луговые растения, которые являются основным компонентом рациона коров в обследованном регионе.

Значения агрегированного коэффициента переноса (T_{ag}) в паре «почва–молоко» и фактора накопления (ФН) в паре «молоко – луговая растительность» для фукусимского и дофукусимского радиоцезия в Сахалинской области в целом соответствуют значениям, полученным ранее другими авторами в отношении чернобыльских и глобальных выпадений радиоцезия в других регионах мира.

Эффективная доза внутреннего облучения от поступления радиоцезия с местным молоком для критической группы взрослых жителей Южных Курил в первый год после аварии оценивается величиной 0,0027 мЗв. Это примерно в 60 раз ниже, чем среднемировая эффективная доза внутреннего облучения взрослого человека (0,17 мЗв в год) от естественного радионуклида ^{40}K .

Для Южных Курильских островов минимальный уровень начальной плотности выпадений ^{137}Cs , при котором радиоактивное загрязнение молока может превысить допустимый уровень 100 Бк/кг, оценивается величиной 5 кБк/м². Данное исследование показывает, что производство коровьего молока на Курильских островах весьма уязвимо для радиоактивного загрязнения наземных экосистем.

Авторы выражают благодарность фермерам, участвовавшим в исследовании. Авторы также благодарны Т.В. Романовой, Л.Ю. Ткаленко, Г.Н. Ромадановой и М.В. Пузанову (Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Сахалинской области) за помощь в получении проб молока. Особая благодарность сотрудникам ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Сахалинской области» за помощь в предварительной обработке проб.

References (Литература)

1. Steinhäuser, G., Brandl, A., Johnson, T.E. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Sci. Tot. Environ.*, 2014, Vol. 470–471, pp. 800–817.
2. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 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, 2014.
3. IAEA – International Atomic Energy Agency. The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 4/5. Radiological Consequences. – IAEA, Vienna, 2015.
4. Bulgakov, V.G., Vakulovsky, S.M., Kim, V.M., Polyanskaya, O.N., Uvarov, A.D., Yahryushin, V.N. Man-made radionuclides in the near-the-ground atmospheric layer due to the Fukushima accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2011, Vol. 4, No. 4, pp. 26–31. Russian (Булгаков, В.Г., Вакуловский, С.М., Ким, В.М., Полянская, О.Н., Уваров, А.Д., Яхрюшин, В.Н. Техногенные радионуклиды

в приземном слое атмосферы вследствие аварии на АЭС «Фукусима». *Радиационная гигиена*, 2011, Том 4, № 4, С. 26–31).

5. Onischenko, G.G., Romanovich, I.K., Barkovsky, A.N., Bruk, G.Ya., Gorsky, A.A., Stepanov, V.S. Radiation situation in the Far Eastern regions of the Russian Federation on the basis of spring and summer surveys in 2011. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2011, Vol. 4, No. 3, pp. 7–13. Russian (Онищенко, Г.Г., Романович, И.К., Барковский, А.Н., Брук, Г.Я., Горский, А.А., Степанов, В.С. Радиационная обстановка в Дальневосточных субъектах Российской Федерации после аварии на АЭС «Фукусима-1» по данным весенне-летних обследований 2011 года. *Радиационная гигиена*, 2011, Том 4, № 3, С. 7–13).
6. Ramzaev, V., Nikitin, A., Sevastyanov, A., Artemiev, G., Bruk, G., Ivanov, S. Shipboard determination of radiocesium in sea-water after the Fukushima accident: results from the 2011–2012 Russian expeditions to the Sea of Japan and western North Pacific Ocean. *J. Environ. Radioact.*, 2014, Vol. 135, pp. 13–24.
7. 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. 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*, 2011, Vol. 4, No. 2, pp. 13–22. Russian (Онищенко, Г.Г., Романович, И.К., Барковский, А.Н., Брук, Г.Я., Голиков, В.Ю., Горский, А.А., Кадука, М.В., Константинов, Ю.О., Мишин, А.С., Рамзаев, В.П., Репин, В.С., Шутлов, В.Н., Громов, А.В., Гончарова, Ю.Н., Яковлев, В.А. Авария на АЭС «Фукусима-1»: первые итоги аварийного реагирования. Сообщение 2: действия органов Роспотребнадзора по радиационной защите населения Российской Федерации на ранней стадии аварии. *Радиационная гигиена*, 2011, Том 4, № 2, С. 13–22).
8. Romanovich, I.K., Balonov, M.I., Barkovsky, A.N., Nikitin, A.I. The Accident at the «Fukushima-1» NPP: Prophylactic Countermeasures for Health Safety of the Population of the Russian Federation / Ed.: Acad. RAMS G.G. Onischenko. – RIRH after Professor P.V. Ramzaev, St.-Petersburg, 2012. Russian (Романович, И.К., Балонов, М.И., Барковский, А.Н., Никитин, А.И. Авария на АЭС «Фукусима-1»: Организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья населения Российской Федерации / под ред. акад. РАМН Г.Г. Онищенко. – НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, 2012).
9. Ramzaev, P.V., Nevstruyeva, M.A., Ilyin, L.A., Prokofyev, O.N., Popov, D.K., Shvydko, N.S., Shapiro, E.L., Perova, A.A., Shamov, V.P. Studies of global fallout on Russian territory. *Atomnaya Energiya*, 1969, Vol. 26, No. 1, pp. 62–64. Russian (Рамзаев, П.В., Невструева, М.А., Ильин, Л.А., Прокофьев, О.Н., Попов, Д.К., Швыдко, Н.С., Шапиро, Е.Л., Перова, А.А., Шамов, В.П. Результаты исследований глобальных выпадений на территории РСФСР. *Атомная энергия*, 1969, Том 26, № 1, С. 62–64).
10. Travnikova, I.G., Bruk, G.Ya., Shutov, V.N., Bazyukin, A.B. Contribution of different foodstuffs to the internal exposure of the rural inhabitants of the Bryansk region in Russia after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2013, Vol. 6, No. 2, pp. 11–20. Russian (Травникова, И.Г., Брук, Г.Я., Шутлов, В.Н., Базюкин, А.В. Пути формирования доз внутреннего облучения сельских жителей Брянской области после аварии на ЧАЭС (Часть первая). *Радиационная гигиена*, 2013, Том 6, № 2, С. 11–20).
11. Bratilova, A.A., Bruk, G.Ya. Influence of the consumption of different foodstuffs on the internal exposure dose formation in the adult population of the Russian Federation after the accident

- at the Chernobyl NPP. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 2, pp. 53–59. Russian (Братилова, А.А., Брук, Г.Я. Влияние потребления различных пищевых продуктов на формирование доз внутреннего облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС. Радиационная гигиена, 2018, Том 11, № 2, С. 53–59).
12. Romanovich, I.K., Gromov, A.V., Goncharova, Yu.N. Preliminary analysis of the primary survey data of the radiation situation in the South-Eastern Sakhalin region after the Fukushima NPP accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2011, Vol. 4, No. 3, pp. 36–42. Russian (Романович, И.К., Громов, А.В., Гончарова, Ю.Н. Предварительный анализ данных первичного обследования радиационной обстановки в юго-восточных районах Сахалинской области после аварии на АЭС «Фукусима-1». Радиационная гигиена, 2011, Том 4, № 3, С. 36–42).
 13. Hygienic Requirements for the Safety and Nutritional Value of Food: Sanitary Rules and Norms (SanPin 2.3.2.1078-01). – FSUE «InterSEN», Moscow, 2002. Russian (Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарные правила и нормы (СанПин 2.3.2.1078-01). – ФГУП «ИнтерСЭН», Москва, 2002).
 14. Ramzaev, V., Barkovsky, A., Goncharova, Yu., Gromov, A., Kaduka, M., Romanovich, I. 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.*, 2013, Vol. 118, pp. 128–142.
 15. Ramzaev, V., Barkovsky, A., Gromov, A., Ivanov, S., Kaduka, M. Epiphytic fruticose lichens as biomonitors for retrospective evaluation of the $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ratio in Fukushima fallout. *J. Environ. Radioact.*, 2014, Vol. 138, pp. 177–185.
 16. Ramzaev, V.P., Barkovsky, A.N., Gromov, A.V., Ivanov, S.A., Kaduka, M.V. 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*, 2016, Vol. 9, No. 3, pp. 14–27.
 17. 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.
 18. Ramzaev, V.P., Barkovsky, A.N., Gromov, A.V., Ivanov, S.A., Kaduka, M.V. Fukushima fallout in Sakhalin Region, Russia, part 2: ^{137}Cs and ^{134}Cs in grassland vegetation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 2, pp. 7–19.
 19. Kaduka, M.V., Basalaeva, L.N., Bekyasheva, T.A., Ivanov, S.A., Salazkina, N.V., Stupina, V.V., Kaduka, A.N. Peculiarities of Kuril Islands population food ration influencing on the internal dose forming. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 2, pp. 45–52. Russian (Кадука, М.В., Басалаева, Л.Н., Бекяшева, Т.А., Иванов, С.А., Салазкина, Н.В., Ступина, В.В., Кадука, А.Н. Особенности рациона питания населения Курильских островов, влияющие на формирование дозы внутреннего облучения. Радиационная гигиена, 2018, Том 11, № 2, С. 45–52).
 20. Methodical Recommendations MR 2.6.1.0094–14. Radiochemical Determination of Caesium-137 and Strontium-90 Activity Concentration in the Samples of Foodstuffs, Soil, other Environmental Objects and Bioassays. – Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор, Moscow, 2014. Russian (Методические рекомендации МР 2.6.1.0094-14. Радиохимическое определение удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах. – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва, 2014).
 21. Ramzaev, V.P., Ivanov, S.A., Goncharova, Yu.N., Vishnyakova, N.M., Sevastyanov, A.V. A study of radioactive contamination of marine biota after the Fukushima accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2012, Vol. 5, No. 4, pp. 5–11. Russian (Рамзаев, В.П., Иванов, С.А., Гончарова, Ю.Н., Вишнякова, Н.М., Севастьянов, А.В. Исследование радиоактивного загрязнения морской биоты в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1». Радиационная гигиена, 2012, Том 5, № 4, С. 5–11).
 22. IAEA – International Atomic Energy Agency. Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments. IAEA-TECDOC-1616. – IAEA, Vienna, 2009.
 23. IAEA – International Atomic Energy Agency. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Report Series, Report No. 472. – IAEA, Vienna, 2010.
 24. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Radionuclide Transformations. Energy and Intensity of Emissions. ICRP Publication 38. – Pergamon Press, Oxford–Frankfurt, 1983.
 25. Center of Modern Psychotechnologies. Codes for the Automatic Calculations. Russian (Центр современных психотехнологий. Скрипты автоматических расчетов). Available on: <http://psytech-center.ru/lib/scriptstat/> (accessed 03.01.2018).
 26. Hirose, K. 2011 Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident: summary of regional radioactive deposition monitoring results. *J. Environ. Radioact.*, 2012, Vol. 111, pp. 13–17.
 27. Mück, K., Gerzabek, M.H. Trends in caesium activity concentrations in milk from agricultural and semi-natural environments after nuclear fallout. *Bodenkultur*, 1995, Vol. 46, No. 4, pp. 337–353.
 28. Shilov, V.P. Experimental studies of ^{137}Cs and ^{90}Sr transfer to cow's milk in an area of radioactive contamination. In: *Issues in Radioecology and the Nearby Disciplines* / Ed.: V.I. Migunov, A.V. Trapeznikov and S.M. Vovk. – GUDP NI: KIET “Technocentr LT”, Ekaterinburg, 2004. – Vol. 5, pp. 3–8. Russian (Шилов, В.П. Экспериментальные исследования закономерностей миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоко коров в районе радиоактивного загрязнения. В кн.: Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин / под ред. В.И. Мигунова, А.В. Трапезникова и С.М. Вовка. – ГУДП НИ: КИЭТ “Техноцентр “ЛТ”, Екатеринбург, 2004. – Вып. 5, С. 3–8).
 29. Pröhl, G., Ehlen, S., Fiedler, I., Kirchner, G., Klemm, E., Zibold, G. Ecological half-lives of ^{90}Sr and ^{137}Cs in terrestrial and aquatic ecosystems. *J. Environ. Radioact.*, 2006, Vol. 91, pp. 41–72.
 30. Corcho-Alvarado, J.A., Balsiger, B., Sahli, H., Astner, M., Byrde, F., Röhl, S., Holzer, R., Mosimann, N., Wthrich, S., Jakob, A., Burger, M. Long-term behavior of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the environment: Case studies in Switzerland. *J. Environ. Radioact.*, 2016, Vol. 160, pp. 54–63.
 31. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. – United Nations, New York, 2000.
 32. Kaduka, M.V., Shutov, V.N. Dynamics of cesium radionuclides content in foodstuff. In: *Radiological and Hygienic Issues of the Mitigation of the Chernobyl NPP Accident Consequences* / Ed.: Acad. RAS G.G. Onishchenko and Professor A.Yu. Popova. – RIRH after Professor P.V. Ramzaev, St.-Petersburg, 2016. – Vol. 1, pp. 143–160. Russian (Кадука, М.В., Шутов, В.Н. Динамика содержания радионуклидов цезия в пищевых продуктах. В кн.: Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. – НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, 2016. – Том 1, С. 143–160).

33. Pálsson, S.E., Howard, B.J., Gudnason, K., Sigurgeirsson, M.A. Long-term transfer of global fallout ^{137}Cs to cow's milk in Iceland. *Environ. Monit. Assess.*, 2012, Vol. 184, No. 12, pp. 7221–7234.
34. Karpenko, A.F., Komar, A.K., Samusev, A.M. Estimation of the ^{137}Cs and ^{90}Sr transfer parameters for the milk of cows on pasture. In: *Radiation and Ecosystems: Materials of Intern. Sci. Conf.*, Gomel, October 16–17, 2008. – Research Institute of Radiology, Gomel, 2008. – pp. 75–76. Russian (Карпенко, А.Ф., Комар, А.К., Самусев, А.М. Оценка параметров перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоко коров при пастбищном содержании. В кн.: Радиация и экосистемы: Материалы Междунар. науч. конф., Гомель, 16–17 октября 2008 г. – РНИУП «Институт радиологии», Гомель, 2008. – С. 75–76).
35. Howard, B.J., Wells, C., Barnett, C.L., Howard, D.C. Improving the quantity, quality and transparency of data used to derive radionuclide transfer parameters for animal products. 2. Cow milk. *J. Environ. Radioact.*, 2017, Vol. 167, pp. 254–268.
36. Razzhigayeva, N.G., Ganzei, L.A., Mokhova, L.M., Pshenichnikova, N.F. Meadow landscapes of Southern Kurils: origin, age and development. *Geography and Natural Resources*, 2011, No. 3, pp. 96–104. Russian (Разжигаева, Н.Г., Ганзей, Л.А., Мохова, Л.М., Пшеничникова, Н.Ф. Луговые ландшафты Южных Курил: происхождение, возраст и развитие. География и природные ресурсы, 2011, № 3, С. 96–104).
37. Karlén, G., Johanson, K.J., Bertilsson, J. Transfer of ^{137}Cs to cow's milk: investigations on dairy farms in Sweden. *J. Environ. Radioact.*, 1995, Vol. 28, No. 1, pp. 1–15.
38. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides – Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. ICRP Publication 72. Ann. ICRP, 1995, Vol. 26, No. 1.
39. Norms of Radiation Safety (NRB-99/2009). SanPiN 2.6.1.2523-09. – Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, Moscow, 2009. Russian (Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09. – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва, 2009).
40. Romanovich, I.K., Bruk, G.Ya., Barkovsky, A.N., Bratilova, A.A., Gromov, A.V., Kaduka, M.V. Substantiation of the concept of transfer to conditions of normal population activity of the settlements considered to be zones of radioactive contamination after the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2016, Vol. 9, No. 1, pp. 6–18. Russian (Романович, И.К., Брук, Г.Я., Барковский, А.Н., Братилова, А.А., Громов, А.В., Кадука, М.В. Обоснование Концепции перевода населенных пунктов, отнесенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС к зонам радиоактивного загрязнения, к условиям нормальной жизнедеятельности населения. Радиационная гигиена, 2016, Том 9, № 1, С. 6–18).

Received: 30 July, 2018

Поступила: 30.07.2018 г.

Valery P. Ramzaev – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher 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. **Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia. E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

Anatoly N. Barkovsky – Head of the Federal Radiological Centre, 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 – Head of the Laboratory on 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.

Marina V. Kaduka – Candidate of Biological Sciences, 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.

Рамзаев Валерий Павлович – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории внешнего облучения 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.Ramzaev@mail.ru

Барковский Анатолий Николаевич – руководитель Федерального радиологического 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

Громов Алексей Валерьевич – и.о. заведующего лабораторией аварийного реагирования 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 Марина Валерьевна – кандидат биологических наук, 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, Санкт-Петербург, Россия

For citation (Для цитирования): Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Gromov A.V., Kaduka M.V. Fukushima fallout in Sakhalin Region, Russia, part 3: ^{137}Cs and ^{134}Cs in cow's milk. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 3, pp. 40–55. DOI: 10.21514/1998-426x-2018-11-3-40-55

Метод глобальной подгонки обобщённых моделей радиогенного риска под данные японской когорты*

А.Т. Губин

Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, Москва

Обобщённые модели радиогенных рисков из Публикации 103 МКРЗ обладают рядом привлекательных особенностей. Сами модели и соответствующие им модели фоновых рисков обобщаются единой функцией, содержащей всего три параметра, специфичные для локализации рака, пола и показателя риска (абсолютный или относительный; по смертности или заболеваемости). Однако имеется ряд несоответствий в значениях параметров моделей для отдельных локализаций рака и в некоторых прогнозах, основанных на этих моделях. Цель настоящей работы состояла в выяснении возможностей уточнения параметров моделей МКРЗ по данным когорты LSS. Предложен и на примере данных о фоновой смертности в когорте и среди всего населения Японии верифицирован метод расчёта параметров этих моделей. Суть метода заключается в усреднении локальных оценок параметров, рассчитываемых по значениям интенсивности смертности в концах различных отрезков возрастов при облучении и достигнутых возрастов в пределах всей изученной области изменения этих переменных. Необходимые для расчётов матрицы интенсивностей смертности определяли по последним опубликованным данным о смертности в когорте и таблицы смертности для Японии из базы данных ВОЗ. Данные о фоновой смертности от солидных раков в когорте удовлетворительно согласуются со статистически более надёжными данными для всего населения Японии, поэтому преимущественно на последних был верифицирован метод. Показано, что по абсолютным и относительным среднеквадратичным отклонениям модели МКРЗ при рассчитанных предложенным методом значениях параметров аппроксимируют данные о фоновой и радиогенной смертности от солидных раков в когорте в целом лучше, чем при значениях, принятых МКРЗ. Наборы значений параметров для мужчин и женщин, рассчитанные по данным когорты и для населения Японии, существенно различаются, тогда как в моделях МКРЗ они почти одинаковы. Результаты расчётов параметров и, соответственно, чисел радиогенных смертей, сильно зависят от полноты учёта данных о смертности в младших и старших группах достигнутых возрастов, а также от ширины интервалов возрастов при облучении, по которым усредняются интенсивности смертности. Результаты работы показывают, что возможности уточнения моделей радиогенного риска на основе данных когорты далеко не исчерпаны.

Ключевые слова: когорта LSS, радиогенные риски, математическое моделирование, абсолютный риск, относительный риск, солидные раки, смертность, Публикация 103 МКРЗ, гендерные различия рисков.

Введение

Все модели радиогенных рисков из Публикации 103 МКРЗ [1], а также соответствующие им модели зависимостей рисков фоновых раков от возраста при облучении (t_0) и достигнутого возраста (t) обобщаются функцией [2, 3]:

$$f(t_0, t) = A e^{at_0} t^b, (1)$$

где A , a и b – параметры, специфичные для каждого вида рака, пола и разновидности риска – абсолютный или относительный, фоновый или радиогенный, по заболеваемости или по смертности. Наборы значений параметров для моделей радиогенных и фоновых рисков, рассчитанные по данным таблиц A.4.6–A.4.9 Публикации 103 МКРЗ [1], опубликованы в [3].

* В статье использованы данные, полученные от Фонда научных исследований радиационных эффектов (Radiation Effects Research Foundation) (далее – RERF), базирующегося в Хиросиме и Нагасаки (Япония). Фонд является частной некоммерческой неправительственной организацией, финансируемой Министерством здравоохранения, труда и благосостояния Японии и Министерством энергетики США (через Национальную академию наук). Аргументы и выводы данной работы являются аргументами и выводами автора и не обязательно отражают научные воззрения Фонда или финансирующих его агентств.

Губин Анатолий Тимофеевич

Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России

Адрес для переписки: 123182 Москва, ул. Щукинская, д.40; E-mail: atgubin@rambler.ru

Применимость функции (1) для описания возрастных зависимостей абсолютного и относительного рисков для раков различных локализаций и относительная её простота весьма привлекательны с точки зрения решения прикладных задач, связанных с оценками, прогнозированием и межпопуляционным переносом рисков. В то же время формальный анализ [3] выявил ряд нелогичных несоответствий в параметрах моделей абсолютного и относительного рисков, а также в значениях параметров моделей для отдельных локализаций и солидных раков в целом. Кроме того, в некоторых случаях пожизненные риски смерти от рака, рассчитанные по моделям МКРЗ для композитного населения [1], оказались выше пожизненных рисков заболеть раком.

Причины этого не ясны. Вместе с тем, хорошо известно, что задачи определения параметров аппроксимирующих функций по данным, характеризующимся большими неопределённостями, имеют множество решений, зависящих от применяемых методов расчёта. Таково свойство класса так называемых некорректных обратных задач, к которым относится и задача определения параметров функции МКРЗ по данным когорты LSS. Поэтому желательно попытаться иным, чем применены в работах [4, 5], методом определить по данным когорты значения параметров функции (1), не имеющие отмеченных выше недостатков и обеспечивающие хорошее соответствие моделей данным.

Цель исследования – выяснение возможностей уточнения наборов параметров моделей абсолютного риска МКРЗ на примере смертности от солидных раков по данным когорты LSS. Наблюдения за этой когортой, состоящей из выживших после атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки лиц, в течение нескольких десятилетий дают важнейшую информацию о последствиях облучения для здоровья человека и для построения на её основе радиационно-эпидемиологических моделей.

Решались следующие задачи: обоснован метод расчёта параметров моделей МКРЗ по показателям онкологической смертности в различных возрастах для поколений, рождённых в разные календарные годы; подготовлены необходимые для расчётов этим методом матрицы продольных интенсивностей смертности (ИС) от солидных раков в когорте и среди всего населения Японии; с использованием матриц ИС для фоновой смертности в когорте и Японии проверена применимость метода; выполнены расчёты значений параметров моделей абсолютного риска МКРЗ для смертности от солидных раков в целом.

В первом разделе представлено описание использованных в работе баз данных и методов расчёта матриц продольных ИС от солидных раков для когорты и для Японии, во втором представлены математические соотношения для расчёта наборов параметров функции (1) предлагаемым методом и критерии оптимальности на-

боров параметров, в третьем изложены и обсуждены основные результаты выполненных расчётов, а в последнем подведены итоги проведённой работы.

Исходные данные и методы

Матрицы ИС от солидных раков

При расчётах параметров моделей МКРЗ изложенным далее методом исходными данными служат матрицы продольных ИС¹ для мужской и женской частей когорты, принадлежащих к различным дозовым и возрастным группам (по достигнутому возрасту и по возрасту во время атомных бомбардировок, или иначе, по принадлежности к различным поколениям лиц, родившихся до бомбардировок). Для верификации метода, наряду с данными когорты, применялись также данные об ИС от солидных раков среди мужчин и женщин всего населения Японии.

Согласно выводам работы [4], результаты которой положены в основу моделей МКРЗ [1, 6] для рисков смерти от солидных раков, дозовую зависимость ИС от них в диапазоне доз ниже нескольких греев допустимо считать линейной. Это позволяет при анализе возрастных зависимостей радиогенных рисков ограничиться рассмотрением данных только для двух категорий лиц каждого пола: фоновой категории и категории облучённых. При расчётах матриц радиогенных ИС к фоновой категории уместно отнести лиц с дозами менее 5 мГр, а к категории облучённых – лиц всех остальных дозовых групп до 3 Гр. Ограничение сверху выбрано таким, чтобы не выйти за пределы диапазона предполагаемой линейности. Здесь и далее всюду под дозой, как это принято в анализах данных для когорты, понимается взвешенная поглощённая доза ($D_{\gamma} + 10 \cdot D_n$) на ободочную кишку.

Средние значения и среднеквадратические отклонения ИС в различных возрастных интервалах рассчитывали общепринятым способом, а именно: путём деления соответственно чисел смертей в возрастных интервалах и корня квадратного от этих чисел на количества чел.-лет наблюдения, приходящихся на эти интервалы. Для оценки и снижения влияния статистических погрешностей на результаты расчётов, наряду с матрицами ИС с 5-летними интервалами возрастов при облучении, принятыми в файлах данных для когорты, использовали также матрицы с 10-летними интервалами (не приводятся). ИС для них определяли непосредственно по суммам чисел смертей и чел.-лет наблюдения в смежных 5-летних интервалах возрастов при облучении.

Матрицы ИС для фоновой и облучённой категорий когорты рассчитывали по данным файла lss14.csv, размещённого на сайте RERF [7]. Данные в этом файле структурированы по множеству переменных, включая пол, возраст при облучении, причину смерти, достигнутый возраст и календарный период. Для повышения

¹ Разница между продольными и упоминаемыми далее поперечными ИС состоит в том, что первые характеризуют смертность в различных возрастах среди лиц одного поколения, а вторые – в различных возрастных группах населения в течение определённого календарного периода. Продольные и поперечные ИС одинаковы только у стационарных населений.

статистической мощности использовали объединенные данные для всех переменных, кроме вышеперечисленных. По данным этого файла, средневзвешенная по количеству чел.-лет наблюдения доза у мужчин и женщин категории облученных составляла 0,219 и 0,202 Гр соответственно. Для фоновой категории у обоих полов средневзвешенная доза не превышает 0,001 Гр, поэтому в расчётах радиогенных ИС ею пренебрегали.

Матрицы продольных ИС от солидных раков среди населения Японии рассчитали по данным файлов mortcd7.zip, mortcd8.zip, mortcd9.zip, mortcd10_part1.zip, mortcd10_part2.zip и pop.zip базы данных Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [8]. В них содержатся ежегодные данные о численностях возрастных групп и количествах смертей от широкого набора причин в различных возрастных группах для календарных периодов, охватываемых VII–X версиями Международной классификации болезней (МКБ). Данные представлены с пятилетними, как и в когорте, возрастными интервалами; в случае Японии ими охвачен период с 1950 по 2014 г. Процедура расчёта матриц для населения Японии состояла в следующем.

Из-за некоторых различий в классификациях причин смерти в версиях вначале была выполнена сшивка данных о числах смертей от солидных раков в первых 5 файлах из вышеперечисленных. Затем, по числам смертей в году в различных возрастных группах и численностям групп из файла pop.zip вышеописанным методом были рассчитаны матрицы поперечных ИС и среднеквадратических отклонений для 5-летних календарных периодов в пределах всего представленного в базе данных календарного периода. После этого полученные таким образом матрицы поперечных ИС преобразовали в искомые матрицы продольных ИС для поколений с годами рождения с 1887 по 1945 г. и диапазона достигнутых возрастов до 70 лет включительно. Во время атомных бомбардировок возраста лиц с годами рождения, приходящимися на центры 5-летних календарных периодов, составляли от 3,1 до 58,1 лет.

Метод расчёта параметров

Для расчёта параметров моделей МКРЗ по заданной матрице ИС применили метод, суть которого состоит в усреднении локальных оценок, получаемых по ИС в концах интервалов возрастов при облучении и достигнутых возрастов разной длительности в пределах представленной в матрице области возрастов. Поскольку в этом методе каждый параметр рассчитывается по данным для всей охваченной наблюдениями области возрастов при облучении и достигнутых возрастов, то уместно назвать его методом глобальной подгонки (далее – МГП). Ниже выводятся формулы для определения значений параметров этим методом.

Пусть задана матрица средних значений ИС (μ) для одинаковых интервалов возрастов при облучении и достигнутых возрастов (далее – «возрастов»). Согласно (1), для любого элемента $\mu_{i,k}$ матрицы можно записать:

$$\mu_{i,k} = A e^{a(t_0)_k} t_i^b,$$

где $(t_0)_k$ и t_i – это центральные возраста для k -го интервала возрастов при облучении и l -го интервала воз-

растов. Такое же равенство выполняется и для любого другого интервала возрастов при облучении:

$$\mu_{i,k+m} = A e^{a(t_0)_{k+m}} t_i^b.$$

Взяв отношения обеих частей записанных уравнений,

$$\frac{\mu_{i,k}}{\mu_{i,k+m}} = e^{a[(t_0)_k - (t_0)_{k+m}]}$$

после логарифмирования получаем локальную оценку параметра $\hat{a}$:

$$\hat{a}_{i,k,m} = \frac{1}{(t_0)_k - (t_0)_{k+m}} \ln \left(\frac{\mu_{i,k}}{\mu_{i,k+m}} \right). \quad (2)$$

Точно так же можно записать:

$$\mu_{i,k} = A e^{a(t_0)_k} t_i^b$$

и

$$\mu_{i+n,k} = A e^{a(t_0)_k} t_{i+n}^b,$$

откуда следует

$$\frac{\mu_{i,k}}{\mu_{i+n,k}} = \left(\frac{t_i}{t_{i+n}} \right)^b.$$

Логарифмирование даёт

$$\ln \left(\frac{\mu_{i,k}}{\mu_{i+n,k}} \right) = b \ln \left(\frac{t_i}{t_{i+n}} \right),$$

откуда имеем локальную оценку для параметра $\hat{b}$

$$\hat{b}_{i,k,n} = \ln \left(\frac{\mu_{i,k}}{\mu_{i+n,k}} \right) / \ln \left(\frac{t_i}{t_{i+n}} \right). \quad (3)$$

Для вычисления искомых значений a и b необходимо усреднить оценки (2) и (3), рассчитанные при всех допустимых комбинациях индексов:

$$a = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^{K-1} \sum_{k=1}^{K-m} \frac{\ln(\mu_{i,k} / \mu_{i,k+m})}{(t_0)_k - (t_0)_{k+m}} / N_a; \quad (4)$$

$$b = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{I-1} \sum_{i=1}^{I-n} \frac{\ln(\mu_{i,k} / \mu_{i+n,k})}{\ln(t_i / t_{i+n})} / N_b. \quad (5)$$

Здесь I и K – числа интервалов возрастов и возрастов при облучении соответственно. Из-за неопределённости логарифмической функции при отрицательных и нулевых значениях аргумента, суммирование в (4) и (5) проводится только по членам с $\mu_{i,k} / \mu_{i,k+m} > 0$, $\mu_{i,k} / \mu_{i+n,k} > 0$. (Делители N_a и N_b равны числам членов в суммах, удовлетворяющих этим условиям). Вследствие этого часть информации, связанной с отрицательными элементами исходной матрицы, при вычислении a и b теряется.

Имея значения a и b , получаем локальную оценку для параметра $\hat{A}$:

$$\hat{A}_{i,k} = \mu_{i,k} e^{-a(t_0)_k} t_i^{-b}. \quad (6)$$

Для вычисления параметра A необходимо усреднить локальные оценки по всем отличным от нуля элементам матрицы (N_A – их число), что даёт:

$$A = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \mu_{i,k} e^{-a \cdot (t_0)_k} t_i^{-b} / N_A, (7)$$

Оптимальность полученных значений параметров уместно определять по среднеквадратическим абсолютным и относительным отклонениям:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K [f((t_0)_k, t_i) - \mu_{i,k}]^2}; (8)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [1 - \mu_{i,j} / f((t_0)_j, t_i)]^2}, (9)$$

где $f((t_0)_j, t_i)$ – значения функции (1) в центрах возрастных интервалов при рассчитанном наборе параметров.

Результаты и обсуждение

Матрицы ИС от солидных раков для мужчин и женщин фоновой и облучённой категорий когорты и для

всего населения Японии, рассчитанные, как описано в предыдущем разделе, представлены в таблицах П1–П6 Приложения. Рисунок 1 иллюстрирует данные об ИС от солидного рака среди мужчин и женщин населения Японии и фоновой категории когорты на примере трёх групп близких по годам рождения поколений. «Усы» у данных когорты характеризуют статистические погрешности, точки без «усов» показывают ИС, рассчитанные по единичным событиям смерти в интервалах. Статистические погрешности ИС для населения Японии существенно меньше; чтобы не загромождать графики, они не показаны.

Видно, что, хотя лица фоновой категории когорты в той или иной мере подверглись воздействию нерадиационных факторов атомных взрывов, продольные ИС от солидных раков в когорте и среди всего населения Японии удовлетворительно согласуются между собой (рис. 2). Это позволяет предположить, что функция (1), применяемая для фоновых солидных раков в когорте LSS, применима и для всего населения Японии и что для верификации МГП можно воспользоваться данными для Японии. Преимущество данных для Японии не только в гораздо более высокой статистической точности, но и в наличии в них данных об ИС в юношеских возрастах, практически отсутствующих для когорты.

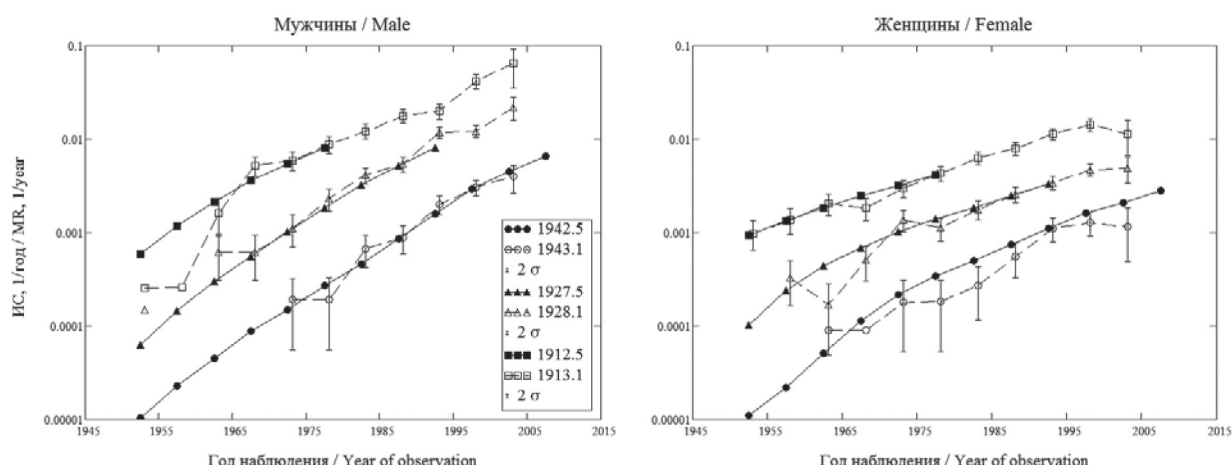
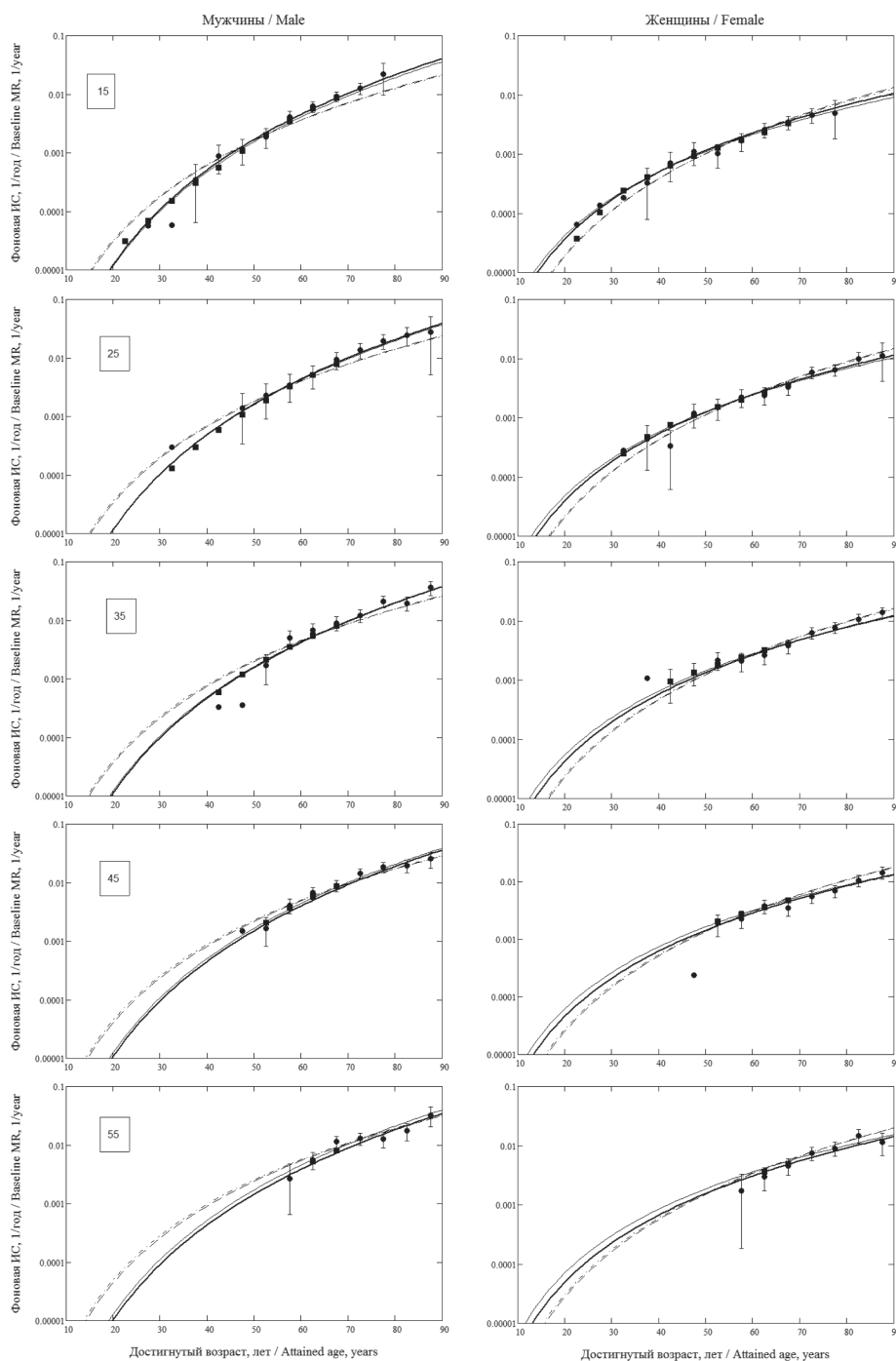


Рис. 1. Сравнение возрастных зависимостей ИС от солидных раков для трёх близких по 5-летним периодам годов рождения (центры периодов приходятся примерно на 1912 и 1913, 1927 и 1928 и 1942 и 1943 гг.) групп фоновой категории мужчин и женщин когорты LSS и населения Японии. «Усы» у данных когорты показывают интервал 2σ . Для наглядности значки соединены сплошными для Японии и пунктирными для LSS линиями

[Fig. 1. Comparison of the age dependency of the mortality rate (MR) from solid cancers for the three male and female groups of the baseline category of cohort and population of Japan similar by the years of birth (centers of 5-year periods of years of birth approximately in 1912–1913, 1927–1928 and 1942–1943). Whiskers correspond to the 2σ intervals. For the illustration, the markers are connected with solid lines for Japan and dotted lines for LSS]



Обозначения: ● – данные LSS; ■ – данные Японии; — и — — – функция (1) при параметрах, рассчитанных МГП по данным для LSS и Японии соответственно; - - - и — — – функция (1) при параметрах моделей МКРЗ [1] и [4]
 [Abbreviations: ● – LSS data; ■ – Japan data; — и — — – function (1) using the parameters, calculated by GFM for LSS and Japan respectively; - - - и — — – function (1) using the parameters from the models ICRP [1] and [4]]

Рис. 2. Аппроксимация функцией (1) данных о фоновых ИС от солидных раков в когорте LSS и среди населения Японии при значениях параметров из моделей МКРЗ и рассчитанных МГП по матрицам ИС с интервалами 10 лет для диапазона 20–90 лет. «Усы» у данных когорты показывают интервал 2σ. Возраста при облучении указаны в квадратиках на графиках для мужчин. Дополнительные пояснения см. в тексте

[Fig. 2. Approximation of the data on the baseline MRs from solid cancers in LSS cohort and Japanese population using the parameters from ICRP models and calculated by GFM using MR matrices with 10 year intervals for the range of 20–90 years. Data was approximated using the function (1). Whiskers correspond to the 2σ intervals. Ages at exposure for the cohort are provided in the inserts on the left plots. Additional explanations are provided in the text]

Расчёты по МГП параметров функции (1) для населения Японии, фоновой и облучённой категории лиц когорты выполнялись с использованием матриц ИС от солидных раков, представленных в таблицах П1–П6 Приложения. Использовались как матрицы целиком, так и с некоторым количеством исключённых из них строк со стороны младших и старших возрастов. Кроме этих матриц с интервалами 5 лет возрастов при облучении (далее – «интервалы»), для когорты LSS в целях повышения статистической точности значений ИС в разных возрастах применяли также матрицы с интервалами 10 лет. Результаты представлены в таблицах 1–3 и проиллюстрированы на рисунках 2–3.

В таблице 1 приведены значения параметров функции (1), рассчитанные МГП по матрицам ИС от солидных раков для населения Японии и фоновой категории когорты, вместе с значениями из моделей [1, 4] и критериями оптимальности (8) и (9). Снижение критериев по мере исключения из матриц для Японии младших возрастных строк свидетельствует об ограниченной пригодности функции (1) для описания рисков в юношеских возрастах. С другой стороны, в таблице 2 видно, что согласие функции (1) с данными улучшается и по мере исключения статистически менее надёжных данных для старших возрастных групп. Таблицы показывают, что МГП обеспечивает получение значений параметров, при которых достигается лучшая по критериям (8) и (9) аппроксимация функций (1) фоновых данных о смертности от солидных раков как в когорте, так и среди всего населения Японии, чем при значениях Престона и Пирса [4] и из моделей МКРЗ [1]. Причём расчёты по МГП для когорты приводят к значениям параметров, которые ближе к значениям для населения Японии, чем значения из указанных работ. Это важный аргумент в пользу более высокой точности МГП по сравнению с методом, применённым для анализа тех же данных в работе [4], результаты которой легли в основу выбора параметров моделей МКРЗ.

Существенное отличие параметров, рассчитанных по МГП для фоновой категории когорты, от параметров из [1, 4] состоит в наличии выраженных гендерных различий. МГП даёт для мужчин и женщин значения A , различающиеся вплоть до порядков величины; значения a различаются не только по абсолютной величине, но и по знаку; разница в b не столь велика, однако весьма значима, т.к. это показатель степени. В то же время, согласно моделям из [1, 4], в этом случае значения a и b для мужчин и женщин одинаковы, а значения A различаются, но в гораздо меньшей степени. Гендерные различия свойственны и параметрам для населения Японии.

Детали расчётов в работе [4] не приводятся, что затрудняет установление причин отличий полученных в ней значений параметров от наших значений. Ими не могут быть различия в интервалах усреднения ИС для исходных матриц и в рассмотренных возрастных диапазонах, т.к., согласно данным таблицы 2, укрупнение интервалов и исключение статистически менее надёжных данных для старческих возрастов, хотя и приводит в некоторых случаях к сближению результатов, не позволяет объяс-

Таблица 1
Параметры функции (1) для фоновой смертности от солидных раков в целом, принятые в моделях из [1, 4] и рассчитанные по МГП для когорты и всего населения Японии, вместе с критериями оптимальности (Δ) и (δ). Исходными данными в расчётах по МГП служили матрицы из таблиц П1–П4 Приложения

Table 1
Parameters of the function (1) for the baseline mortality from solid cancers in general, used in models from [1, 4] and calculated using the method of global fit (GFM) for the cohort and for the entire Japanese population with the optimality criteria (Δ) and (δ). GFM calculations were based on the matrixes from tables P1–P4 of the Supplement

Параметр (1/год), критерий [Parameter (1/year), criteria]	Мужчины [Male]						Женщины [Female]					
	Когорта LSS [LSS cohort]			Япония, расчёт по МГП с использованием данных для: [Japan, calculation by GFM using data for:]			Когорта LSS [LSS cohort]			Япония, расчёт по МГП с использованием данных для: [Japan, calculation by GFM using data for:]		
	Расчёт по МГП [Calculation by GFM]	Модели [4] [Models [4]]	Модели МКРЗ [1] ICRP [Models [1]]	всех матриц [whole matrix]	возрастов >15 лет [Age>15y]	возрастов >20 лет [Age>20y]	Расчёт по МГП [Calculation by GFM]	Модели из [4] [Models [4]]	Модели МКРЗ [1] [ICRP Models [1]]	всех матриц [whole matrix]	возрастов >15 лет [Age>15y]	возрастов >20 лет [Age>20y]
A	$2,52 \cdot 10^{-12}$	$6,94 \cdot 10^{-11}$	$5,35 \cdot 10^{-11}$	$3,10 \cdot 10^{-12}$	$2,09 \cdot 10^{-12}$	$1,22 \cdot 10^{-12}$	$3,71 \cdot 10^{-10}$	$4,26 \cdot 10^{-11}$	$3,35 \cdot 10^{-11}$	$8,26 \cdot 10^{-10}$	$7,51 \cdot 10^{-10}$	$7,63 \cdot 10^{-10}$
a	$-5,10 \cdot 10^{-3}$	$0,0110$	$9,66 \cdot 10^{-3}$	$2,29 \cdot 10^{-3}$	$2,29 \cdot 10^{-3}$	$2,43 \cdot 10^{-3}$	$7,10 \cdot 10^{-3}$	$0,0110$	$9,66 \cdot 10^{-3}$	$0,0129$	$0,0129$	$0,0130$
b	$5,24$	$4,30$	$4,37$	$5,15$	$5,23$	$5,35$	$3,80$	$4,30$	$4,37$	$3,56$	$3,58$	$3,58$
Δ	$0,0119$	$0,0143$	$0,0142$	$4,42 \cdot 10^{-4}$	$2,94 \cdot 10^{-4}$	$2,81 \cdot 10^{-4}$	$2,65 \cdot 10^{-3}$	$3,35 \cdot 10^{-3}$	$3,34 \cdot 10^{-3}$	$1,49 \cdot 10^{-4}$	$1,50 \cdot 10^{-4}$	$1,56 \cdot 10^{-4}$
δ	$0,449$	$0,449$	$0,498$	$0,816$	$0,393$	$0,197$	$0,385$	$0,633$	$0,654$	$0,117$	$0,0939$	$0,0929$

нить отличия полностью. Следовательно, наиболее вероятной причиной являются различия в самих методах. Результаты выполненных параметрических расчётов позволяют заключить, что наиболее подходящим выбором для определения параметров функции (1) по фоновым данным, являются интервалы в 10 лет и границы диапазона от 85 до 95 лет.

Рисунок 2 иллюстрирует точность аппроксимации данных для когорты при верхней границе 90 лет. При расчётах параметров для Японии нижнюю границу диапазона возрастов принимали равной 20 годам, т.е. такой же, как фактически реализуется для когорты из-за отсутствия данных для более молодых возрастов. Значения параметров при такой границе для Японии приведены в таблице 1, а для когорты – в таблице 2. Возраста, указанные на графиках, – это центральные значения 10-летних интервалов возрастов для лиц когорты во время атомных взрывов. Они на 1,9 года превышают центральные возраста интервалов для Японии, и им соответствуют несколько большие значения ИС, чем для Японии.

Поправка на эту разницу привела бы к незначительному смещению точек для Японии вверх, однако из-за малости смещения она не вводилась.

В таблице 3 представлены результаты подобных расчётов для радиогенных раков. Исходными данными служили матрицы ИС из таблиц П5 и П6 Приложения с интервалами 5 лет и матрицы ИС с интервалами 10 лет. Видно, что значения рассчитанных по МГП параметров, как и в случае фоновых раков, отличаются от значений из моделей МКРЗ и выявляют гендерные различия при практически полном их отсутствии у моделей МКРЗ. По критерию Δ при обоих наборах значений параметров обеспечивается практически одинаковая точность аппроксимации данных функцией (1), а по критерию δ наши наборы дают более высокую точность. Удвоение ширины интервала и исключение старших возрастных групп приводит к значениям параметров, улучшающим точность аппроксимации. Расчёты по матрицам с интервалами 10 лет выявляют разнонаправленные изменения радиогенных ИС у полов с возрастом при облучении: у мужчин ИС убывает, а у женщин растёт.

Таблица 2

Влияние ширины интервала и верхней границы диапазона возрастов на результаты расчёта риска умереть от фонового солидного рака при нижней границе диапазона 20 лет. Размерности всех параметров – 1/год

[Table 2]

The effect of the width of the intervals and upper limit of the age range on the results of calculating the risk of death from the baseline solid cancer at the lower limit of 20 years. All the parameters are given in 1/year]

Параметр (1/год), критерий [Parameter (1/year), criteria]	Мужчины [Male]				Женщины [Female]			
	МГП GFM		[4]		МГП GFM		[4]	
	5 лет [5 years]	10 лет [10 years]	5 лет [5 years]	10 лет [10 years]	5 лет [5 years]	10 лет [10 years]	5 лет [5 years]	10 лет [10 years]
Верхняя граница диапазона возрастов 105 лет [Upper limit of the age range – 105 years]								
A	$2,52 \cdot 10^{-12}$	$1,92 \cdot 10^{-12}$	$6,94 \cdot 10^{-11}$		$3,71 \cdot 10^{-10}$	$4,31 \cdot 10^{-10}$	$4,26 \cdot 10^{-11}$	
a	$-5,10 \cdot 10^{-3}$	$-6,44 \cdot 10^{-3}$	0,011		$7,10 \cdot 10^{-3}$	$5,50 \cdot 10^{-3}$	0,011	
b	5,25	5,31	4,30		3,80	3,77	4,30	
Δ	0,0119	$9,88 \cdot 10^{-3}$	0,0143	0,0131	$2,65 \cdot 10^{-3}$	$2,31 \cdot 10^{-3}$	$3,35 \cdot 10^{-3}$	$3,48 \cdot 10^{-3}$
δ	0,449	0,335	0,449	0,471	0,385	0,320	0,633	0,503
Верхняя граница диапазона возрастов 90 лет [Upper limit of the age range – 90 years]								
A	$3,17 \cdot 10^{-12}$	$1,21 \cdot 10^{-12}$	$6,94 \cdot 10^{-11}$		$4,78 \cdot 10^{-10}$	$4,14 \cdot 10^{-10}$	$4,26 \cdot 10^{-11}$	
a	$-3,87 \cdot 10^{-3}$	$-4,08 \cdot 10^{-3}$	0,011		$8,23 \cdot 10^{-3}$	$7,45 \cdot 10^{-3}$	0,011	
b	5,18	5,40	4,30		3,73	3,77	4,30	
Δ	$3,21 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-3}$	$4,68 \cdot 10^{-3}$	$4,41 \cdot 10^{-3}$	$1,73 \cdot 10^{-3}$	$1,40 \cdot 10^{-3}$	$2,50 \cdot 10^{-3}$	$2,19 \cdot 10^{-3}$
δ	0,405	0,291	0,406	0,375	0,380	0,316	0,658	0,519
Верхняя граница диапазона возрастов 80 лет [Upper limit of the age range – 80 years]								
A	$9,98 \cdot 10^{-13}$	$2,93 \cdot 10^{-13}$	$6,94 \cdot 10^{-11}$		$6,49 \cdot 10^{-10}$	$5,02 \cdot 10^{-10}$	$4,26 \cdot 10^{-11}$	
a	$-1,73 \cdot 10^{-3}$	$-2,61 \cdot 10^{-3}$	0,011		0,0116	$9,98 \cdot 10^{-3}$	0,011	
b	5,45	5,75	4,30		3,63	3,70	4,30	
Δ	$2,02 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$2,93 \cdot 10^{-3}$	$2,94 \cdot 10^{-3}$	$9,54 \cdot 10^{-4}$	$6,02 \cdot 10^{-4}$	$1,24 \cdot 10^{-3}$	$9,88 \cdot 10^{-4}$
δ	0,477	0,324	0,409	0,378	0,384	0,315	0,703	0,550

Таблица 3

Влияние ширины интервала возрастов при облучении и верхней границы диапазона возрастов на результаты для радиогенных солидных раков. Размерности: A – (Гр год)⁻¹, a и b – 1/год

[Table 3]

Impact of width the interval of the ages at exposure and upper limit of the age range on the results for the radiogenic solid cancers. Units: A – (Gy year)⁻¹, a и b – 1/year]

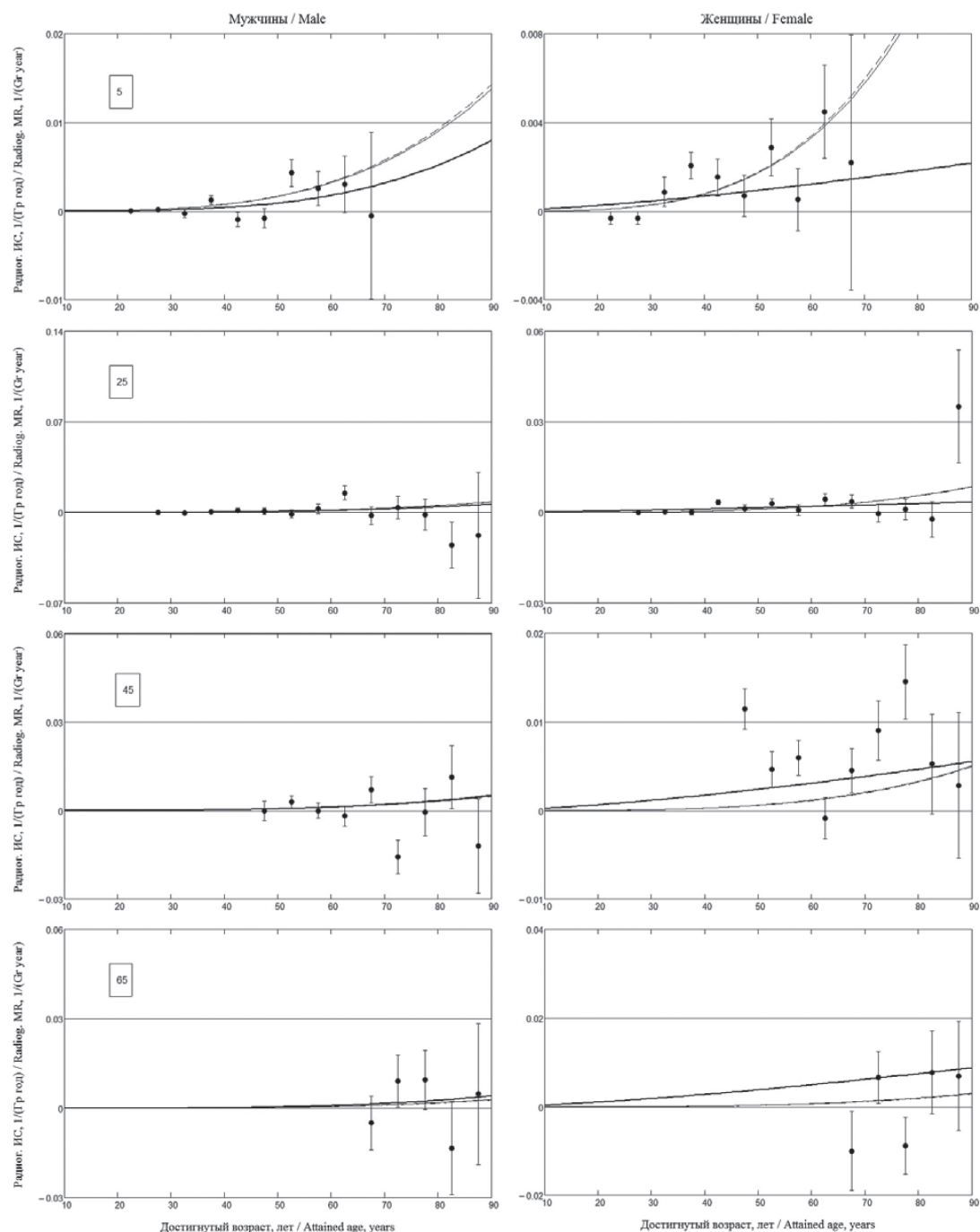
Параметр, критерий [Parameter, criteria]	Мужчины [Male]				Женщины [Female]			
	МГП GFM		МКРЗ ICRP		МГП GFM		МКРЗ ICRP	
	5 лет [5 years]	10 лет [10 years]	5 лет [5 years]	10 лет [10 years]	5 лет [5 years]	10 лет [10 years]	5 лет [5 years]	10 лет [10 years]
Верхняя граница 95 лет [Upper limit of 95 years]								
A	$6,65 \cdot 10^{-11}$	$1,70 \cdot 10^{-10}$	$1,32 \cdot 10^{-9}$	$9,53 \cdot 10^{-6}$	$1,34 \cdot 10^{-6}$		$1,37 \cdot 10^{-9}$	
a	$-2,82 \cdot 10^{-4}$	$-8,12 \cdot 10^{-3}$	-0,0274	0,0118	0,0221		-0,0274	
b	4,21	4,02	3,63	1,22	1,63		3,63	
Δ	0,0214	0,0186	0,0211	0,0184	$9,08 \cdot 10^{-3}$	$7,53 \cdot 10^{-3}$	$9,08 \cdot 10^{-3}$	$7,29 \cdot 10^{-3}$
δ	4,35	3,77	6,57	5,85	2,72	2,00	4,36	4,22
Верхняя граница 90 лет [Upper limit of 90 years]								
A	$4,25 \cdot 10^{-10}$	$5,28 \cdot 10^{-10}$	$1,32 \cdot 10^{-9}$	$9,02 \cdot 10^{-6}$	$3,11 \cdot 10^{-6}$		$1,37 \cdot 10^{-9}$	
a	$1,85 \cdot 10^{-3}$	-0,0110	-0,0274	$9,19 \cdot 10^{-3}$	0,0234		-0,0274	
b	3,67	3,69	3,63	1,25	1,43		3,63	
Δ	0,0173	0,0143	0,0170	0,0144	$8,01 \cdot 10^{-3}$	$7,09 \cdot 10^{-3}$	$7,92 \cdot 10^{-3}$	$6,51 \cdot 10^{-3}$
δ	5,39	5,09	5,95	5,25	2,67	1,91	4,29	4,22
Верхняя граница 85 лет [Upper limit of 85 years]								
A	$2,84 \cdot 10^{-9}$	$1,40 \cdot 10^{-8}$	$1,32 \cdot 10^{-9}$	$9,02 \cdot 10^{-6}$	$3,50 \cdot 10^{-6}$		$1,37 \cdot 10^{-9}$	
a	$-5,22 \cdot 10^{-4}$	-0,0142	-0,0274	0,0100	0,0299		-0,0274	
b	3,29	2,98	3,63	1,23	1,33		3,63	
Δ	0,0112	$8,44 \cdot 10^{-3}$	0,0111	$8,55 \cdot 10^{-3}$	$7,01 \cdot 10^{-3}$	$5,98 \cdot 10^{-3}$	$7,08 \cdot 10^{-3}$	$5,64 \cdot 10^{-3}$
δ	3,76	3,49	5,25	4,62	2,65	1,700	4,33	4,35

На рисунке 3 представлены графики, иллюстрирующие как качество анализируемых данных о радиогенной ИС от солидных раков в совокупности, так и различия в аппроксимации этих данных функцией (1) при трёх наборах значений параметров: рассчитанных по МГП, определённых в работе [4] и принятых в моделях МКРЗ. Как видно, данные характеризуются большими статистическими погрешностями (здесь «усы» у точек равны половинам среднеквадратичных отклонений) и значительным разбросом, который во многих случаях нельзя объяснить чисто статистическими причинами. Из-за этого на основе визуальной оценки трудно отдать предпочтение какому-либо набору значений параметров. Однако по выбранным абсолютному и относительному количественным критериям оптимальности значения параметров, рассчитанных по МГП, представляются нам более подходящими. Следует заметить, что графики рисунка 3 показывают лишь незначительное влияние коррекции результатов [4] экспертами [6] при выборе ими значений для окончательной версии моделей МКРЗ.

Вместе с тем, очевидно существенное различие в трендах и масштабах изменений в возрастных зависимостях радиогенных ИС при наших значениях параметров и при значениях из моделей МКРЗ.

Для оценки практической значимости этих различий по формализованной в [9] методологии МКРЗ рассчитали числа радиогенных смертей от солидного рака среди мужчин и женщин композитного населения МКРЗ после острого облучения в дозе 1 Гр. Возрастные коэффициенты риска вычисляли при значениях параметров функции (1) из моделей МКРЗ и определённых по МГП при разных верхних границах диапазона достигнутых возрастов и нижней границе 20 лет.

Полученные оценки представлены в таблице 4. В ней видно, что оценки чисел радиогенных смертей от солидных раков сильно зависят от верхней границы диапазона возрастов и ширины интервала. Нам не известно, проводилась ли какая-либо отбраковка или фильтрация данных LSS и по каким интервалам усреднялись ИС для получения оценок параметров моделей [4], впоследствии при-



Обозначения: • – данные LSS; — — — — — функция (1) при параметрах МГП; — — — — — функция (1) при параметрах моделей МКРЗ [1] и [4]

[Abbreviations: • – LSS data; — — — — — function (1) using the GFM parameters; — — — — — function (1) using the parameters from the models ICRP [1] and [4]]

Рис. 3. Аппроксимация функций (1) данных о радиогенных ИС от солидных раков при значениях параметров из моделей МКРЗ и рассчитанных по МГП с использованием матриц радиогенных ИС с 10-летними интервалами для возрастов от 20 до 90 лет. Возраста при облучении для когорты LSS указаны во вкладках на графиках слева. Здесь «усы» у данных показывают интервалы, равные $0,5 \sigma$.

Выбор разных масштабов по осям координат предопределён необходимостью охватить все данные возрастного диапазона
[Fig. 3. Approximation of the data on the radiogenic MRs from solid cancers using the parameters from ICRP models and calculated by GFM using radiogenic MR matrices with 10 year intervals for the range of 20–90 years. Data was approximated using the function (1). Ages at exposure for the LSS cohort are provided in the inserts on the left plots. Whiskers of the cohort data correspond to the intervals equal to 0.5σ .

Selection of the scale is defined by the requirement of providing all the data for the age range]

Таблица 4

Оценка числа радиогенных смертей от солидных раков после острого облучения композитного населения МКРЗ в дозе 1 Гр с использованием параметров, рассчитанных по МГП, и принятых МКРЗ

[Table 4]

Assessment of the number of the radiogenic deaths from solid cancers after irradiation the composite population of the ICRP at a dose 1 Gy dose using values of parameters calculated by GFM and adopted ICRP

Пол [Gender]	Для параметров МГП, рассчитанных при верхней границе (лет): [For the GFM parameters, calculated based on the upper limit (Years):]							Для параметров моделей МКРЗ [For the ICRP model parameters]
	75	80	85	90	95	100	105	
По матрицам с 5-летними интервалами [For matrixes with 5 year intervals]								
Мужчины [Male]	969	1070	922	716	1008	1551	2026	753
Женщины [Female]	981	1045	808	868	899	788	1308	932
По матрицам с 10-летними интервалами [For matrixes with 10 year intervals]								
Мужчины [Male]	915	704	722	604	885	1439	1946	753
Женщины [Female]	1059	1157	1133	1139	1074	970	1381	932

нятых в моделях МКРЗ. Если предположить, что использовались данные для диапазона 20–90 лет с 5-летними интервалами, то различия в числах радиогенных смертей при наших значениях параметров и значениях из моделей МКРЗ составляют всего 5 и 7% для мужчин и женщин соответственно. Для того же диапазона при 10-летних интервалах различия больше: наши оценки для мужчин на 20% меньше, а для женщин на 22% больше. Учитывая относительно слабую зависимость риска от возраста при облучении и ненадёжность данных для больших возрастов, уместно для определения параметров использовать матрицы ИС с 10-летними интервалами.

Заключение

В работе предпринята попытка выяснить, имеются ли методические возможности для уточнения обобщённых моделей абсолютного и относительного риска из Публикации 103 МКРЗ по данным когорты LSS при сохранении принятого в них функционального вида возрастных зависимостей, т.е. нельзя ли определить значения параметров, при которых функция (1) будет точнее аппроксимировать данные о смертности от солидных раков в когорте, чем при значениях из моделей МКРЗ. С этой целью предложен метод глобальной подгонки (МГП), основанный на усреднении локальных оценок параметров по ИС в концах возрастных интервалов разной длительности в пределах охваченной наблюдениями области достигнутых возрастов и возрастов при бомбардировках. Метод проверен на примере рассчитанных по данным ВОЗ и RERF матриц продольных ИС от солидных раков среди всего населения Японии и в фоновой категории когорты LSS (дозы менее 0,005 Гр).

Расчёты по МГП привели к иным значениям параметров, чем приняты в моделях МКРЗ. Наши значения обеспечивают лучшую по среднеквадратическим абсолютным и относительным отклонениям аппроксимацию данных об ИС от фоновых солидных раков в когорте и теснее соответствуют значениям параметров, определённым этим методом по статистически более достоверным данным для населения Японии. Использование в моделях МКРЗ значений параметров, рассчитанных по МГП для радиогенных раков, также обеспечивает в целом более точную по указанным критериям аппроксимацию данных, чем при значениях из моделей МКРЗ.

Расчёты по МГП выявили сильно выраженные гендерные различия параметров как для фоновых, так и для радиогенных раков. Следует отметить, что на существенную зависимость радиогенного риска от пола уже обращалось внимание ранее при анализах данных когорты [4, 5, 10]. Наличие подобных гендерных различий в случае статистически более надёжных данных для населения Японии подтверждает их реальность.

Из-за большого разброса данных когорты, который невозможно объяснить только статистическими погрешностями, значения параметров сильно зависят от выбора верхней границы учитываемого в расчётах диапазона достигнутых возрастов и ширины применяемого в расчётах ИС интервала возрастов при облучении. Вопрос о выборе более подходящих значений параметров взамен принятых в моделях МКРЗ в данной работе не ставился. Это непростая задача, заслуживающая специального исследования. Для её решения потребуются применение некоторых процедур статистического взвешивания, предварительной фильтрации и сглаживания данных.

Учитывая близость данных о продольных ИС для населения Японии и для фоновой категории LSS, полезно воспользоваться этими взаимодополняющими наборами данных для обоснования более надёжных фоновых возрастных зависимостей ИС. Это будет способствовать снижению числа отрицательных элементов в матрицах радиогенных ИС и тем самым частичному преодолению основного недостатка метода, который состоит в потере информации, связанной с вынужденным исключением из расчётов таких элементов матриц. Появление таких элементов, если не рассматривать экзотическую возможность полезного действия радиации, отчасти обусловлено погрешностями фоновых данных.

Итак, расчёты по МГП подтвердили применимость функционального вида возрастных зависимостей в моделях МКРЗ, применённых в Рекомендациях 2007 года, хотя и выявили отдельные несоответствия в диапазонах малых и больших возрастов. Вместе с тем, результаты работы показывают, что информация о радиогенном увеличении смертности от онкологических заболеваний, содержащаяся в данных когорты LSS, далеко не исчерпана и что дальнейший анализ этих данных может привести к улучшению моделей радиогенного риска. Помимо уточнения значений параметров моделей МКРЗ путём применения вышеуказанных и иных методических ухищрений, уместно использовать эти данные для обоснования и совершенствования иных видов возрастных зависимостей радиогенных рисков, например как в квазибиологической модели [12].

Выводы

1. По последним опубликованным на сайте RERF данным о смертности в когорте LSS и таблицам смертности для Японии из базы данных ВОЗ рассчитаны матрицы продольных ИС от солидных раков в целом для мужчин и женщин, рождённых с конца 1875 по 1945 г. ИС от солидных раков среди лиц фоновой категории когорты LSS (дозы на ободочную кишку менее 5 мГр) и среди населения Японии в области перекрытия удовлетворительно согласуются между собой, что делает возможным построение фоновых зависимостей для раков по объединённым данным.

2. Для расчёта параметров моделей из Публикации 103 МКРЗ предложен метод глобальной подгонки, основанный на усреднении локальных оценок параметров по ИС в концах различных отрезков возрастов при облучении и достигнутых возрастов, охватываемых исходной матрицей ИС. На примере данных о смертности от солидных раков среди населения Японии и в фоновой категории когорты LSS показано, что при рассчитанных этим методом значениях параметров вышеназванная функция лучше аппроксимирует данные, чем при значениях, соответствующих моделям МКРЗ.

3. Расчёты предложенным методом свидетельствуют о наличии существенных гендерных различий в параметрах для фоновых и для радиогенных солидных раков. Подобные различия в параметрах, рассчитанных по статистически

более надёжным данным для Японии, подтверждают их реальность. В то же время в моделях МКРЗ для мужчин и женщин параметры сомножителей, учитывающих модифицирующее влияние возраста при облучении и достигнутого возраста, одинаковы, а значения сомножителя, определяющего скорость изменения с дозой безотносительно к возрастным переменным, почти не отличаются.

Автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность В.А. Саковичу за многочисленные полезные советы в ходе выполнения работы и конструктивные замечания при подготовке результатов к публикации.

Литература

1. Публикация 103 Международной Комиссии по Радиационной защите. / пер. с англ., под ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
2. Иванов, В.К. Оценка индивидуальных радиационных рисков при различных сценариях планируемого повышенного облучения / В.К. Иванов, О.В. Кайдалов, П.В. Кашеева, А.М. Корело, А.П. Панфилов, Е.К. Василенко // АНРИ. – 2008. – Т. 54, № 3. – С. 8–13.
3. Губин, А.Т. Анализ обобщённых моделей радиогенного риска. Часть 1. Модели МКРЗ. А.Т. Губин, В.А. Сакович // Радиация и риск. – 2016. – Т. 25, № 4. – С. 48–62.
4. Preston DL, Pierce DA. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and non-cancer disease mortality: 1950–1997. Radiat. Res., 2003, Vol. 160, pp. 381–407.
5. Preston DL, Ron E., Tokuoka S. et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. Radiat. Res., 2007, Vol. 168, pp. 1–64.
6. Committee 1. Task Group Report: C1 Foundation Document (FD-C-1). Biological and epidemiological information on health risks attributable to ionizing radiation: A summary of judgements for the purposes of radiological protection of humans: <http://www.icrp.org> (Accessed: October 25, 2016).
7. Официальный сайт Фонда научных исследований радиационных эффектов: <http://www.rerf.or.jp/> (дата обращения: 25.10.2016).
8. База данных о смертности на официальном сайте Всемирной Организации Здравоохранения: http://www.who.int/healthinfo/statistics/mortality_rawdata/en/ (дата обращения: 01.10.2017).
9. Губин, А.Т. Методические проблемы практических оценок радиогенного риска / А.Т. Губин, В.А. Сакович // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 1. – С. 16–22.
10. Preston DL, Kato H., Kopecky KJ, Fujita S. Studies of the mortality of A-bomb survivors. Report 8. Cancer mortality, 1950–1982. Radiat. Res., 1987, Vol. 111, pp. 151–178.
11. Губин, А.Т. Влияние демографических особенностей популяции на оценки коэффициентов радиогенного риска на примере российского населения / А.Т. Губин, В.И. Редько, В.А. Сакович // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 26–36. DOI:10.21514/1998-426X-2016-9-4-26-36.
12. Губин, А.Т. Квазибиологическая модель радиогенной заболеваемости раком / А.Т. Губин, В.И. Редько, В.А. Сакович // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 23–31.

Поступила: 10.07.2018 г.

Губин Анатолий Тимофеевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России. Адрес для переписки: 123182 Москва, ул. Щукинская, д.40; E-mail: atgubin@rambler.ru

Для цитирования: Губин А.Т. Метод глобальной подгонки обобщённых моделей радиогенного риска под данные японской когорты // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 56–73. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-56-73

Method of the global fitting of the generalized radiogenic risk models to the Japanese cohort data*

Anatoly T. Gubin

Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene (RTC RCSH), Moscow, Russia

Generalized radiogenic risk models presented in ICRP Publication 103 have a number of attractive features. The models themselves and the corresponding models of background risks are generalized by a single function containing only three parameters specific to the localization of cancer, sex and risk indicator (absolute or relative; mortality or morbidity). However, there are several discrepancies in the values of model parameters for the individual cancer sites and in some predictions based on these models. The aim of this study was to clarify the possibility of refining the parameters of the ICRP models using the LSS cohort data. The method of calculation of the parameters of these models has been developed and verified based on the data on baseline mortality in the cohort and among entire Japanese population. The method consists in the averaging of the local estimates of the parameters calculated based on the values of the rate of the mortality in the ends of different segments of age at exposure and attained age within the entire examined area of change of these variables. The latest published mortality data in the cohort and mortality tables for Japan from the WHO database were used to calculate the mortality rate matrices. Data on the baseline mortality from solid cancers in LSS were in good agreement with statistically more reliable data for the entire Japanese population. Hence, the latter were used for verification of the method. According to the criteria of absolute and relative standard deviation, the ICRP models at whole better approximate baseline and radiogenic mortality from solid cancers in the cohort based on the values of parameters calculated using the proposed method compared to the values from the ICRP. The sets of parameter values for men and women, calculated from LSS data and for the Japanese population differ significantly, while in ICRP models they are almost the same.

Key words: LSS cohort, radiogenic risks, mathematical modeling of risks, models of absolute and relative risk, solid cancers, mortality, Publication 103 ICRP, gender differences in risks.

References

1. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). (in Russian)
2. Ivanov V.K., Kaidalov O.V. Kashcheeva P.V., Korelo A.M., Panfilov A.P., Vasilenko E.K. Assessment of individual radiation risks for different scenarios of the planned increased exposure. ANRI = ANRI, 2008, Vol. 54, № 3, pp. 8-13. (in Russian)
3. Gubin A.T., Sakovich V.A. Analysis of generalized models of radiogenic risk. Part 1. Models of ICRP. Radiatsiya i risk = Radiation and Risk, 2016, 25 (4): 48-62. (in Russian)
4. Preston DL, Pierce DA. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and non-cancer disease mortality: 1950-1997. Radiat. Res., 2003, Vol. 160, pp. 381-407.
5. Preston DL, Ron E., Tokuoka S. et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. Radiat. Res., 2007, Vol. 168, pp. 1-64.
6. Committee 1. Task Group Report: C1 Foundation Document (FD-C-1). Biological and epidemiological information on health risks attributable to ionizing radiation: A summary of judgements for the purposes of radiological protection of humans: <http://www.icrp.org> (Accessed: October 25, 2016).
7. Electronic resource Radiation Effects Research Foundation. Available from: <http://www.rerf.or.jp> (Accessed: October 25, 2016).
8. Electronic resource World Health Organization. Available from: <http://www.who.int/healthinfo/statistics/mortality/rawdata/en> (Accessed: October 01, 2017).
9. Gubin A.T., Sakovich V.A. Methodological problems of practical radiological risk assessments. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2014, Vol. 7, No. 1, pp. 16-22. (in Russian)
10. Preston D.L., Kato H., Kopecky K.J., Fujita S. Studies of the mortality of A-bomb survivors. Report 8: Cancer mortality, 1950-1982. Radiat. Res., 1987, Vol. 111, pp. 151-178.
11. Gubin A.T., Redko V.I., Sakovich V.A. The impact of the demographic characteristics of the population on estimates of the coefficients of radiogenic risk in the Russian population. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2016; 9(4): 26-36. (in Russian)
12. Gubin A.T., Redko V.I., Sakovich V.A. Quasibiological model cancer incidence. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2015; 8 (4): 23-31. (in Russian)

Received: July 10, 2018

For correspondence: Anatoly T. Gubin – Cand. Sci. (Phys.-math.), Head of Laboratory of Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene (Shukinskaya str., 40, Moscow, Russia, 123182; E-mail: atgubin@rambler.ru)

For citation: Gubin A.T. Method of the global fitting of the generalized radiogenic risk models to the Japanese cohort data. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 3, pp. 56-73. (In Russian)
DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-56-73

* This report makes use of data obtained from the Radiation Effects Research Foundation (RERF), Hiroshima and Nagasaki, Japan. RERF is a private, non-profit foundation funded by the Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW) and the U.S. Department of Energy (DOE), the latter in part through DOE Award DE-HS0000031 to the National Academy of Sciences. The conclusions in this report are those of the authors and do not necessarily reflect the scientific judgment of RERF or its funding agencies.

Anatoly T. Gubin

Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene

Address for correspondence: Shukinskaya str., 40, Moscow, Russia, 123182; E-mail: atgubin@rambler.ru

Приложение

Матрицы интенсивности смертности (ИС) от солидных раков в когорте LSS и среди населения Японии, использованные в расчётах

Supplement

[Matrixes of the mortality rate (MR) from the solid cancers in the LSS cohort and Japanese population used in calculations]

Таблица П1

ИС от солидных раков (1/год) мужчин фоновой категории (доза <5 мГр) когорты LSS, умноженные на 1000

[Table P1]

MR from the solid cancers (1/year) for men's of the baseline category (dose<5 mGy) of the LSS cohort, multiplied by 1000]

Возрастной интервал [Age interval]	Центры 5-летних интервалов возрастов при облучении: [Centers of the 5-year age at exposure intervals]														
	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5	
0-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-9	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-14	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-19	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-24	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-29	0	0	0	0,148	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-34	0,190	0,361	0,0931	0	0	0,717	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35-39	0,191	0	0,189	0,613	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
40-44	0,677	0,858	1,06	0,624	0	0,909	0,255	0,464	-	-	-	-	-	-	-
45-49	0,884	1,62	1,18	1,12	1,70	1,24	0,263	0,426	1,51	-	-	-	-	-	-
50-54	2,00	1,66	1,63	2,30	4,13	1,28	1,63	1,77	1,76	1,52	-	-	-	-	-
55-59	3,02	2,92	4,14	4,12	2,47	4,01	5,18	4,95	3,41	4,72	2,69	-	-	-	-
60-64	3,95	4,73	6,74	5,46	3,28	6,15	5,99	7,52	7,69	5,85	5,05	6,83	-	-	-
65-69	-	6,39	7,48	11,8	7,01	10,8	8,83	9,15	9,35	8,68	10,9	12,2	6,15	-	-
70-74	-	-	13,8	12,2	10,1	15,6	12,2	12,0	12,3	16,6	13,5	12,4	9,52	13,4	
75-79	-	-	-	21,9	13,3	22,8	17,8	23,8	18,2	18,4	13,4	11,8	11,8	10,7	
80-84	-	-	-	-	26,7	24,1	19,9	19,3	23,7	15,8	18,8	15,9	20,0	13,5	
85-89	-	-	-	-	-	27,9	41,6	31,0	23,6	27,2	30,8	35,0	12,3	14,9	
90-94	-	-	-	-	-	-	63,9	37,5	22,5	32,4	0	20,6	15,5	15,6	
95-99	-	-	-	-	-	-	-	110	47,6	25,8	22,3	133	0	0	
100-104	-	-	-	-	-	-	-	-	94,0	120	0	0	0	0	

Таблица П2
[Table P2]

ИС от солидных раков (1/год) женщин фоновой категории (доза <5 мГр) когорты LSS, умноженные на 1000
MR from the solid cancers (1/year) for women of the baseline category (dose<5 mGy) of the LSS cohort, multiplied by 1000]

Возрастной интервал [Age interval]	Центры 5-летних интервалов возрастов при облучении: [Centers of the 5-year age at exposure intervals]													
	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5
0-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-9	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-14	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-19	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-24	0,0897	0,120	0,103	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-29	0,0901	0,120	0,311	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-34	0,181	0,485	0	0,333	0,391	0	-	-	-	-	-	-	-	-
35-39	0,182	0,122	0,528	0,168	0,396	0,490	1,08	-	-	-	-	-	-	-
40-44	0,275	0,735	0,958	0,508	0,401	0,249	0,988	0,916	-	-	-	-	-	-
45-49	0,553	0,866	0,755	1,37	1,12	1,26	1,38	1,33	0,242	-	-	-	-	-
50-54	1,12	1,25	0,873	1,13	1,55	1,42	2,05	2,28	2,12	1,34	-	-	-	-
55-59	1,28	1,91	1,55	1,77	2,96	1,32	1,84	2,37	1,97	2,64	1,73	-	-	-
60-64	1,17	1,66	2,60	2,54	2,73	2,04	2,99	2,35	3,86	3,66	2,92	3,06	-	-
65-69	-	1,95	3,54	3,39	3,74	2,70	4,30	3,39	3,31	3,79	5,40	3,58	6,70	-
70-74	-	-	4,01	4,72	5,90	5,78	6,37	6,23	5,24	5,79	9,31	5,27	6,35	2,78
75-79	-	-	-	4,90	6,60	6,24	7,97	7,57	5,78	8,30	10,5	7,17	8,37	6,69
80-84	-	-	-	-	8,30	10,5	11,3	10,2	9,30	12,1	17,4	11,7	9,47	6,01
85-89	-	-	-	-	-	11,2	14,3	13,6	15,6	12,9	9,31	14,5	7,79	4,65
90-94	-	-	-	-	-	-	11,4	20,8	17,7	17,6	10,9	12,3	9,78	0
95-99	-	-	-	-	-	-	-	22,5	28,5	16,3	29,5	16,9	0	0
100-104	-	-	-	-	-	-	-	-	0	36,7	0	0	0	0

Таблица П3

ИС мужчин населения Японии от солидных раков, умноженные на 1000

[Table P3]

MR from the solid cancers (1/year) for men's of the Japanese population, multiplied by 1000]

Возрастной интервал [Age interval]	Центры 5-летних интервалов возрастов при облучении: [Centers of the 5-year age at exposure intervals]													58,1
	3,1	8,1	13,1	18,1	23,1	28,1	33,1	38,1	43,1	48,1	53,1	58,1	58,1	
0-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-14	0,0104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-19	0,0230	0,0191	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-24	0,0453	0,0361	0,0308	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-29	0,0874	0,0813	0,0689	0,0631	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-34	0,150	0,157	0,153	0,144	0,131	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35-39	0,270	0,293	0,304	0,302	0,297	0,284	-	-	-	-	-	-	-	-
40-44	0,465	0,527	0,567	0,558	0,588	0,596	0,592	-	-	-	-	-	-	-
45-49	0,871	1,01	1,07	1,02	1,08	1,16	1,18	1,15	-	-	-	-	-	-
50-54	1,60	1,87	2,00	1,82	1,87	2,03	2,13	2,17	2,10	-	-	-	-	-
55-59	2,93	3,27	3,49	3,25	3,22	3,36	3,55	3,72	3,67	3,53	-	-	-	-
60-64	4,53	5,41	5,65	5,28	5,15	5,24	5,49	5,86	5,80	5,71	5,32	-	-	-
65-69	6,53	7,62	8,71	8,06	7,94	8,05	8,07	8,56	8,63	8,44	8,00	7,36	-	-

Таблица П4

ИС женщин населения Японии от солидных раков, умноженные на 1000

[Table P4]

MR from the solid cancers (1/year) for women of the Japanese population, multiplied by 1000]

Возрастной интервал [Age interval]	Центры 5-летних интервалов возрастов при облучении: [Centers of the 5-year age at exposure intervals]													58,1
	3,1	8,1	13,1	18,1	23,1	28,1	33,1	38,1	43,1	48,1	53,1	58,1	58,1	
0-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Окончание таблицы П4

Возрастной интервал [Age interval]	Центры 5-летних интервалов возрастов при облучении: [Centers of the 5-year age at exposure intervals]													
	3,1	8,1	13,1	18,1	23,1	28,1	33,1	38,1	43,1	48,1	53,1	58,1		
10-14	0,0112	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
15-19	0,0221	0,0198	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
20-24	0,0507	0,0428	0,0377	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
25-29	0,112	0,115	0,105	0,101	-	-	-	-	-	-	-	-		
30-34	0,216	0,229	0,243	0,243	0,245	-	-	-	-	-	-	-		
35-39	0,343	0,376	0,409	0,440	0,473	0,530	-	-	-	-	-	-		
40-44	0,505	0,568	0,638	0,688	0,770	0,863	0,941	-	-	-	-	-		
45-49	0,752	0,815	0,922	1,01	1,11	1,25	1,33	1,45	-	-	-	-		
50-54	1,11	1,17	1,28	1,39	1,52	1,72	1,84	1,95	2,06	-	-	-		
55-59	1,60	1,62	1,71	1,84	2,03	2,22	2,44	2,60	2,68	2,76	-	-		
60-64	2,08	2,31	2,32	2,45	2,70	2,88	3,19	3,47	3,57	3,62	3,65	-		
65-69	2,76	3,03	3,28	3,31	3,52	3,84	4,15	4,50	4,79	4,84	4,90	4,74		

Таблица П5

Радиогенные ИС от солидных раков (1/(Гр год)) мужчин когорты LSS, умноженные на 1000
Radiogenic MR from the solid cancers (1/(Gy year) for men's of LSS cohort, multiplied by 1000]

Возрастной интервал [Age interval]	Центры 5-летних интервалов возрастов при облучении: [Centers of the 5-year age at exposure intervals]													
	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5
0-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-9	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-14	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-19	0,319	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-24	0	0	0,367	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-29	0,323	0	0,372	-0,171	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-34	-0,539	0,190	0,331	1,02	0	-0,709	-	-	-	-	-	-	-	-
35-39	-0,219	3,25	1,05	-1,24	0	1,11	4,08	-	-	-	-	-	-	-
40-44	-0,782	-1,08	-0,127	-0,205	5,66	-0,700	-0,213	4,97	-	-	-	-	-	-
45-49	1,99	-4,51	0,576	5,76	1,93	0,274	2,72	2,83	-0,0611	-	-	-	-	-
50-54	2,86	6,23	5,31	2,39	-10,8	4,09	6,72	1,91	3,93	0,978	-	-	-	-

[Table P5]

Окончание таблицы П5

Возрастной интервал [Age interval]	Центры 5-летних интервалов возрастов при облучении: [Centers of the 5-year age at exposure intervals]													
	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5
55-59	-0,857	7,21	2,15	8,14	14,1	-3,93	-13,0	-4,72	-2,05	1,63	13,4	-	-	-
60-64	4,28	2,62	10,7	5,63	30,8	5,82	1,13	-5,86	-6,19	1,87	3,39	-1,97	-	-
65-69	-	-0,521	18,3	-6,31	6,02	-7,23	-4,81	14,7	-1,14	14,2	-15,1	-9,44	-4,93	-
70-74	-	-	2,47	9,15	18,0	-4,42	4,30	12,3	-6,44	-24,0	-3,13	0,217	14,9	-7,40
75-79	-	-	-	-18,3	28,0	-19,0	-11,4	-17,2	-6,14	5,00	10,1	30,2	13,7	4,27
80-84	-	-	-	-	-39,9	-22,5	5,38	41,9	20,0	2,69	-1,34	-14,0	-14,0	-10,1
85-89	-	-	-	-	-	-17,8	-75,7	-46,8	28,0	-50,8	-56,4	-55,7	0,886	8,16
90-94	-	-	-	-	-	-	-38,3	-55,1	-5,09	41,0	103	7,44	42,4	59,4
95-99	-	-	-	-	-	-	-	-394	-154	-71,0	-102	-605	292	0
100-104	-	-	-	-	-	-	-	-	-428	-545	0	0	0	0

Таблица П6

Радиоогенные ИС от солидных раков (1/(Гр год)) женщин когорты LSS, умноженные на 1000

Radiogenic MR from the solid cancers (1/(Gy year) for women of LSS cohort, multiplied by 1000]

Возрастной интервал [Age interval]	Центры 5-летних интервалов возрастов при облучении: [Centers of the 5-year age at exposure intervals]													
	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5
0-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-9	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-14	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-19	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-24	-0,444	-0,104	-0,507	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-29	-0,446	-0,105	-1,09	0,346	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-34	2,14	-0,920	0,450	-0,947	-0,346	1,95	-	-	-	-	-	-	-	-
35-39	2,83	0,880	2,40	2,35	0,0442	-0,0943	-1,63	-	-	-	-	-	-	-
40-44	2,06	0,848	0,797	0,346	2,89	3,97	0,762	2,28	-	-	-	-	-	-
45-49	0,362	1,24	0,928	-0,990	0,670	1,91	-0,183	-1,34	11,4	-	-	-	-	-
50-54	1,42	5,01	5,61	2,17	4,08	1,80	2,61	1,13	2,89	8,56	-	-	-	-
55-59	1,80	-1,13	1,01	5,19	-4,31	7,09	0,249	3,71	7,98	3,66	5,28	-	-	-
60-64	11,1	2,02	-1,98	-0,203	3,83	5,02	0,263	6,30	-1,41	-0,218	2,45	-3,22	-	-

Table P6

Возрастной интервал [Age interval]	Центры 5-летних интервалов возрастов при облучении: [Centers of the 5-year age at exposure intervals]													
	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5
65-69	-	2,18	2,69	2,88	-1,27	9,48	-0,898	10,1	6,36	2,42	3,26	4,64	-9,96	-
70-74	-	-	0,0419	0,457	-5,08	5,42	3,00	-1,21	14,6	2,69	-13,2	15,4	10,2	-2,40
75-79	-	-	-	4,91	-3,45	6,21	-9,41	8,99	24,7	2,71	2,13	19,2	-7,34	-10,6
80-84	-	-	-	-	13,6	-6,95	-15,8	9,36	9,27	0,108	-37,3	-15,0	7,58	7,66
85-89	-	-	-	-	-	34,9	-1,70	20,4	7,52	-3,32	8,25	-23,5	2,07	14,2
90-94	-	-	-	-	-	-	16,5	-10,2	-13,8	0,0492	-5,72	3,54	49,5	0
95-99	-	-	-	-	-	-	-	-27,6	-17,3	5,22	-1,22	-30,8	0	0
100-104	-	-	-	-	-	-	-	-	143	-42,6	0	190	266	0

Содержание изотопов урана в подземных источниках водоснабжения населения Ленинградской области и Санкт-Петербурга

М.В. Кадука¹, Л.Н. Басалаева¹, Т.А. Бекашева¹, С.А. Иванов¹, Н.В. Салазкина¹, В.В. Ступина¹,
А.Н. Кадука²

¹Санкт-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

²Санкт-Петербургский противотуберкулезный диспансер № 3, Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования — определение удельной активности ^{234}U и ^{238}U в воде подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга и оценка возможности использования исследованных подземных водоисточников с точки зрения радиационной и химической токсичности основных дозообразующих изотопов урана, обычно представленных в подземных водах. Объектом исследования в данной работе является вода действующих и разведочных подземных источников водоснабжения относительно безопасности ее потребления по радиационному и химическому показателю. Данные о величинах удельной активности природных изотопов урана в изучаемых источниках были получены в результате радиохимического анализа с последующим альфа-спектрометрическим измерением счетных образцов. В период с февраля 2011 г. по май 2017 г. был осуществлен анализ 58 проб природной воды из артезианских скважин. Объем проб составлял от 10 л до 30 л, время измерения удельной активности счетного образца составляло 6–12 ч, что позволило определять значение удельной активности радионуклидов на уровне 0,0002 Бк/кг. Значения удельной активности ^{238}U варьировали в пределах от 0,0002 Бк/кг до 0,06 Бк/кг при среднем значении 0,007 Бк/кг, ^{234}U — от 0,0006 Бк/кг до 0,111 Бк/кг при среднем значении 0,013 Бк/кг. Среднее значение соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 2,12 при диапазоне данной величины от 1,00 до 8,00. Результаты проведенных исследований показали, что для проб, отобранных в пределах одного водоносного горизонта небольшого населенного пункта, удельная активность изотопов урана может отличаться более чем на порядок величины. Для подавляющего большинства проанализированных проб значение удельной активности ^{238}U не превышает 0,02 Бк/кг, ^{234}U — 0,04 Бк/кг. Для 98,3% проанализированных проб значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,00–4,00. С большой долей вероятности можно утверждать, что по содержанию ^{238}U и ^{234}U вода подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга безопасна для потребления населением, как с точки зрения радиологического фактора, так и с точки зрения химической токсичности.

Ключевые слова: вода подземных источников водоснабжения, изотопы урана, радиохимический анализ, удельная активность, соотношение удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

Введение

В состав природной смеси изотопов урана входят ^{234}U , ^{235}U и ^{238}U . Относительное содержание в природе трех изотопов урана с массовыми числами 234, 235 и 238 равно 0,006%, 0,71% и 99,28% соответственно. Данных о содержании урана в горных породах и жидких природных соединениях еще относительно мало, и качественная оценка распространенности этого элемента в земной коре только приближительна. Концентрация урана в некоторых подземных водах РФ, не связанных с урановыми месторождениями, находится в пределах $0,2\text{--}120\cdot 10^{-6}\text{ г/л}$. [1].

В настоящее время важное значение приобретает проблема разведки, радиологического мониторинга и рационального использования подземных, в частности артезианских вод. Это связано с ростом промышленного загрязнения бассейнов рек и водохранилищ. Вода из глубоких подземных источников, как правило, не несет в себе промышленных, сельскохозяйственных и других химических загрязнений, но может характеризоваться повышенным содержанием природных альфа-излучающих радионуклидов вследствие их выщелачивания из водовмещающих пород.

Кадука Марина Валерьевна

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

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

По условиям залегания подземные воды делятся на почвенные, грунтовые, межпластовые. В состав последних входят и так называемые минеральные воды, часто отличающиеся сравнительно высокой радиоактивностью. Как правило, уровень активности подземных вод зависит от их химического состава, который определяется физико-химическими, физико-географическими, геологическими, гидрологическими, биологическими и другими факторами [2]. Вследствие этого радионуклидный состав подземных вод и уровни содержания природных радионуклидов, в том числе изотопов урана, в подземных водах варьирует в значительных пределах.

Уровень вмешательства по содержанию ^{234}U в воде, определенный Приложением 2а к НРБ-99/2009¹, составляет 2,8 Бк/кг, ^{235}U – 2,9 Бк/кг, ^{238}U – 3,0 Бк/кг. При этом следует принимать во внимание химическую токсичность данного элемента. Подробное обоснование данного положения изложено в работах [3, 4]. В Руководстве ВОЗ по питьевой воде [5] обсуждение вопросов ограничения содержания урана в питьевой воде вынесено в отдельный раздел, что связано с важностью контроля питьевой воды по данному показателю. В качестве уровня вмешательства по химической токсичности для смеси изотопов природного урана рекомендуется его содержание на уровне до 30 мкг/л (приблизительно 0,37 Бк/л) при стандартном потреблении воды 2 л в сутки. При более высоком содержании урана в воде рекомендуется принятие мер по снижению поступления его в организм за счет потребления питьевой воды.

Цель исследования – определение удельной активности ^{234}U и ^{238}U в воде подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга и оценка возможности использования исследованных подземных водоисточников с точки зрения радиационной и химической токсичности основных дозообразующих изотопов урана, обычно представленных в подземных водах.

Материалы и методы

Объектом исследования в данной работе является вода действующих и разведочных (планируемых к введению в эксплуатацию) подземных источников водоснабжения населения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга с точки зрения безопасности ее потребления по радиационному и химическому показателю. Данные о величинах удельной активности природных изотопов урана в изучаемых источниках были получены в результате радиохимического анализа проб воды, отобранных из артезианских скважин Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга по методике, разработанной в Научно-исследовательском институте радиационной гигиены (НИИРГ)² [6]. Используемые в методике приемы концентрирования и селективного выделения групп изотопов одного или нескольких элементов, отделения их от макрокомпонентов, радиохимической очистки каждого

радионуклида и приготовления счетного образца для измерения активности изложены в работе [7].

В соответствии с методикой² [6] при приготовлении счетных образцов для измерения удельной активности природных радионуклидов из аликвоты пробы массой 10 кг путем радиохимического анализа приготавливают счетные образцы, содержащие отдельные радионуклиды. Активность каждого радионуклида определяют с помощью альфа-бета – радиометра или альфа-спектрометра, предварительно отградуированных в единицах активности.

Метод определения содержания в воде ^{238}U и ^{234}U основан на хроматографическом выделении суммы изотопов урана с использованием анионита ЭДЭ-10П (или другого полифункционального низкоосновного анионита конденсационного типа) с последующим альфа-спектрометрическим определением активности радионуклидов. Для определения химического выхода урана на начальном этапе анализа в пробу вводят изотопный индикатор – ^{232}U . Активность вносимого ^{232}U не должна превышать ожидаемых в пробе воды активностей ^{238}U и ^{234}U более чем в 5–10 раз. Как правило, в пробу вносят 0,2–0,3 Бк ^{232}U . Раствор, оставшийся после выделения из него ^{210}Po и ^{210}Bi , упаривают до 20–30 мл, добавляют 10 мл смеси концентрированных HCl и HNO_3 (объемное соотношение 1:1), накрывают часовым стеклом и кипятят до образования влажных солей. Операцию повторяют несколько раз до полного разложения органических веществ (в основном лимонной и аскорбиновой кислот). Влажные соли обрабатывают концентрированной HCl до удаления HNO_3 , растворяют в 50 мл 8 н HCl и пропускают раствор через колонку диаметром 10 мм с 15 мл предварительно подготовленной анионообменной смолы ЭДЭ-10П со скоростью 1 мл/мин. Затем через колонку пропускают 70 мл 8 н HCl . Изотопы урана элюируют с колонки 0,5 н HCl . Объем элюата должен составлять 100–150 мл, что обеспечивает полноту десорбции урана. Полученный раствор упаривают до 10–20 мл, приливают 10 мл 10% раствора углекислого аммония, устанавливают $\text{pH}=8\text{--}9$ с помощью раствора аммиака, нагревают до коагуляции осадка, затем отфильтровывают осадок через фильтр «белая лента», промывают 5 мл 2% раствора углекислого аммония. Далее проводят пересаживание осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$ для более полного отделения изотопов урана от мешающих элементов. Для этой цели отфильтрованный и промытый осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$ растворяют в 20 мл 0,5 н HCl и повторяют процесс осаждения $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в присутствии раствора карбоната аммония. К объединенным фильтратам, содержащим растворимый карбонатный комплекс $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$, осторожно приливают смесь HNO_3 и HCl (1:1), накрывают часовым стеклом и кипятят до разрушения аммонийных солей (операцию необходимо повторить 2–4 раза). Удаление HNO_3 проводят обработкой влажных солей концентрированной HCl . К полученному сухому остатку добавляют 10 см³ 0,5 н HNO_3 и нагревают. К полученному раствору прибав-

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 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 methodic». M. Rospotrebnadzor, 63 p.]

ляют 5 см³ 1% раствора трилона Б, 1 см³ насыщенного (NH₄)₂C₂O₄ и 1 см³ 25% NH₄Cl. Доводят аммиаком pH до 9, переносят в электролитическую ячейку, стакан обмывают 5 см³ дистиллированной воды. Промывные воды также переносят в электролитическую ячейку. Электролиз проводят при силе тока 2 А в течение 0,5 ч. В ходе электролиза контролируют pH раствора, поддерживая его на уровне 9. За минуту до окончания электролиза в раствор добавляют 1 мл раствора аммиака. Разбирают ячейку, вынимают мишень (диск из нержавеющей стали), промывают этиловым спиртом и прокалывают на спиртовке до слегка желтого цвета. Полученный препарат является счетным образцом для измерения активности изотопов урана на альфа-спектрометре.

Результаты и обсуждение

В период с февраля 2011 г. по май 2017 г. (включительно) был осуществлен анализ 58 проб природной воды из артезианских скважин, расположенных на территории 11 населенных пунктов 6 районов Ленинградской области и 3 проб, отобранных из месторождения подземных вод «Александровское» на территории г. Пушкин г. Санкт-

Петербурга с определением удельной суммарной альфа- и бета-активности и удельной активности основных дозообразующих радионуклидов, включая ²³⁸U и ²³⁴U. Объем проб, отобранных для анализа, составлял от 10 л до 30 л. При этом время измерения удельной активности счетного образца (диск из нержавеющей стали), содержащего соединения альфа-излучающих изотопов урана, составляло 6–12 ч, что позволило определять значение удельной активности радионуклидов на уровне 0,0002 Бк/кг. Результаты альфа-спектрометрического определения удельной активности ²³⁸U и ²³⁴U в отобранных пробах подземных водоисточников представлены в таблице 1. Присутствия в воде обследованных водоисточников ²³⁵U обнаружено не было.

Среднее значение удельной активности ²³⁸U с учетом его содержания во всех проанализированных пробах составило 0,007 Бк/кг, ²³⁴U – 0,013 Бк/кг, среднее значение соотношения удельных активностей ²³⁴U/²³⁸U составило 2,12.

Диапазоны значений удельной активности ²³⁸U и ²³⁴U в отобранных пробах подземных водоисточников и диапазоны соотношения ²³⁴U/²³⁸U представлены в таблице 2.

Таблица 1
Средние значения удельной активности и соотношения изотопов урана (²³⁸U и ²³⁴U) в пробах воды подземных водоисточников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга

[Table 1]

Average values of specific activity and the ratio of uranium isotopes (²³⁸U and ²³⁴U) in the samples of in the water of groundwater supplies of Leningrad region and St-Petersburg]

Место отбора [Place of sampling]	Число проб [Number of samples]	²³⁸ U, Бк/кг [²³⁸ U, Bq/kg]	²³⁴ U, Бк/кг [²³⁴ U, Bq/kg]	²³⁴ U/ ²³⁸ U	Глубина отбора, м [Sampling depth]	Порода [Rock]*
Кингисеппский район [Kingisepp region]						
Хаболово [Khabolovo]	8	0,0027	0,0045	2,45	55 – 59	Песок мелкий [Fine sand]
Усть-Луга [Ust' Luga]	5	0,0044	0,0076	2,00	26	Песок [Sand]
	1	0,0003	0,0005	1,67	163	Песок [Sand]
Кингисепп [Kingisepp]	5	0,0053	0,0086	1,97	155 – 165	Глина [Clay]
Волосовский район [Volosovo region]						
Карстолово [Karstolovo]	4	0,0135	0,0245	1,83	10,5 – 60	Известняк [Limestone]
Выборгский район [Viborg region]						
Озерское [Ozerskoie]	17	0,0044	0,0058	1,51	6,6 – 25	Гранито-гнейсы [Granite-gneiss]
Каменногорск [Kamennogorsk]	5	0,0024	0,0025	1,02	9,0	Песок [Sand]
Таммисуо [Tammisuo]	3	0,0024	0,0046	2,46	15 – 15,5	Граниты [Granite]
Бусловская [Buslovskaya]	1	0,0060	0,0100	1,67	20	Граниты [Granite]
Всеволожский район [Vsevolzhsk region]						
Мурино [Murino]	2	0,0030	0,0160	6,00	50	Глина [Clay]

Окончание таблицы 1

Место отбора [Place of sampling]	Число проб [Number of samples]	^{238}U , Бк/кг [^{238}U , Bq/kg]	^{234}U , Бк/кг [^{234}U , Bq/kg]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	Глубина отбора, м [Sampling depth]	Порода [Rock]*
Гатчинский район [Gatchina region]						
Гатчина [Gatchina]	3	0,0393	0,0673	1,72	25	Песок [Sand]
Тосненский район [Tosno region]						
Тосно [Tosno]	1	0,0120	0,0220	1,83	100	Известняк [Limestone]
г. Санкт-Петербург [Saint-Petersburg]						
Пушкин [Pushkin]	3	0,0137	0,0403	2,67	300	Глина [Clay]

* – основная водовмещающая порода горизонта отбора проб [the main water-bearing rock of the sampling horizon].

Таблица 2

Диапазоны значений удельной активности и соотношения изотопов урана (^{238}U и ^{234}U) в пробах воды подземных водоисточников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга

[Table 2]

Range of specific activity and the ratio of uranium isotopes (^{238}U and ^{234}U) in the samples of in the water of groundwater supplies of Leningrad region and St-Petersburg]

Место отбора [Place of sampling]	Число проб [Number of samples]	^{238}U , Бк/кг [^{238}U , Bq/kg]	^{234}U , Бк/кг [^{234}U , Bq/kg]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
Хаболово [Khabolovo]	8	0,0002–0,009	0,0006–0,013	1,35–4,0
Усть-Луга (26 м) [Ust' Luga, 26 m]	5	0,002–0,014	0,002–0,028	2,00
Усть-Луга (163 м) [Ust' Luga, 163 m]	1	0,0003	0,0005	1,67
Кингисепп [Kingisepp]	5	0,0014–0,019	0,002–0,034	1,79–2,14
Карстолово [Karstolovo]	4	0,008–0,021	0,013–0,035	1,42–2,69
Озерское [Ozerskoie]	17	0,0014–0,019	0,002–0,022	1,00–2,00
Каменногорск [Kamennogorsk]	5	0,002–0,004	0,002–0,004	1,00–1,05
Таммисуо [Tammisuo]	3	0,0013–0,004	0,002–0,008	2,00–2,92
Бусловская [Buslovskaya]	1	0,0060	0,0100	1,67
Мурино [Murino]	2	0,002–0,004	0,016	4,00–8,00
Гатчина [Gatchina]	3	0,019–0,060	0,032–0,100	1,67–1,79
Тосно [Tosno]	1	0,0120	0,0220	1,83
Пушкин [Pushkin]	3	0,002–0,037	0,005–0,111	2,50–3,00

Значения удельной активности ^{238}U варьировали в пределах от 0,0002 Бк/кг до 0,06 Бк/кг, ^{234}U – от 0,0006 Бк/кг до 0,111 Бк/кг. Результаты исследования содержания альфа-излучающих изотопов урана в воде подземных водоисточников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга, представленные в таблице 2, хорошо согласуются с данными авторов, проводивших исследования в других регионах России. Для сравнения, по данным изотопной лаборатории ВИМС, активность ^{238}U в подземных водах средней полосы европейской части России варьирует в пределах 0,006–0,06 Бк/кг, а активность ^{234}U находится в пределах 0,008–0,09 Бк/кг [8].

Известно, что для природных подземных вод характерно соотношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ более 1. По данным работы [8], для подземных вод осадочных пород средней полосы европейской части России значение соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составляет 1,2–2,5.

По результатам наших исследований соотношение удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ для подземных вод Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга (см. табл. 2) варьировало от 1,00 до 8,00 при среднем значении соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ – 2,12. Полученные значения соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ хорошо согласуются и с данными авторов, проводивших исследования подземных вод на севере европейской части России в Архангельской области в районе реки Северная Двина [9]. По данным авторов работы [9], соотношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в исследованных подземных водоисточниках (28 проб) составило 1,92–7,13 при среднем значении 5,00. Значение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, равное 15,92, полученное исследователями [9] для скважины Лазурный-1 в 2007 г., в расчет не принималось, так как при исследовании воды той же скважины в 2005, 2006, 2008 и 2010 гг. соотношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,92–7,13. Это позволяет предположить вероятность технической ошибки при проведении исследования в 2007 г. или временного резкого изменения условий эксплуатации скважины, вызванного антропогенным или природным фактором, что привело к резкому увеличению значения соотношения изотопов урана в воде.

В результате проведенного нами исследования было установлено, что значения активности изотопов урана в пробах воды подземных водоисточников в пределах одного населенного пункта, предположительно отобранных из одного водоносного горизонта, могут различаться на порядок величины. Так, в 2012–2013 гг. было проанализировано 17 проб, отобранных из 6 скважин в поселке Озерское Каменногорского городского поселения Выборгского района Ленинградской области. Отбор проб воды для анализа проводили в зимний, весенний, летний и осенний сезоны года. Глубина отбора составила 6,6–25 м, отбор проводился из водоносного горизонта залежей четвертичных отложений, в основном состоящих из гранито-гнейсов. Значения удельной активности ^{238}U в воде скважин п. Озерское варьировали в пределах от 0,0014 Бк/кг до 0,019 Бк/кг, ^{234}U – от 0,002 Бк/кг до 0,022 Бк/кг. Таким образом, удельная активность ^{238}U для отобранных в пределах одного водоносного горизонта небольшого населенного пункта проб различалась в 13,6 раза, ^{234}U – в 11 раз. Значение соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,00–2,00. Следовательно, диапазон вариаций природных активностей изотопов урана в пределах одного водоносного горизонта одного населенного пункта может быть весьма значительным.

Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений удельной активности ^{238}U представлено на рисунке 1.

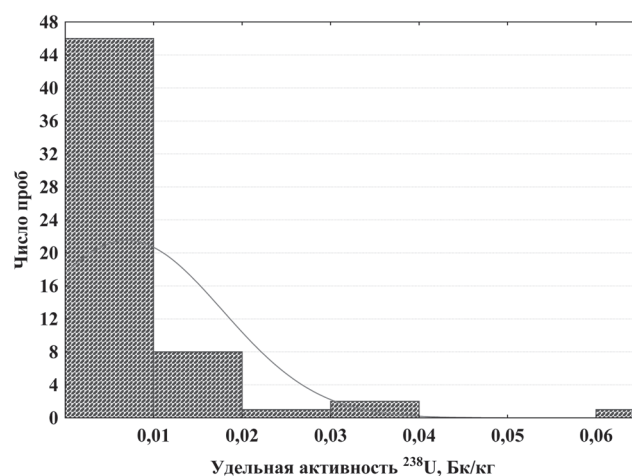


Рис. 1. Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений удельной активности ^{238}U

[Fig. 1. Distribution of the investigated samples by the ranges of ^{238}U specific activity values]

Как видно из представленных на рисунке 1 данных, для подавляющего большинства проанализированных проб значение удельной активности ^{238}U не превышает 0,02 Бк/кг. В диапазоне значений 0,0002–0,01 Бк/кг по удельной активности ^{238}U находится 79,3% проб, в диапазоне 0,011–0,02 Бк/кг находится 13,8% проб, в диапазоне 0,021–0,04 Бк/кг находится 5,2% проб. Значение удельной активности ^{238}U для оставшихся 1,7% проб (с удельной активностью ^{238}U более 0,04 Бк/кг) не превышает 0,06 Бк/кг при уровне вмешательства по содержанию данного радионуклида в воде, определенном приложением 2а к НРБ-99/2009, – 3,0 Бк/кг.

Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений удельной активности ^{234}U представлено на рисунке 2.

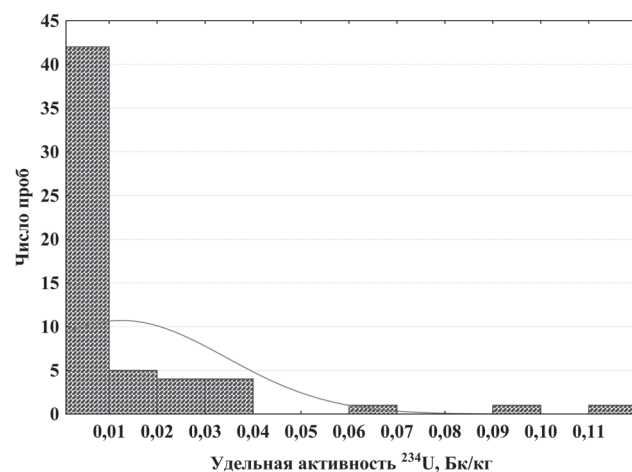


Рис. 2. Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений удельной активности ^{234}U

[Fig. 2. Distribution of the investigated samples by the ranges of ^{234}U specific activity values]

Как видно из представленных на рисунке 2 данных, для подавляющего большинства проанализированных проб значение удельной активности ^{234}U не превышает 0,04 Бк/кг. В диапазоне значений 0,0006–0,01 Бк/кг по удельной активности ^{234}U находится 72,4% проб, в диапазоне 0,011–0,02 Бк/кг находится 8,6% проб, в диапазоне 0,021–0,04 Бк/кг находится 13,8% проб. Значение удельной активности ^{234}U для оставшихся 5,2% проб (с удельной активностью ^{234}U более 0,04 Бк/кг) не превышает 0,111 Бк/кг при уровне вмешательства по содержанию данного радионуклида в воде, определенном приложением 2а к НРБ-99/2009, – 2,8 Бк/кг.

Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ представлено на рисунке 3.

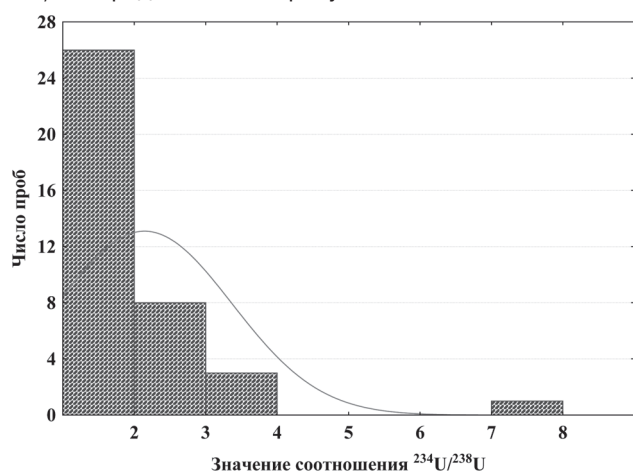


Рис. 3. Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$

[Fig. 3. Distribution of the investigated samples by the ranges of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ specific activity values ratio]

Для 57 из 58 проанализированных проб (98,3%) значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,00–4,00. Для одной из всех проанализированных проб (1,7%), отобранной в деревне Мурино Всеволожского района, глубина скважины 50 м, водовмещающая порода – глина, значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 8,00. В диапазоне значений 1,00–2,00 по величине соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ находится 79,3% проб, в диапазоне 2,01–3,00 находится 13,8% проб, в диапазоне 3,01–4,00 находится 5,2% проб.

В радиохимической лаборатории НИИРГ с 2002 г. по настоящее время было выполнено определение содержания ^{238}U в 331 пробе питьевой воды подземных вод источников г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Результаты исследований представлены в работах [10–12]. Удельную активность ^{234}U начали определять с

февраля 2011 г. после внедрения в работу лаборатории альфа-спектрометра Alpha Ensemble фирмы AMETEC, предназначенного для измерения высокоактивных образцов и сложных спектров-мультиплетов с возможностью одновременного независимого измерения 8 образцов разной активности. Содержание ^{234}U определили в 58 пробах, отобранных на территории Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга. Нормативно-методические документы предписывают определять удельную активность ^{234}U в воде всех подземных источников, для которых значение удельной суммарной альфа-активности с учетом неопределенности измерений превысило 0,4 Бк/кг³. При этом корректное определение удельной активности альфа-излучающих изотопов урана в пробах воды требует наличия в лаборатории дорогостоящего альфа-спектрометрического оборудования. Кроме того, приготовление счетного образца для альфа-спектрометрического определения активности альфа-излучающих радионуклидов, калибровка оборудования и обработка спектра требуют достаточно высокой квалификации персонала, проводящего данные виды работ.

В результате исследований, проведенных в НИИРГ с 2002 г. по настоящее время, было установлено, что для воды обследованных подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга (331 проба) максимальная удельная активность ^{238}U составила 0,073 Бк/кг. При этом по результатам исследований, приведенных в данной работе, соотношение удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ для абсолютного большинства проб (98,3%) не превышало 4. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что для пробы воды, для которой было обнаружено максимальное значение удельной активности ^{238}U (0,073 Бк/кг), значение удельной активности ^{234}U , вероятнее всего, не превысит 0,292 Бк/кг. Суммарное содержание ($^{238}\text{U} + ^{234}\text{U}$) при этом составит 0,365 Бк/кг.

Ввиду того, что для абсолютного большинства проб воды подземных источников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга значение соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ не превысит 4, при значении удельной активности ^{238}U в пробе воды не превышающем 0,7 Бк/кг (с учетом неопределенности измерения), проводить дорогостоящее альфа-спектрометрическое определение содержания ^{234}U не является целесообразным. Таким образом, с большой долей вероятности можно утверждать, что по содержанию альфа-излучающих изотопов урана (^{238}U , ^{234}U) вода подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга безопасна для потребления населением, как с точки зрения радиологического фактора, так и с точки зрения химической токсичности.

Выводы

1. Для подавляющего большинства проанализированных проб (93,1%) значение удельной активности ^{238}U не

³ 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"]

превышает 0,02 Бк/кг, значение удельной активности ^{238}U для оставшихся 6,9% проб не превышает 0,06 Бк/кг при уровне вмешательства по содержанию данного радионуклида в воде, определенном приложением 2а к НРБ-99/2009, – 3,0 Бк/кг.

2. Для подавляющего большинства проанализированных проб (94,8%) значение удельной активности ^{234}U не превышает 0,04 Бк/кг, значение удельной активности ^{234}U для оставшихся 5,2% проб не превышает 0,111 Бк/кг при уровне вмешательства по содержанию данного радионуклида в воде, определенном приложением 2а к НРБ-99/2009, – 2,8 Бк/кг.

3. Для 98,3% проанализированных проб значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,00–4,00, для 1,7% проб значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 8,00.

4. Для абсолютного большинства проб воды подземных источников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга значение соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ не превысит 4, при значении удельной активности ^{238}U в пробе воды, не превышающем 0,7 Бк/кг (с учетом неопределенности измерения), проводить дорогостоящее альфа-спектрометрическое определение содержания ^{234}U не является целесообразным.

5. С большой долей вероятности можно утверждать, что по содержанию альфа-излучающих изотопов урана (^{238}U , ^{234}U) вода подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга безопасна для потребления населением, как с точки зрения радиологического фактора, так и с точки зрения химической токсичности.

Литература

- Вдовенко, В.М. Химия урана и трансурановых элементов / В.М. Вдовенко. – Москва – Ленинград: Издательство академии наук СССР, 1960. – 697 с.
- Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 286 с.
- 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.
- Стамат, И.П. Обоснование подходов к нормированию показателей радиационной безопасности питьевой воды, расфасованной в емкости / И.П. Стамат, И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 6–17.
- World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. 1: 4th ed. ISBN 978 92 4 154815 1. Geneva, 2011, pp. 203-217.
- 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.
- Кадука, М.В. Содержание природных радионуклидов в минеральной природной питьевой воде Санкт-Петербурга и Ленинградской области / М.В. Кадука, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекашева, С.А. Иванов, Н.В. Салазкина, В.В. Ступина, А.Н. Кадука // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 20–27.
- Бахур, А.Е. Радиоактивность природных вод / А.Е. Бахур // АНРИ. – 1996/97. – № 2 (8). – С. 32–39.
- Малов, А.И. Многолетние изменения активностей изотопов урана в подземных водах венда Мезенской синеклизы / А.И. Малов, М.В. Гонтарев, С.Б. Зыков, А.И. Поршнева // Arctic Environmental Research. – 2014. – Том 2. – С. 23–31.
- 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. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 23–27.
- Кадука, М.В. Оценка радиационных показателей питьевой воды Северо-западного федерального округа и доз облучения населения за счет ее потребления / М.В. Кадука, И.П. Стамат, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекашева, С.А. Иванов, Н.В. Салазкина, А.Н. Кадука; под ред. д.м.н. Горбанева С.А., проф. д.м.н. Фридмана К.Б. // Матер. межрегиональн. науч.-практ. конф. Северо-Западного Федерального округа «Чистая вода – здоровый город. Гигиенические проблемы питьевого водоснабжения Северо-Запада». – СПб.: Книжный формат, 2016. – С. 21–25.
- 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., проф. М.П. Захарченко // Сб. матер. 13-й Евразийской науч. конф. Донозоология-2017 на тему «Проблемы гигиенической донозологической диагностики и первичной профилактики заболеваний в современных условиях». – Санкт-Петербург, 14–15 декабря 2017 г. – СПб.: Крисмас+, 2017. – С. 239–242.

Поступила: 30.07.2018 г.

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., Бекяшева Т.А., Иванов С.А., Салазкина Н.В., Ступина В.В., Кадука А.Н. Содержание изотопов урана в подземных источниках водоснабжения населения Ленинградской области и Санкт-Петербурга // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 74-82. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-74-82

Content of uranium isotopes in the groundwater supplies used for population of Leningrad region and St-Petersburg

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

The aim of the study was to obtain ^{234}U and ^{238}U specific activity in the water of groundwater supplies of Leningrad region and St-Petersburg and to estimate the possibility of their using from the point of view of radiation and chemical toxicity of the main dose-forming uranium isotopes usually containing in the underground waters. The study was focused on the water of functioning and exploratory groundwater supplies concerning the safety of water consumption taken into account radiation and chemical index. Data on the levels of natural uranium isotopes specific activity in the sources under investigation was obtained using radiochemical analysis with the subsequent alpha-spectrometric measurement of the counting samples. 58 samples of natural groundwater were analyzed during the period from February of 2011 till the May of 2017. The volume of the native water samples was from 10 l to 30 l, measuring time for each counting sample was 6 – 12 hours, which allowed measuring the radionuclides specific activity value at the level of 0.0002 Bq/kg. The values of ^{238}U specific activity varied within 0.0002 Bq/kg – 0.06 Bq/kg, the average value was 0.007 Bq/kg. The values of ^{234}U specific activity varied within 0.0006 Bq/kg – 0.111 Bq/kg, the average value was 0.013 Bq/kg. The average value of the specific activities ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ was 2.12 and the range of this value was 1.00 – 8.00. The results of carried out investigations demonstrates that the specific activity values of uranium isotopes could differ more then by an order of magnitude even in the borders of same aquifer of a small settlement. ^{238}U specific activity value does not exceed 0.02 Bq/kg and ^{234}U specific activity value does not exceed 0.04 Bq/kg for the vast majority of analyzed sample. The value of the ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ was 1.00 – 4.00 for 98.3% of analyzed sample. It is possible to conclude with a high probability that the water from the groundwater supplies of Leningrad region and St-Petersburg is safe for consumption by population concerning ^{234}U and ^{238}U content as from the point of view of radiological factor, so from the point of view of chemical toxicity.

Key words: water from the groundwater supplies, uranium isotopes, radiochemical analysis, specific activity, specific activities ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

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

References

1. Vdovenko V.M. Chemistry of uranium and transuranium elements. Publisher Academy of Sciences USSR. Moscow – Leningrad, 1960, 697 p. (In Russian)
2. Sapozhnikov Yu.A., Aliev R.A., Kalmykov S.N. Environmental radioactivity. Moscow, BINOM. Laboratory of knowledge, 2006, 286 p. (In Russian)
3. 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).
4. Stamat I.P., Romanovich I.K. Justification of approaches to the rationing radiation safety indicators for packaged drinking water. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1):6-17. (In Russian)
5. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. 1: 4th ed. ISBN 978 92 4 154815 1. Geneva, 2011, pp. 203-217.
6. Procedure of measurements of the specific activities of ^{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 radionuclides and gross specific 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)
7. Kaduka M.V., Basalaeva L.N., Bekyasheva T.A., Ivanov S.A., Salazkina N.V., Stupina V.V., Kaduka A.N. Content of natural radionuclides in mineral drinking water of St-Petersburg and Leningrad region. *Radiatsionnaya gygienna = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 2, pp. 20-27. (In Russian)
8. Bakhur A.E. Radioactivity of natural waters. ANRI = ANRI, 1996/97, No. 2 (8), pp. 32-39. (In Russian)
9. Malov A.I., Gontarev M.V., Zykov S.B., Porshnev A.I. Long-term changes in uranium isotopes activity in the Vendian groundwater of the Mezen syncline. *Arctic Environmental Research*, 2014, Vol. 2, pp. 23-31.
10. Kaduka M.V., Shvydko N.S., Shutov V.N., Basalaeva L.N., Goncharova Yu.N., Salazkina N.V., Kaduka A.N. Estimation of the population exposure doses from drinking-water consumption for the inhabitants of North-Eastern area of Russia. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2010;3(1):23-27 (In Russian)
11. Kaduka M.V., Stamat I.P., Basalaeva L.N., Bekyasheva T.A., Ivanov S.A., Salazkina N.V., Kaduka A.N. Estimation of radiation indexes of the mineral water in St-Petersburg and Leningrad region in modern conditions. Materials of inter-regional scientific-practical conference of North-Western Federal Region "Pure water – healthy city. Hygienic problems drinking water service of North-Western Region". Ed. by doctor of medical sciences Gorbanev S.A, professor Fridman K.B. Saint-Petersburg, Book format, 2016, pp. 21-25. (In Russian)
12. 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 Prenozology – 2017 «Problems of hygienic prenosological diagnostics and primordial prevention of the diseases in modern conditions» 14-15 December 2017. Ed. by Professor Zakharchenko M.P. Saint-Petersburg, Krismas+, 2017, pp. 239-242. (In Russian)

Received: July 30, 2018

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. Content of uranium isotopes in the groundwater supplies used for population of Leningrad region and St-Petersburg. *Radiatsionnaya gygienna = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 3, pp. 74-82. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-74-82

Проблемы риск-коммуникации при обеспечении радиационной безопасности населения: основные понятия и определения

Л.В. Репин, А.М. Библин, Н.М. Вишнякова

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

Реализация государственной программы Российской Федерации «Развитие атомного энергопромышленного комплекса», федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года», внедрение новых видов высокодозовых исследований в медицине, слабая информированность населения о наличии и степени опасности некоторых природных источников ионизирующего излучения обуславливают актуальность исследований, направленных на выработку эффективных методов риск-коммуникации для решения различных задач в области повышения радиационной безопасности населения, внедрения этих методов в повседневную практику Роспотребнадзора и, в конечном итоге, построения риск-ориентированного общества в Российской Федерации. В настоящее время отечественная терминология в области риск-коммуникации не сформирована и часто представляет собой не всегда удачно адаптированные варианты перевода англоязычных терминов. Целью данной статьи является определение основных понятий риск-коммуникации в области обеспечения радиационной безопасности населения для формирования единой терминологии и внедрения в повседневную практику специалистов Роспотребнадзора. К статье прилагается глоссарий основных терминов, подготовленный авторами. Авторы, с учетом анализа литературных данных, предлагают определить риск-коммуникацию как намеренно инициированный одним из участников информационного поля риска процесс взаимодействия с другими участниками, нацеленный на изучение установок о риске, их формирование или изменение у других участников; формирование или изменение собственных установок о риске.

Ключевые слова: риск, анализ рисков, ионизирующее излучение, информирование о риске, риск-коммуникация, радиационная безопасность.

Введение

Анализ рисков как инструмент информационного обеспечения поддержки принятия управленческих решений активно используется в различных областях хозяйственной деятельности, государственного управления и надзора как в России, так и в других развитых странах. Так, например, статья 8.1 Федерального закона от 26.12.2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» определяет применение риск-ориентированного подхода при организации государственного контроля (надзора). В Российской Федерации методология анализа риска для здоровья является активно используемым инструментом в системе обеспечения безопасности жизни и здоровья граждан. Анализ риска для здоровья включает три взаимосвязанных элемента: оценка риска для здоровья, управление риском и информирование о риске [1]. В соответствии

с руководством Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» информирование о риске определяется как «... процесс распространения результатов определения степени риска для здоровья человека и решений по его контролю среди заинтересованной части населения (например, среди врачей, научных сотрудников, политиков, лиц, принимающих управленческие решения, населения и общества в целом)».

Такое определение отражает патерналистский подход к управлению риском и фактически исключает отдельные категории заинтересованных лиц из процесса принятия решений, отводя им лишь роль пассивных получателей информации о риске. Подобный подход представляется крайне спорным, поскольку не позволяет в полной мере учитывать интересы лиц, являющихся субъектом реализации рисков. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определяет «информирование о риске»

Репин Леонид Викторович

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: l.repin@niirg.ru

как один из синонимов термина «риск-коммуникация»: «... Интерактивный процесс обмена информацией и мнениями о рисках между специалистами по оценке риска, лицами, принимающими управленческие решения, средствами массовой информации, заинтересованными группами и широкой общественностью...» [2]. Следует отметить, что в англоязычных научных публикациях именно риск-коммуникация (risk communication) указывается в качестве одной из составляющих анализа риска. Как видно из определения ВОЗ, процесс принятия управленческих решений ориентирован на равноправное участие в нем всех заинтересованных сторон. Подобные противоречия в определении риск-коммуникации (информирования о риске) затрудняют понимание специалистами в области обеспечения радиационной безопасности их роли в данном процессе, как и понимание существа самого процесса.

Различие в определениях связано не только с качеством перевода терминов или их определений, но и с тем, как в последние годы менялась структура информационного поля. За последние годы в значительной мере изменилась оценка научным сообществом влияния информации на человека, в том числе и на его здоровье. Ранее главной задачей риск-коммуникации считалось доступное доведение научной информации специалистами до населения [3, 4]. Последние исследования влияния уровня знаний о радиации на уровень страхов и тревог, связанных с радиацией, показали, что явная обратная зависимость между этими показателями отсутствует, то есть более высокий уровень научных знаний о радиации не является гарантией более низкого уровня радиационной тревожности [5–7]. Значительную роль в восприятии риска играет доверие к принимающим решения институтам. Эволюция представлений о восприятии риска привела к появлению формулы:

Риск = Опасность + Возмущение [8],

где риск представлен в виде сочетания двух компонент – Опасность (Hazard), т.е. риск, количественно оцененный экспертами, и Возмущение (Outrage), т.е. субъективное восприятие данного риска.

Причем важность второго слагаемого в этой формуле возрастает в связи с изменением самого процесса формирования информационного поля человека, вызванным активным развитием Интернета и различных средств коммуникации, использующих его технические возможности. Широкая доступность информации при отсутствии способов проверки ее достоверности выводит на первое место проблему доверия к информационным источникам.

Ионизирующее излучение является одним из потенциально опасных для здоровья факторов среды обитания и присутствует в жизни большинства людей в самых разных формах и ситуациях: атомная энергетика, последствия радиационных аварий, природная радиоактивность, медицинское облучение при диагностике и терапии и другие ситуации. К особенностям восприятия рисков радиационной природы при отсутствии базовых научных знаний у населения относятся мифологизированные представления об ионизирующем излучении, переоценивающие опасность в одних ситуациях и, напротив, недооценивающие её – в других [9]. Реализация государственной программы Российской Федерации

«Развитие атомного энергопромышленного комплекса», федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года», внедрение новых видов высокотехнологических исследований в медицине, слабая информированность населения о наличии и степени опасности некоторых природных источников ионизирующего излучения [9] обуславливают актуальность исследований, направленных на выработку эффективных методов риск-коммуникации для решения различных задач в области повышения радиационной безопасности населения, внедрения этих методов в повседневную практику Роспотребнадзора и, в конечном итоге, построения риск-ориентированного общества в Российской Федерации.

За рубежом междисциплинарное научное направление – риск-коммуникация развивалось со второй половины XX в., в том числе в области обеспечения радиационной безопасности населения. Развитие этого научного направления было связано с необходимостью коммуникации с населением после крупных радиационных аварий, таких как в Три-Майл-Айленде и Чернобыле, а также развитием атомной энергетики, необходимостью строительства новых АЭС и хранилищ радиоактивных отходов, использованием источников ионизирующего излучения во всех сферах деятельности. Авария на АЭС «Фукусима-1» показала важность постоянной, а не от аварии к аварии, риск-коммуникации в области обеспечения радиационной безопасности населения. Возросший уровень неприятия атомной энергетики населением после аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» привел к тому, что для представителей атомной отрасли и властей стало актуальным ведение открытой коммуникации с обратной связью с населением и другими заинтересованными сторонами, такими как СМИ и общественные организации [10–14]. К настоящему моменту в мире опубликовано более 8000 статей в рецензируемых научных журналах и 2000 книг по теме риск-коммуникации [15].

Актуальность исследований в этой области для Российской Федерации подтверждается появлением в последние годы отечественных научных публикаций, посвященных фундаментальным проблемам риск-коммуникации, восприятия рисков, в том числе в связи с вопросами обеспечения радиационной безопасности населения [16–19]. Одна из сложностей при опубликовании результатов исследований заключается в отсутствии единого понимания концепции и сложившейся русскоязычной терминологии в области риск-коммуникации.

Цель исследования – определение основных понятий риск-коммуникации и основных видов риск-коммуникации в области обеспечения радиационной безопасности населения для формирования единообразной терминологии и внедрения в повседневную практику специалистов Роспотребнадзора.

Понятие «риска» в системе принятия решений

У термина «риск» существует множество определений, зависящих от области применения и конкретных задач [20]. В частности, ГОСТ Р 51897-2011 «Менеджмент риска. Термины и определения» дает термину «риск» следующее определение: «Риск – следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей».

Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» предлагает другое определение: «Риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда». Приведенные примеры определений имеют, на первый взгляд, мало общего. Предыдущая редакция ГОСТ Р 51897-2002 «Менеджмент риска. Термины и определения» предлагала определение, по смыслу больше похожее на определение № 184-ФЗ: «Риск – сочетание вероятности события и его последствий». Общей для этих определений является неопределенность¹ исхода, т.е. вероятностный сценарий возникновения каких-либо (как правило, негативных) последствий. В данной статье термин «Риск» будет использоваться в следующем значении: «Риск – возможность возникновения негативных последствий, вызванных каким-либо событием, условиями, действиями или бездействием». В контексте радиационной безопасности речь идет о вероятности развития негативных последствий воздействия фактора риска² (ионизирующего излучения) на здоровье людей или окружающую среду. Определенный подобным образом риск может рассматриваться в качестве одного из факторов, влияющих на принятие решений, способных его вызвать, повысить, снизить или исключить. Примеры таких решений можно привести как для отдельного человека (например, добровольное письменное согласие пациента или его законных представителей на высокодозовые медицинские исследования), так и для целого государства (например, решение Германии отказаться от атомной энергетики).

Место риск-коммуникации в системе принятия решений

Вероятностный характер риска играет важную роль при оценке его приемлемости для различных социальных категорий³ и выводит управление рисками из исключительной компетенции специалистов и чиновников в область открытой общественной дискуссии [21]. Любые количественные оценки риска (особенно ярко эта особенность проявляется при оценке рисков для здоровья от воздействия малых доз ионизирующего излучения) подразумевают консенсус экспертов для целей обеспечения радиационной безопасности населения. Важная особенность риска для здоровья, которую необходимо учитывать, – групповой характер его оценки. Количественная оценка вероятности возникновения негативных послед-

ствий для здоровья, приписываемая конкретному человеку, на самом деле должна восприниматься как частота возникновения таких последствий в группе лиц с одинаковыми медико-демографическими характеристиками. При этом, например, по причине неполноты знаний о механизмах радиационного канцерогенеза и способах его идентификации при оценке «индивидуального» радиационного риска⁴ не учитывается индивидуальная предрасположенность к возникновению злокачественных новообразований. Наличием этих обстоятельств обусловлено потенциальное противоречие двух позиций:

1. Позиция «специалиста», которую можно сформулировать следующим образом: «В рамках разумных предположений, положенных в основу системы радиационной защиты в соответствии с научным консенсусом, данный риск составляет незначительную долю по сравнению с рисками от воздействия других факторов, влияющих на данную группу населения, с учетом того, какую выгоду приобретает общество «благодаря» причине появления этого риска, и поэтому данный риск приемлем для общества».

2. Позиция человека, который подвергается данному риску, может быть сформулирована следующим образом: «Лично мои выгоды от появления данного источника риска абсолютно неочевидны, тогда как гарантий правильности оценки риска специалистами не существует. К тому же лично я оцениваю свой персональный риск существенно выше среднего, по причине состояния своего здоровья, наследственности и т.п. Поэтому данный риск для меня неприемлем».

Указанное расхождение позиций является типичным для некоторых видов риск-коммуникации и демонстрирует причины необходимости учета мнений неспециалистов для того, чтобы принимаемые представителями власти управленческие решения находили поддержку у населения. Нельзя сказать, что население «не понимает» и задача специалистов заключается лишь в том, чтобы «незнающему» населению что-то «объяснить». Любая оценка приемлемости является априори субъективной. В контексте риск-коммуникации это приводит к возникновению этической проблемы: специалист, участвующий в процессе риск-коммуникации, не должен пытаться манипулировать населением, навязывая ему свою экспертную точку зрения по обсуждаемому вопросу, чтобы склонить его к принятию решений, «выгодных» привлекавшей его стороне, даже если его экспертное мнение соответствует интересам «заказчика». Способ, при помощи которого часто осуществляется такое манипулирование, заключается в преуменьшении значения неопределенностей оценки

¹ Неопределенность в управлении рисками (uncertainty in risk management) – ситуация, характеризующаяся недостатком или отсутствием информации или несовершенством знаний о связанных с риском процессах, явлениях и событиях, а также о вероятности их развития или их последствиях [2].

² Фактор риска – физическое явление или обстоятельство, способное прямо или косвенно оказывать негативное влияние на биосферу в целом или на ее составляющие (прежде всего на здоровье человека и состояние окружающей среды) в результате какой-либо деятельности или непосредственно.

³ Социальная категория – множество людей, обладающих одним или несколькими общими значимыми социальными признаками.

⁴ СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» определяет термин «Риск радиационный» как «вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения». Данное определение подразумевает исключительно риск для здоровья, тогда как ущерб, который может быть нанесен окружающей среде, имуществу граждан, экономический ущерб и другие виды вреда в данном определении не учитываются.

риска, умышленном сокрытии или преуменьшении негативных последствий и преувеличении получаемых выгод.

В то же время существуют ситуации, в которых отсутствие у населения знаний о существовании вредного фактора является причиной пренебрежения возможностями снижения вредных последствий от воздействия данного фактора. И в этом случае предоставление населению необходимой информации является прямой задачей специалистов.

Наконец, существуют ситуации, в которых неграмотное предоставление или непредоставление информации о существовании вредного фактора способно причинить больший вред здоровью населения (стрессы, панические реакции, неоправданное защитное поведение), чем сам вредный фактор. При этом сокрытие информации о существовании факторов риска прямо запрещено законодательством, а в современных условиях распространения информации попросту лишено смысла и даже вредно, т.к. снижает уровень доверия к власти.

Приведенные примеры показывают необходимость специального вида взаимодействия между различными причастными сторонами в области обеспечения радиационной безопасности. Изучение данного вида взаимодействий, называемых риск-коммуникацией, ее целей, методов, эффективности является актуальной научно-практической задачей.

Как указывалось выше, ВОЗ [2] определяет риск-коммуникацию как «интерактивный процесс обмена информацией и мнениями о рисках между специалистами по оценке риска, лицами, принимающими управленческие решения, средствами массовой информации, заинтересованными группами и широкой общественностью. Этот процесс является наиболее эффективным тогда, когда он включает разъяснение результатов проведенной оценки рисков и оснований решений по вопросам управления рисками». Данное определение представляется довольно дискуссионным по следующим причинам:

1. В нем не определены цели «обмена мнениями», поэтому не понятно, как оценивается эффективность процесса риск-коммуникации.

2. Перечень возможных участников является неполным.

3. В определении сделан неоправданный упор на разъяснении результатов оценки риска, но отсутствует акцент на изучении процесса формирования установок о риске⁵, то есть причин и механизмов формирования негативных или позитивных установок, что не позволяет эффективно взаимодействовать сторонам процесса.

Безусловно, существуют виды риск-коммуникации, в которых разъяснение результатов оценки риска играет ключевую роль. Однако в ряде случаев более важными, с точки зрения эффективности, могут оказаться такие характеристики риск-коммуникации, как доверие со стороны населения, оперативность информационного реагирования, страх и др. Авторы предлагают определить процесс риск-коммуникации следующим образом:

Риск-коммуникация⁶ – намеренно инициированный одним из участников⁷ информационного поля риска процесс взаимодействия с другими участниками, нацеленный на изучение установок о риске, их формирование или изменение у других участников; формирование или изменение собственных установок о риске.

Данное определение указывает на три ключевых признака описываемого процесса:

– риск-коммуникация – это сознательно инициированный процесс, причем инициирован он может любой стороной (участником);

– риск-коммуникация всегда происходит в информационном поле риска, но ее участниками не обязательно являются субъекты рискованного поля⁸;

– риск-коммуникация – это процесс, перечень возможных целей которого направлен на установки о риске⁹.

Существование некоторого фактора (фактора риска), который может нанести вред людям, их потомству или окружающей среде сам по себе или вследствие какой-либо деятельности/бездействия, связанной с этим фактором, порождает существование поля риска¹⁰, то есть понятия, включающего в себя сам фактор риска, людей,

⁵ Установки о риске – сформировавшееся у участника информационного поля представление о факторе риска, влияющее на его субъективную количественную и качественную оценки его опасности, на его отношение к данному фактору и на его поведение в отношении данного фактора риска.

⁶ В русскоязычной научной литературе встречаются также термины «коммуникация риска», «информирование о риске», «коммуникация о риске» и др.

⁷ Участник информационного поля – человек, социальная категория, хозяйствующий субъект, ведомство, общественное объединение, средство массовой информации и т.п., создающий или получающий информацию о риске.

⁸ Субъекты рискованного поля (субъекты риска) – люди и/или объекты окружающей среды, для которых существует непосредственная или потенциальная опасность негативного воздействия на них, исходящая от источника риска. Субъектами конкретного рискованного поля могут быть как отдельные граждане (например, конкретные пациенты, подвергающиеся медицинским рентгенорадиологическим исследованиям), так и неопределенный или достаточно широкий круг лиц (например, социальная категория или население в целом). Объекты окружающей среды, которые могут выступать в роли субъектов рискованного поля, в настоящей публикации рассматриваются только косвенно, как возможная составляющая информации о риске, т.к. они не могут являться субъектами риск-коммуникации.

⁹ В кризисной ситуации, когда для защиты людей необходимо побудить их к незамедлительному выполнению защитных действий, как правило, отсутствует время на полноценное формирование установок о риске. В этом случае установка о риске вырождается в тривиальную («Это очень опасно»).

¹⁰ Рискованное поле (поле риска) – совокупность источника риска, акторов и субъектов риска. Актор рискованного поля – индивид, социальная группа, организация, социальный или государственный институт, общность людей, осуществляющие деятельность, связанную с источником риска, которая прямо или косвенно может повлиять на возникновение или изменение риска от данного источника. Наличие актора не является обязательным атрибутом рискованного поля. Например, в случае с природными источниками излучения деятельность актора не является обязательной для возникновения риска.

способных повлиять на изменение риска (в случае существования возможности влиять на риск) и людей, интересы которых могут быть затронуты при реализации риска. При этом субъекты рискованного поля могут не располагать никакой информацией о существовании риска или же пренебрегать важной информацией об этом риске в связи с наличием у них установок о риске, которые оценивают данный риск как незначительный для них.

Предложенное определение риска отражает тот факт, что изменение установок о риске (как основная цель риск-коммуникации) влечет за собой изменение восприятия риска и, как следствие, влияет на принятие решений по поводу риска.

Для удобства читателей предлагаемая авторами терминология представлена также и в Приложении к статье.

Примеры видов риск-коммуникации

Ситуации риск-коммуникации бывают чрезвычайно разнообразными. Специалистами предложены разные подходы к классификации [22], однако какой-то единой общепринятой классификации на сегодняшний день не существует. Ниже коротко описаны некоторые примеры типичных ситуаций риск-коммуникации в области обеспечения радиационной безопасности населения.

Ситуация 1. Получение добровольного информированного согласия пациента на проведение в отношении него медицинских рентгенорадиологических исследований.

Особенностью данного вида риск-коммуникации является то, что принятие решения осуществляется специалистом (пациентом или его представителем) с учетом рекомендаций врача. Очень распространен вид принятия решений родителями относительно своих маленьких детей. При этом родители относятся к одной из наиболее чувствительных социальных категорий. Ключевые вопросы при риск-коммуникации в данной ситуации: обоснованность использования предлагаемого метода диагностики или лечения, наличие более безопасных альтернатив и сравнение их эффективности, риск от использования ионизирующих излучений и риск в случае отказа, доверие специалисту, гарантии успеха.

К сожалению, процесс получения добровольного информированного письменного согласия зачастую носит формальный характер и не воспринимается всерьез ни пациентами, ни врачами. Такое согласие редко является действительно информированным.

Ситуация 2. Защита населения, проживающего на радоноопасных территориях, от воздействия радона

Особенность данного вида риск-коммуникации заключается в том, что субъект риска может даже не подозревать о его существовании. С другой стороны, без проведения исследований в каждом конкретном жилом доме и жилом помещении невозможно определить, является ли конкретный человек субъектом рискованного поля. При этом информирование о потенциальном риске может вызвать неоправданное беспокойство, т.к. в информационное поле риска могут попасть лица, не являющиеся субъектами рискованного поля. В данной ситуации необходимо соблюсти баланс защиты от воздействия вредного фактора и защиты от вредного воздействия информа-

ции. При этом задача риск-коммуникации заключается в информировании населения, проживающего на радоноопасных территориях, о существовании риска от воздействия радона с целью обучения навыкам защитного поведения. Население обычно плохо осведомлено о наличии риска, склонно недооценивать его.

Ситуация 3. Радиационные аварии

В ситуации реальной серьезной радиационной опасности важнейшей задачей в острой фазе аварии является предотвращение облучения граждан. В таком случае затраты времени на ведение разъяснительной работы, изучение установок населения и т.п. вступают в противоречие с заботой о безопасности граждан. Методы риск-коммуникации в подобных ситуациях должны учитывать стрессовое состояние населения, существенное изменение способности людей к восприятию информации. В конечном счете это единственная ситуация риск-коммуникации, когда патерналистский подход к риск-коммуникации оправдан. Тем не менее, и в данной ситуации риск-коммуникации исчерпывающая информация о происходящем должна быть доступна населению.

Ситуация 4. Информационные вбросы о радиационных авариях

Развитие Интернета и появление огромного количества информационных ресурсов привело к необходимости развития относительно нового вида риск-коммуникации. В прежние времена сходный вид риск-коммуникации назывался «опровержение слухов». Скорость распространения слухов в Интернете существенно выше, чем при использовании традиционных каналов информационного взаимодействия, а значит, и опасность, которую они представляют, существенно выше, т.к. существенно большее количество людей может оказаться вовлеченным в информационное поле риска даже в ситуации отсутствия источника риска или события в поле риска. В такой ситуации ключевыми требованиями к процессу риск-коммуникации являются скорость реагирования, интерактивность, убедительность и наличие обратной связи.

Приведенные примеры затрагивают лишь небольшую часть ситуаций риск-коммуникации, нуждающихся в развитии методического обеспечения, чтобы подчеркнуть принципиальные различия между ними.

Заключение

Обеспечение радиационной безопасности в современных условиях не может оставаться исключительной задачей специалистов и представителей власти. Лица, интересы которых могут быть прямо или косвенно затронуты, зачастую могут и должны быть вовлечены в процесс принятия решений, способных повлиять на условия жизни и состояние здоровья их самих и их потомков. При этом главные причины, по которым во многих случаях право принятия решений не может быть априори полностью делегировано специалистам и представителям власти, состоят в следующем: 1) оценкам риска присущ ряд неопределенностей, не позволяющих уверенно говорить о степени опасности того или иного фактора; 2) любая оценка приемлемости риска, связанного с воздействием вредного фактора, для конкретных людей, социальных категорий и общества в целом является за-

ведомо субъективной. По названным причинам принятию некоторых решений должно предшествовать или достижение общественного консенсуса, или принятие риска. Таким образом, возникает необходимость в определенных взаимоотношениях между отдельными людьми или социальными категориями (в лице их представителей), направленных на принятие решений с целью наиболее полного учета мнений и интересов причастных лиц и общества в целом. Существенные изменения в информационном пространстве, вызванные стремительным развитием Интернета, привели к необходимости пересмотра традиционных методов информационного взаимодействия представителей власти и общества. Отход от патерналистского отношения к населению со стороны представителей власти, традиционный для нашей страны, необходим как для повышения доверия к власти со стороны населения, так и для повышения эффективности методов риск-коммуникации в различных ситуациях облучения. С целью определения основных понятий риск-коммуникации в области обеспечения радиационной безопасности населения для формирования единообразной терминологии и внедрения в повседневную практику специалистов Роспотребнадзора авторами предложен краткий глоссарий основных терминов риск-коммуникации. Разработка современных методов риск-коммуникации и их внедрение в повседневную практику специалистов Роспотребнадзора, деятельность которых связана с обеспечением санитарно-эпидемиологического благополучия населения, является важной и актуальной научно-практической задачей.

Приложение

Краткий глоссарий основных терминов риск-коммуникации

Риск – возможность возникновения негативных последствий, вызванных каким-либо событием, условиями, действиями или бездействием. В контексте риск-коммуникации речь чаще всего идет о вероятности развития негативных последствий воздействия фактора риска на здоровье людей или окружающую среду.

Фактор риска – физическое явление или обстоятельство, способное прямо или косвенно оказывать негативное влияние на биосферу в целом или на ее составляющие (прежде всего на здоровье человека и состояние окружающей среды) в результате какой-либо деятельности или непосредственно.

Социальная категория – множество людей, обладающих одним или несколькими общими значимыми социальными признаками.

Рисковое поле – совокупность источника риска, акторов и субъектов риска.

Наличие актора не является обязательным атрибутом рискового поля. Например, в случае с природными источниками излучения деятельность актора не является обязательной для возникновения риска.

Источник риска – объект, явление, фактор, процесс, деятельность, представляющие прямую или потенциальную опасность для здоровья людей и/или состояния окружающей среды.

Каждому конкретному источнику риска в общем случае соответствует собственное рисковое поле, однако в контексте

коммуникации риска в некоторых случаях целесообразно рассматривать несколько фактических источников в качестве одного. Например, расположенные в непосредственной близости друг от друга атомные реакторы одной АЭС в контексте риск-коммуникации в случае повседневной деятельности уместно рассматривать в качестве одного источника риска – атомной электростанции, тогда как при обсуждении планов реконструкции конкретного энергоблока его в сочетании с планируемой деятельностью и следует считать отдельным источником риска, формирующим собственное рисковое поле.

Актор рискового поля – индивид, социальная группа, организация, социальный или государственный институт, общность людей, осуществляющие деятельность, связанную с источником риска, которая прямо или косвенно может повлиять на возникновение или изменение риска от данного источника.

Субъекты рискового поля (субъекты риска) – люди и/или объекты окружающей среды, для которых существует непосредственная или потенциальная опасность негативного воздействия на них, исходящая от источника риска.

Субъектами конкретного рискового поля могут быть как отдельные граждане (например, конкретные пациенты, подвергающиеся медицинским рентгенорадиологическим исследованиям), так и неопределенный или достаточно широкий круг лиц (например, социальная категория или население в целом).

Объекты окружающей среды, которые могут выступать в роли субъектов рискового поля, в настоящей публикации рассматриваются только косвенно, как возможная составляющая информации о риске, т.к. они не могут являться субъектами риск-коммуникации.

Событие рискового поля – любое изменение в рисковом поле, предполагающее возможность увеличения или уменьшения риска.

Информационное поле риска (далее – информационное поле) – совокупность технологий, средств, методов и участников распространения и обмена информацией о риске.

Информационное поле риска может существовать независимо от существования реального риска, а представленная в таком поле информация о риске необязательно соответствует реальному положению дел. Т.е. события информационного поля не всегда связаны с событиями рискового поля. Примерами существования информационного поля риска в отсутствие самого риска являются информационные вбросы или распространение/изучение информации о риске в процессе образования.

Информация о риске – объект информационного поля, возникший в результате события информационного или рискового поля.

Участник информационного поля – человек, социальная категория, хозяйствующий субъект, ведомство, общественное объединение, средство массовой информации и т.п., создающие или получающие информацию о риске.

Заинтересованная сторона (причастная сторона, стейкхолдер) – человек или социальная категория, интересы которых могут быть затронуты событиями информационного или рискового поля, или проявляющие интерес к событиям и объектам информационного или рискового поля.

При употреблении англоязычного термина «stakeholder» возникает ряд спорных моментов, этот термин может вводить в заблуждение, является слишком широким по своему значению

и поэтому не обеспечивает необходимой ясности. Данный англоязычный термин не рекомендуется применять ввиду его возможного неверного толкования, предпочтительными являются, например, термины «interested parties» или «concerned parties». Целесообразным следует признать употребление англоязычного термина «interested parties» [23].

Риск-коммуникация – намеренно инициированный одним из участников информационного поля процесс взаимодействия с другими участниками, нацеленный на изучение установок о риске других участников и их изменение или на формирование/изменение собственных установок о риске.

В русскоязычной научной литературе встречаются также термины «коммуникация риска», «информирование о риске», «коммуникация о риске» и др.

Установки о риске – сформировавшееся у участника информационного поля представление о факторе риска, влияющее на его субъективную количественную и качественную оценки его опасности, на его отношение к данному фактору и на его поведение в отношении данного фактора риска.

Событие информационного поля риска – любая информация о риске, появившаяся в информационном поле вследствие какого-либо события рискованного поля либо вследствие размещения такой информации в информационном поле одним из его участников по собственной инициативе.

Литература

1. Онищенко, Г.Г. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 738 с.
2. Здоровье и окружающая среда: принципы коммуникации риска. – Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2013. – 68 с.
3. Covello VT, Sandman PM. Risk communication: evolution and revolution. In: Wolbarst A, ed. Solutions to an Environment in Peril. Baltimore, MD: John Hopkins University Press; 2001:164–178.
4. Leiss W. Three phases in the evolution of risk communication practice. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 1996, Vol. 545, № 1, pp. 85–94.
5. Wildavsky A., Dake K. Theories of risk perception: Who fears what and why? Daedalus, 1990, pp. 41–60.
6. Siegrist M., Cvetkovich G. Perception of hazards: The role of social trust and knowledge. Risk analysis, 2000, Vol. 20, № 5, pp. 713–720.
7. Dierkes M. [et al]. Between understanding and trust: the public, science and technology. Routledge, 2005.
8. Sandman P. M. Responding to community outrage: Strategies for effective risk communication. AIHA, 1993.
9. Архангельская, Г.В. Трудности информирования населения по вопросам радиационной безопасности / Г.В. Архангельская, И.А. Зыкова, С.А. Зеленцова // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 2. – С. 42–49.
10. Covello V.T. Risk communication, radiation, and radiological emergencies: strategies, tools, and techniques. Health physics, 2011, Vol. 101, № 5, pp. 511–530.
11. Perko T. Importance of risk communication during and after a nuclear accident. Integrated environmental assessment and management, 2011, Vol. 7, № 3, pp. 388–392.
12. Murakami M., Tsubokura M. Evaluating risk communication after the Fukushima disaster based on nudge theory. Asia Pacific Journal of Public Health, 2017, Vol. 29, № 2, suppl., pp. 193S–200S.
13. Figueroa P.M. Risk communication surrounding the Fukushima nuclear disaster: an anthropological approach. Asia Europe Journal, 2013, Vol. 11, № 1, pp. 53–64.
14. Robertson A.G., Pengilley A. Fukushima nuclear incident: the challenges of risk communication. Asia Pacific Journal of Public Health, 2012, Vol. 24, № 4, pp. 689–696.
15. Hyer R.N., Covello V.T. Breaking bad news in the high-concern, low trust setting: how to get your story heard. Health physics, 2017, Vol. 112, № 2, pp. 111–115.
16. Барг, А.О. Риск-коммуникация в сфере здоровья как вид социальной коммуникации / А.О. Барг // Дискуссия. – 2017. – №1. – С. 50–55.
17. Барг, А.О. Риск-коммуникация как механизм формирования адекватной оценки рисков для здоровья населения / А.О. Барг, Н.А. Лебедева-Несевря // Здоровье населения и среда обитания. – 2014. – Т. 261, № 12. – С. 9–11.
18. 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.
19. Зыкова, И.А. Информационные потребности населения в различных радиационно-гигиенических ситуациях / И.А. Зыкова, С.А. Зеленцова, Г.В. Архангельская // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 4. – С. 11–18.
20. Библин, А.М. Методологические подходы к оценке риска для здоровья в гигиенических исследованиях / А.М. Библин // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 2. – С. 32–38.
21. ICRP, 2018. Ethical foundations of the system of radiological protection. ICRP Publication 138. Ann. ICRP 47(1)
22. Lundgren R.E., McMakin A.H. Risk communication: A handbook for communicating environmental, safety, and health risks. John Wiley & Sons, 2013, 392 p.
23. IAEA Safety Glossary. Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection. 2016 Revision. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2016 <https://www.iaea.org/sites/default/files/17/11/iaea-safety-glossary-rev2016.pdf> (дата обращения: 01.07.2018).

Поступила: 01.08.2018 г.

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. Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, дом 8; E-mail: l.repin@niirg.ru

Библин Артём 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, Санкт-Петербург, Россия

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

Для цитирования: Репин Л.В., Библин А.М., Вишнякова Н.М. Проблемы риск-коммуникации при обеспечении радиационной безопасности населения: основные понятия и определения // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 83-91. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-83-91

Problems of risk communication related to the provision of the radiation safety. Basic concepts and definitions

Leonid V. Repin, Artem M. Biblin, Nadezhda M. Vishnyakova

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 implementation of the State program of the Russian Federation "Development of nuclear power industry", Federal target program «Ensuring Nuclear and Radiation Safety from 2016 to 2020 and up to 2030», introduction of new imaging modalities in medicine that are associated with high patient and staff doses, poor public awareness of the presence and level of hazard of natural sources of ionizing radiation determine the relevance of the current study. The aim of the study was to develop the effective methods of risk communication for the improvement of the radiation protection and safety of the population, to introduce these methods in the daily practice of Rospotrebnadzor and, eventually, to assist in the formation of a risk-oriented society in the Russian Federation. Currently, Russian-language terminology in the field of risk communication is not developed; Russian terms are frequently just poor adapted/translated versions of English terms. This manuscript is focused on the definition of the basic concepts of risk communication and the formation of uniform terminology in the field of the radiation safety of the population. A glossary of basic terms in the field of risk-communication is attached to the manuscript. The authors, considering the analysis of scientific data, suggest the following definition of risk communication: a process of interaction with other participants that is intentionally initiated by one of the participants in the information field of risk and is aimed at the evaluation of the attitudes on risk, their formation or change in other participants; formation or change of own attitudes on risk.

Key words: risk, risk analysis, ionizing radiation, risk information, risk communication, radiation safety.

References

1. Onischenko G.G., Zaytseva N.V., May I.V. [et al.] Health risk analysis in the strategy of state social and economic development: monograph. In: G.G. Onischenko, N.V. Zaitseva eds. Perm, Publishing house of Perm National Research Polytechnic University, 2014, 783 p. (in Russian).
2. Health and environment: communicating the risks. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2013, 68 p. (In Russian).
3. Covello VT, Sandman PM. Risk communication: evolution and revolution. In: Wolbarst A, ed. Solutions to an Environment in Peril. Baltimore, MD: John Hopkins University Press; 2001 pp.164–178.
4. Leiss W. Three phases in the evolution of risk communication practice //The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 1996, V. 545, №. 1, pp. 85-94.
5. Wildavsky A., Dake K. Theories of risk perception: Who fears what and why? Daedalus, 1990, pp. 41-60.
6. Siegrist M., Cvetkovich G. Perception of hazards: The role of social trust and knowledge. Risk analysis, 2000, V. 20, №. 5, pp. 713-720.
7. Dierkes M. [et al.] Between understanding and trust: the public, science and technology. Routledge, 2005.
8. Sandman P.M. Responding to community outrage: Strategies for effective risk communication. AIHA, 1993.
9. 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, 2014, Vol. 7, No 2, pp. 42-49. (In Russian).
10. Covello V.T. Risk communication, radiation, and radiological emergencies: strategies, tools, and techniques. Health physics, 2011, Vol. 101, №. 5, pp. 511-530.

Leonid V. 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: l.repin@niirg.ru

11. Perko T. Importance of risk communication during and after a nuclear accident. Integrated environmental assessment and management, 2011, Vol. 7, № 3, pp. 388-392.
12. Murakami M., Tsubokura M. Evaluating risk communication after the Fukushima disaster based on nudge theory. Asia Pacific Journal of Public Health, 2017, Vol. 29, № 2_suppl., pp. 193S-200S.
13. Figueroa P.M. Risk communication surrounding the Fukushima nuclear disaster: an anthropological approach. Asia Europe Journal, 2013, Vol. 11, № 1, pp. 53-64.
14. Robertson A.G., Pengilley A. Fukushima nuclear incident: the challenges of risk communication. Asia Pacific Journal of Public Health, 2012, Vol. 24, № 4, pp. 689-696.
15. Hyer R.N., Covello V.T. Breaking bad news in the high-concern, low trust setting: how to get your story heard. Health physics, 2017, Vol. 112, № 2, pp. 111-115.
16. Barg A.O. Risk-communication in the sphere of health as a sort of social communication. Discussion, 2017, №1 (75), pp. 50-55. (In Russian).
17. Barg A.O., Lebedeva-Nesevrya N.A. Risk-communication is an effective way of producing the cumulative acceptability of human health risks. Population Health and Life Environment, 2014, V. 261, № 12, pp. 9-11. (In Russian).
18. 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. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety, 2013, Vol. 58, № 4, pp. 5-16. (In Russian).
19. Zykova I.A., Zelentsova S.A., Arkhangelskaya G.V. Information requirements of population in different radiation-hygienic situations. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2013, Vol. 6, No 4, pp. 11-18. (In Russian).
20. Biblin A.M., Zykova I.A., Koroleva T.M., Nikolaevich M.S. Methodological approaches to assessments of health risks in hygienic research. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2013, Vol. 6, No 2, pp. 32-38. (In Russian).
21. ICRP, 2018. Ethical foundations of the system of radiological protection. ICRP Publication 138. Ann. ICRP 47(1)
22. Lundgren R.E., McMakin A.H. Risk communication: A handbook for communicating environmental, safety, and health risks. John Wiley & Sons, 2013, 392 p.
23. IAEA Safety Glossary. Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection. 2016 Revision. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2016. – Available on: <https://www.iaea.org/sites/default/files/17/11/iaea-safety-glossary-rev2016.pdf> (accessed: 01.07.2018)

Received: August 01, 2018

For correspondence: Leonid V. Repin – 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 (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: l.repin@niirg.ru)

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, Saint-Petersburg, Russia

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

For citation: Repin L.V., Biblin A.M., Vishnyakova N.M. Problems of risk communication related to the provision of the radiation safety. Basic concepts and definitions. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 3, pp. 83-91. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-83-91

Обследование зданий города Лесной на содержание радона в помещениях

А.М. Маренный¹, М.Е. Киселева², Н.А. Нефёдов¹, Г.И. Сутягина², Л.Э. Карл¹

¹Научно-технический центр радиационно-химической безопасности гигиены ФМБА России, Москва, Россия

²Центр гигиены и эпидемиологии № 91 ФМБА России, Лесной, Свердловская область, Россия

Проведено обследование зданий города Лесной Свердловской области на содержание радона в помещениях. Измерения объемной активности радона проводились интегральным методом с помощью трековых экспозиметров РЭИ-4. Экспозиметры устанавливались для проведения измерений на 2–4 месяца в отопительный и теплый периоды года в одних и тех же помещениях. Обследованы несколько групп зданий: 17 детских садов, 7 школ, 20 жилых домов, 22 медицинских учреждения и 3 здания общественных организаций. Представлены результаты определения эквивалентной равновесной объемной активности радона в помещениях на разных этажах групп зданий в отопительный и теплый период года, а также оценённые среднегодовые значения эквивалентной равновесной объемной активности. Средние среднегодовые значения эквивалентной равновесной объемной активности радона для зданий детских садов, школ, жилых домов и медицинских учреждений находятся в интервале 34–51 Бк/м³ и только для учреждений достигают 79 Бк/м³. Средние значения эквивалентной равновесной объемной активности радона по всем помещениям города Лесной составили: для отопительного периода – 46 Бк/м³, для тёплого – 38 Бк/м³, среднегодовое – 42 Бк/м³. Показано, что как для отдельных периодов, так и в среднем по году отношение средних значений эквивалентной равновесной объемной активности радона в помещениях на вторых этажах по отношению к первым этажам зданий разных групп зданий составляет 0,6–0,8. Для более высоких этажей жилых домов эквивалентная равновесная объемная активность радона вообще не зависит от этажа. Это можно объяснить как малой статистикой измерений в помещениях на верхних этажах, так и в среднем относительно невысокими значениями эквивалентной равновесной объемной активности, характерными для большинства зданий города. Оценки показали, что в помещениях кирпичных домов содержание радона в среднем меньше, чем в шлакоблочных: диапазоны значений эквивалентной равновесной объемной активности радона – 15–188 и 15–235 Бк/м³, средние среднегодовые значения эквивалентной равновесной объемной активности радона – 41 и 54 Бк/м³ соответственно. Консервативные оценки годовых доз облучения радоном во всех обследованных помещениях не превышают 10 мЗв/год, а средние значения годовых доз для большинства групп зданий (детские сады, школы, жилые дома, медицинские учреждения) находятся в интервале 2–3 мЗв/год и только для группы «Иные учреждения» достигает 4 мЗв/год. Показано, что ситуация с облучением населения г. Лесной радоном в целом соответствует требованиям Норм радиационной безопасности. Представлены рекомендации по продолжению радоновых обследований зданий города.

Ключевые слова: обследования, объемная активность радона, ЭРОА радона, доза, помещения, жилые и общественные здания, город, радиационная безопасность.

Введение

Воздействие ионизирующих излучений на человека является одной из наиболее значимых и актуальных проблем радиационной гигиены и экологии. Облучение людей формируется за счет трех основных видов источников ионизирующего излучения – техногенных, медицинских и природных.

Природные источники ионизирующего излучения (ПИИИ) – радон, гамма-излучение грунта и космические

излучения – являются повсеместно и постоянно действующими факторами окружающей среды, оказывающими неблагоприятное влияние на здоровье человека. Они создают основной вклад в дозу облучения населения (в среднем примерно 70%). По оценке Научного комитета ООН по действию атомной радиации [1] значения среднегодовой дозы облучения от природных источников для большинства лиц из населения мира принадлежат диапазону 1–10 мЗв при среднем значении 2,4 мЗв.

Маренный Альберт Михайлович

Научно-технический центр радиационно-химической безопасности гигиены Федерального Медико-биологического агентства России

Адрес для переписки: 123182, Москва, ул. Щукинская, д. 40; E-mail: amarennyy@yandex.ru

Радон и радиоактивные продукты его распада вносят основной вклад в радиационный фон жилых и производственных помещений. От 50 до 90% дозы облучения формируется за счет радона. Большую часть дозы от изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов человек получает в помещениях жилых, общественных и производственных зданий и сооружений. Среднемировое значение объемной активности (ОА) радона в воздухе помещений составляет 40 Бк/м³. В отдельных зданиях содержание радона в воздухе может быть многократно повышено.

Радон генерируется в грунте и других объектах геологической среды, содержащих естественный радионуклид радий-226 [2]. В воздух помещения радон поступает вследствие проникновения его в здание из грунта через плиты межэтажных перекрытий, негерметичных вводов коммуникаций и выделения радона из радий-содержащих материалов ограждающих помещения конструкций [3, 4]. В меньшей степени источниками радона в помещении могут быть вода из скважин, атмосферный воздух, бытовой газ. Механизм накопления радона приводит к тому, что значения ОА радона в помещениях могут во много раз превышать ОА радона в атмосферном воздухе. ОА радона в помещениях претерпевают значительные суточные и сезонные колебания.

От 3 до 14% ежегодно регистрируемых в мире заболеваний раком легких обусловлены радоном [5].

Таким образом, «проблема радона» является комплексной, включающей в себя различные аспекты радиационной безопасности и гигиены, геофизики, медицины и биологии и др. [6, 7]

Согласно Федеральному закону «О радиационной безопасности населения»¹, должны проводиться оценка и анализ доз облучения населения от всех источников ионизирующего излучения, включая природные источники, как начальный этап последующего его снижения. Естественно, должны рассматриваться жилые и общественные здания, так как в наибольшей степени облучение радоном происходит обычно в жилых домах, дополнительное воздействие ПИИИ осуществляется в общественных зданиях (детские учебные и дошкольные учреждения, медицинские учреждения и т.д.), где население может находиться в течение длительного времени.

В нормативных документах НРБ-99/2009² и СанПиН 2.6.1.2800-10³ в целях ограничения облучения населения

установлены ограничения на облучение от природных источников: в зданиях жилищного и общественного назначения среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в воздухе помещений не должна превышать 100 Бк/м³ для вновь возводимых зданий и 200 Бк/м³ для эксплуатируемых зданий.

Для выявления наиболее облучаемых групп населения России Федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (ФЦП ОЯРБ)⁴ было предусмотрено проведение широкомасштабных выборочных обследований эксплуатируемых жилых, общественных и производственных зданий в населенных пунктах. Во исполнение мероприятий ФЦП ОЯРБ в 2008–2015 гг. были проведены обследования населенных пунктов на 28 территориях, обслуживаемых ФМБА России [8, 9].

В рамках программы в течение 2012–2013 гг. ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 91 Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУЗ ЦГиЭ № 91) совместно с ФГУП «Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены» Федерального медико-биологического агентства (ФГУП НТЦ РХБГ) провели выборочное двухсезонное радоновое обследование зданий различного назначения на территории городского округа «Город Лесной». Целями обследования являлись контроль соблюдения установленных в НРБ-99/2009 требований по ЭРОА радона в воздухе эксплуатируемых помещений и оценка соответствия состояния с облучением населения природными источниками ионизирующих излучений (ПИИИ), главным образом радоном, требованиям нормативных документов.

Сотрудники ФГУП НТЦ РХБГ обеспечивали координацию работ, методическое обеспечение, предоставление средств измерений (экспозиметров радона), организацию и ведение единой базы данных по проводимым исследованиям, анализ результатов. Сотрудники ФГБУЗ ЦГиЭ № 91 осуществляли размещение экспозиметров в обследуемых помещениях, проведение выборочных инспекционных измерений ЭРОА радона и гамма-фона в обследуемых помещениях, сбор и возврат экспозиметров для обработки в НТЦ РХБГ, участвовали в анализе результатов.

В данной работе представлены методические аспекты и основные результаты проведенных обследований.

¹ Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ (ред. от 19.07.2011 г.) «О радиационной безопасности населения» [Federal state Law №3-FZ from 09.01.1996 «On the radiation safety of the public». Ed. On 19.07.2011 (In Russian)]

² Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09) утв. и введены в действие от 07.07.09 г. – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с. [Norms of the radiation safety (NRB 99/2009): Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009 – 100 p. (In Russian)]

³ СанПиН 2.6.1.2800-10. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет источников ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. [SanPiN 2.6.1.2800-10. Hygienic requirements on the limitation of the public exposure from the sources of ionizing exposure: Sanitary rules and norms. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2011. (In Russian)]

⁴ Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Утверждена постановлением Правительства РФ от 13 июля 2007 г. № 444. [Federal focused programme “Provision of the nuclear and radiation safety on 2008 and on the period up to 2015”. Approved by the decree of the Government of the Russian Federation from 13.07.2007 №444. (In Russian)]

Методические аспекты обследований

Известно, что ОА и ЭРОА радона в помещениях претерпевают значительные суточные и сезонные колебания. Для контроля соблюдения установленных в НРБ-99/2009 требований по ЭРОА радона в воздухе помещений необходимо определить среднегодовые значения ОА радона либо объемную активность дочерних продуктов радона (ДПР). Для измерения применяют аппаратуру, которая реализует инспекционные, квазиинтегральные и интегральные методы, позволяющие получать значения ОА за различные промежутки времени [6, 7].

Для получения среднегодовых значений ЭРОА с применением инспекционного метода необходимо выполнять многократные измерения, равномерно распределенные в пределах суток, для разных времен года и при соблюдении определенных условий вентиляции помещения [10]. Организовать проведение таких измерений в рамках широкомасштабных обследований практически невозможно. Примерно с той же ситуацией приходится сталкиваться при использовании квазиинтегрального метода.

Поэтому для проведения обследований содержания радона в помещениях зданий различного назначения в качестве основного в данной работе был принят интегральный метод, при реализации которого для измерения ОА радона использовались пассивные пробоотборные камеры (экспозиметры) с трековыми детекторами (ТД) и приборы для последующей обработки ТД из комплекта аппаратуры «ТРЕК-РЭИ-1М»⁵. Основы метода, принцип и методика работы с аппаратурой и ТД, а также вопросы формирования выборок помещений при обследовании населенных пунктов и размещения экспозиметров в обследуемых помещениях детально рассмотрены в ⁵ и [11]. В части обследуемых помещений, помимо интегральных измерений, проводились и измерения гамма-фона, а также кратковременные (инспекционные) измерения для определения коэффициента равновесия радона и его дочерних продуктов.

Экспозиметры в обследуемых помещениях в соответствии с [11] размещали в местах, удаленных от окон и отопительных приборов на высоте 1–2 м над уровнем пола. Для каждого обследуемого помещения оформлялся паспорт измерений, в который заносили сведения о методе и сред-

ствах измерений, адрес обследуемого объекта, назначение территории и объекта, строительные и некоторые другие характеристики объекта и обследуемого помещения, дату измерения, инспекционные значения ОА и ЭРОА радона, уровень гамма-фона. Паспорт измерений соответствует формату занесения результатов в базу данных НТЦ РХБГ «Радон» [12]. Для используемой аппаратуры и продолжительности измерений минимально измеряемое значение ОА составило 15 Бк/м³.

Для перехода от измеренных значений ОА радона к ЭРОА радона, в соответствии с МУ 2.6.1. 2838-11⁶, использовали значение коэффициента равновесия, равное 0,5.⁶

При использовании интегрального метода определения объемной активности радона среднегодовое значение ЭРОА радона в воздухе помещений можно оценить как сумму значений ЭРОА в отопительный и теплый периоды с учетом долей года, приходящихся на эти периоды, по соотношениям⁷:

$$\text{ЭРОА}_{\text{оп}} = F \cdot \text{ОА}_{\text{оп}} \quad (1)$$

$$\text{ЭРОА}_{\text{тп}} = F \cdot \text{ОА}_{\text{тп}} \quad (2)$$

$$\text{ЭРОА}_{\text{год}} = K_{\text{оп}} \cdot \text{ЭРОА}_{\text{оп}} + K_{\text{тп}} \cdot \text{ЭРОА}_{\text{тп}}, \quad (3)$$

где: F – коэффициент равновесия между радонотом и его ДПР, для всех помещений принято равным 0,5⁶; $\text{ЭРОА}_{\text{год}}$ – среднегодовое значение ЭРОА радона, Бк/м³; $\text{ЭРОА}_{\text{оп}}$ – среднее значение ЭРОА радона за отопительный период, Бк/м³; $\text{ЭРОА}_{\text{тп}}$ – величина ЭРОА радона за теплый период, Бк/м³; $K_{\text{оп}}$ – доля продолжительности отопительного периода в году; $K_{\text{тп}}$ – доля продолжительности теплового периода в году.

Продолжительность теплового и отопительного периода определяется исходя из решений административных органов управления территорией о начале и завершении отопительного периода.

Значение индивидуальной среднегодовой эффективной дозы внутреннего облучения за счет короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона в воздухе рассчитывается по данным измерений ЭРОА радона в воздухе помещений и атмосферном воздухе при значении дозового коэффициента $9 \cdot 10^{-6} \text{ мЗв}/(\text{час} \cdot \text{Бк}/\text{м}^3)$ по соотношениям, приведенным в МУ 2.4.1.1088-02⁸.

⁵ МВИ 2.6.1.003–99. «Радон. Измерение объемной активности интегральным трековым методом в производственных, жилых и общественных помещениях»; МИ «Радон. Измерение объемной активности в воздухе помещений интегральным трековым методом», Свидетельство об аттестации № 40090.2И385 от 16.07.2012. [Method of the conduction of measurements 2.6.1.003–99. “Radon. Measurement of the volume activity using integral track method in industrial, accommodation and administrative premises”; Method of measurements “Radon. Measurement of the volume activity in the air of premises using integral track method”. Attestation certificate № 40090.2И385, 16.07.2012 (In Russian)]

⁶ Методические указания МУ 2.6.1.2838-11. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых 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 guidelines MG 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 (In Russian)].

⁷ 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 isotopes in the air of housings based on the measurements of different duration. Approved 14.05.2015, 40 p. (In Russian)].

⁸ МУ 2.6.1.1088-02. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. – Минздрав России, Москва, 2002. [Methodic guidelines 2.6.1.1088-02 Assessment of the individual effective doses of the public from natural sources of ionizing radiation. Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, 2002. (In Russian)]

Учитывая специфику интегральных измерений содержания радона в воздухе, среднегодовую дозу от радона принимают равной сумме доз, полученных в отопительный и теплый период года, значения которых получаются из соотношений⁸:

$$E_{от}^{вн, Rn} = 0,01584 \cdot (K_{от} \cdot (ЭРОА_{экв.ул} + 4 \cdot ЭРОА_{от.зд.})), \text{ мЗв}, \quad (4)$$

$$E_{тп}^{вн, Rn} = 0,01584 \cdot (K_{тп} \cdot (ЭРОА_{экв.ул} + 4 \cdot ЭРОА_{тп.зд.})), \text{ мЗв}, \quad (5)$$

$$E_{срг}^{вн, Rn} = 0,01584 \cdot (K_{от} \cdot (ЭРОА_{экв.ул} + 4 \cdot ЭРОА_{от.зд.}) + K_{тп} \cdot (ЭРОА_{экв.ул} + 4 \cdot ЭРОА_{тп.зд.})), \text{ мЗв/год}, \quad (6)$$

где: ЭРОА_{экв.ул} – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой территории населенного пункта (ЭРОА_{экв.ул} = 6,5 Бк/м³ в соответствии с данными о среднемировых значениях ЭРОА изотопов радона в приземном слое атмосферного воздуха при отсутствии измерений); ЭРОА_{от.зд.} – среднее значение ЭРОА радона в помещениях жилых и общественных зданиях, Бк/м³, за отопительный период года; ЭРОА_{тп.зд.} – среднее значение ЭРОА радона в помещениях жилых и общественных зданиях, Бк/м³, за теплый период года.

Результаты обследований

Больше всего измерений ОА радона было проведено в учреждениях здравоохранения, но при этом исследованиями в большей или меньшей степени были охвачены абсолютно все школьные и дошкольные учреждения, расположенные на территории городского округа «Город Лесной», т.е. для детских учреждений представительность выборки получилась удовлетворительной. Так как округ включает в себя, помимо самого города, посёлки

Горный и Чашавита, то в них также были обследованы все имеющиеся детские и медицинские учреждения.

Для проведения измерений (размещения экспозиметров радона) выбирали преимущественно помещения с наиболее длительным пребыванием обитателей. В детских садах – это игровые комнаты, комнаты для занятий и т.д., в школах – классы, в медицинских и иных учреждениях – рабочие кабинеты, в жилых домах – спальни и гостиные.

Обследование помещений в режиме их штатной эксплуатации проходило в два периода: в теплый период (август – сентябрь 2012 г.) и в отопительный период (декабрь 2012 г. – март 2013 г.).

Город Лесной. Общее количество зданий, в которых находятся обследованные помещения, – 65, в том числе: 20 – здания детских садов и школ, 24 – медицинских и иных учреждений, 21 – жилых домов. Выборка включала в себя дома малой и большой этажности разных годов постройки (с 1950 г. по 2008 г.), имеющие различные строительные характеристики, из различных стройматериалов (шлакоблочные, деревянные, кирпичные, брусчатые, крупнопанельные), с подвалами и без них.

Обследуемые здания находятся в разных частях города. Карта города Лесной с нанесенными на неё обозначениями зданий, в которых находятся обследованные помещения, представлена на рисунке 1.

Часть измерений была проведена в подвалах нескольких общественных зданий, т.к. именно подвалы наименее защищены от проникновения радона и в силу этого могут служить индикатором радоноопасности территории. Обобщенные результаты измерений представлены в таблице 1. Расположение зданий в таблице (колонка 1) обозначено номерами точек в соответствии с картой рисунка 1. Порядок

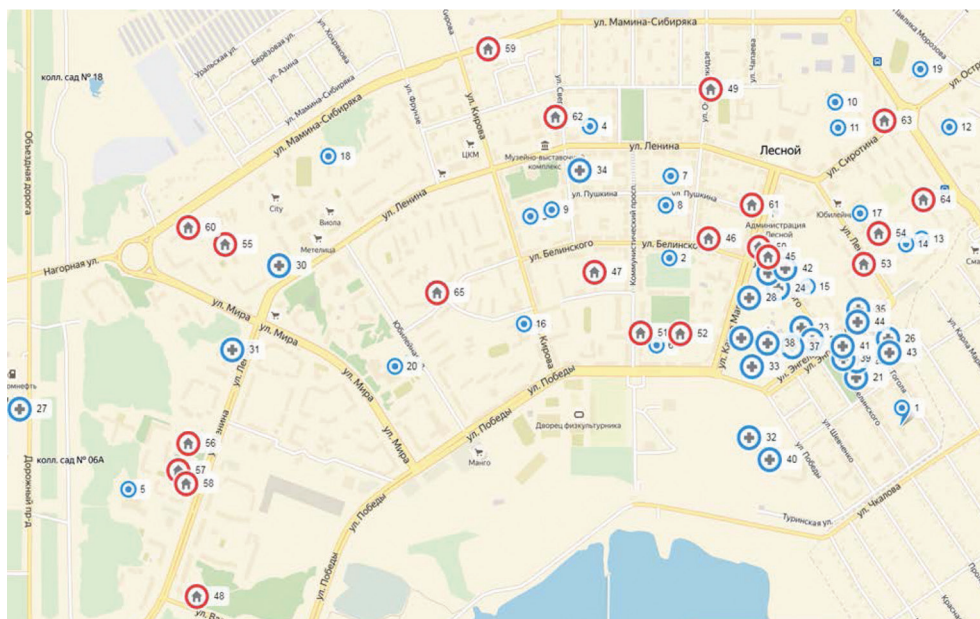


Рис. 1. Обследованные здания города Лесной.

Обозначения: – детские учреждения, – медицинские и иные учреждения, – жилые дома

[Fig. 1. Surveyed buildings in the city Lesnoy

Notations: – child institutions, – medical and other institutions, – dwelling houses]

Таблица 1

Обобщенные сведения об измерениях ЭРОА радона в подвалах зданий

[Table 1]

Generalized data of measurements of EEC of radon in cellars of buildings

Номер точки на карте [Number of point on the map]	Год постройки [The year of construction]	Этажность [Number of floors]	Материал [Material]	Средние значения ЭРОА*, Бк/м ³ [Average meaning of EEC*, Bq/m ³]					
				Подвал [Cellar]			Первый этаж [The first floor]		
				ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
42	1963	2	Кирпич [Brick]	475	412	444	58	< 15	33
20	1995	3	Кирпич [Brick]	254	237	245	19	< 15	< 15
3	1961	2	Ш/б [C/b]	142	83	113	94	69	81
23	1964	3	Кирпич [Brick]	102	111	107	48	54	51
35	1959	4	Ш/б [C/b]	53	120	87	59	88	73
33	1967	4	Кирпич [Brick]	83	87	85	81	41	61
19	1967	3	Кирпич [Brick]	46	93	70	60	29	45
4	1952	2	Ш/б [C/b]	34	62	48	38	29	34
34	1984	3	Кирпич [Brick]	50	40	45	< 15	< 15	< 15

*Всего 27 измерений в подвалах, 16 измерений в отопительный период, 11 измерений в теплый период. [Sum of the total 27 measurements in cellars, 16 measurements in heating period, 11 measurements in warm period.]

**Обозначения: ОП – отопительный период, ТП – теплый период, СРГ – среднегодовое значение, Ш/б – шлакоблоки. [Notations: HP – heating period, WP – warm period, AA – average annual values, C/b – cinder blocks]

следования строк – в порядке убывания среднегодовых значений ЭРОА в подвалах (выделены курсивом, колонка 7).

Сравнение содержимого колонок 5–7 с соответствующими значениями в колонках 8–10 показывает, что строительные характеристики указанных в таблице 1 зданий (перекрытия, вентиляция и т.д.) обеспечивают безопасные как в отдельные периоды, так и в среднем по году уровни ЭРОА радона на первом этаже зданий.

Сопоставление данных таблицы с картой рисунка 1 показывает, что здания с более высокими значениями ЭРОА радона в подвалах сосредоточены преимущественно в юго-восточной части города. Это может указывать на «пятнистую» структуру зон потенциальной радоноопасности, для выявления которой необходимо проведение специальных исследований [2].

С точки зрения оценки текущего состояния радиационной опасности для населения города, большее значение представляют результаты измерений ЭРОА радона в обитаемых помещениях зданий на первых и более высоких этажах зданий. Вместе с тем, отметим, что измерения в подвалах необходимы для планирования радонозащитных мероприятий в случае обнаружения превышений

нормативных значений ЭРОА радона на «обитаемых» этажах зданий.

Обследование помещений проводилось на всех этажах зданий, относящихся к группам по характеру использования: детские сады, школы, жилые дома, медицинские и иные учреждения. Всего обследовано 302 помещения. Подавляющую часть экспозиметров при повторном обследовании размещали по адресам ранее обследованных помещений. Таких помещений 266. В ряде объектов двухсезонные измерения проведены в нескольких помещениях на разных этажах.

Значения гамма-фона в обследованных помещениях, полученные с помощью дозиметров гамма-излучения при установке экспозиметров, находятся в интервале 0,07–0,14 мкЗв/ч, среднее значение составило 0,10 мкЗв/ч. Значимых отличий от типа и этажа зданий не выявлено.

Для оценки полноты выборки объектов обследования были построены распределения значений ЭРОА радона в помещениях как для каждой группы зданий, так и для всех помещений города (без различия назначения зданий). На рисунке 2 в качестве примера приведены распределения для 1 и 2 этажей всех зданий.

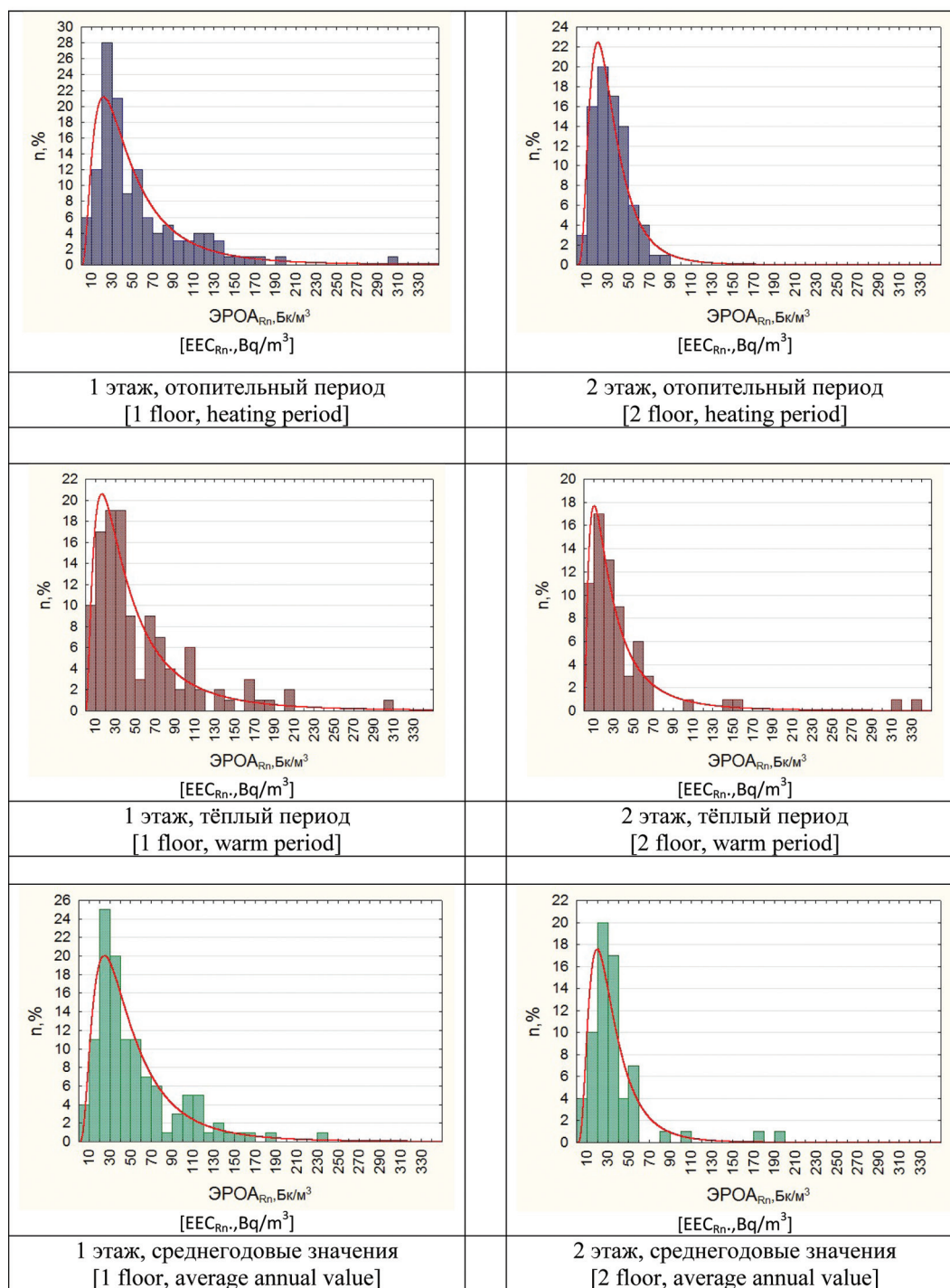


Рис. 2. Распределения значений ЭРОА радона для объединенных выборок всех обследованных помещений на 1 и 2 этажах зданий. Огибающие линии – логнормальные распределения, построенные по параметрам, определённым из значений данных выборок
[Fig.2. Distribution of the values of EEC of radon for combined samples of all surveyed rooms on 1 and 2 floors of the buildings. Lines – lognormal distribution, which are constructed by parameters of these samples]

Из рисунка 2 следует, что:

- представленные распределения близки к логнормальным,
- практически все значения ЭРОА (даже с учётом 30% – погрешности) менее 200 Бк/м³,
- на всех распределениях есть значения ЭРОА более 200 Бк/м³, которые явно «выпадают» из рассматриваемых выборок.

Анализ показал, что все значения более 200 Бк/м³ относятся к одному или двум техническим или малопосещаемым помещениям в каждом из трёх общественных зданий, средняя ЭРОА в которых по данным нашего обследования, составляет 100, 100 и 205 Бк/м³.

Согласно существующим требованиям^{2,3}, здания не являются радиационно опасными, однако целесообразно провести их расширенное исследование. Все последующие расчеты и оценки выполнены без учета данных по этим зданиям, т.е. учитываются только результаты, полученные в помещениях остальных 62 зданий.

Более детально обобщённые результаты обследования помещений в г. Лесной представлены в таблице 2.

Значения среднегеометрических стандартных отклонений ЭРОА радона для всех помещений (без различия по этажам и без учета подвалов) в отдельных группах зданий г. Лесной представлены в таблице 3.

Обобщенные результаты измерений ЭРОА в отдельных группах зданий г. Лесной (без учета подвалов), Бк/м³
[Table 2]

Generalized results of measurements of EEC in different groups of buildings in the city Lesnoy (without cellars), Bq/m³

Назначение зданий [Function of the buildings]	Этаж [Floor]	1			2			3			4		
	Показатель [Parameter]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [HP]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Детские сады [Kindergartens]	Количество измерений [Number of measurements]	24	23	23	22	15	15	–	–	–	–	–	–
	Интервал значений [Range]	21– 149	15– 110	19– 130	15– 75	15– 54	19– 60	–	–	–	–	–	–
	Среднеарифм. Значение [Arithmetical mean]	55	45	51	38	30	34	–	–	–	–	–	–
	Медиана [Median]	38	30	38	36	30	33	–	–	–	–	–	–
	Стандартное отклонение [Standard deviation]	38	33	31	14	12	11	–	–	–	–	–	–
Школы [Schools]	Количество измерений [Number of measurements]	12	11	11	8	8	8	5	5	5	1	1	0
	Интервал значений [Range]	15– 154	15– 165	15– 113	15– 62	15– 143	15– 102	23– 42	15– 30	25– 35	35	22	–
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	40	40	40	32	32	32	33	24	29	35	22	–
	Медиана [Median]	26	25	28	31	15	23	35	28	26	35	22	–
	Стандартное отклонение [Standard deviation]	41	45	35	19	46	30	8	9	4	–	–	–
Медицинские учреждения [Medical institutions]	Количество измерений [Number of measurements]	49	45	45	34	26	26	13	11	11	5	2	2
	Интервал значений [Range]	15– 199	15– 147	15– 142	15– 83	15– 69	15– 57	15– 179	15– 69	15– 124	36– 68	34– 43	36– 47
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	48	48	48	30	27	28	51	25	36	47	39	41
	Медиана [Median]	38	41	43	26	22	27	24	18	22	43	39	41
	Стандартное отклонение [Standard deviation]	37	33	30	18	20	13	55	21	37	13	6	7

Окончание таблицы 2

Назначение зданий [Function of the buildings]	Этаж [Floor]	1			2			3			4		
	Показатель [Parameter]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [HP]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Жилые дома [Dwelling houses]	Количество измерений [Number of measurements]	21	20	20	8	8	8	2	2	2	4	4	4
	Интервал значений [Range]	15-124	15-81	15-80	15-57	15-30	15-41	15-22	< 15	< 15	15-39	15-27	15-26
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	36	30	34	27	18	22	17	8	12	21	15	18
	Медиана [Median]	28	26	29	27	18	23	17	8	12	18	13	17
	Стандартное отклонение [Standard deviation]	30	22	19	15	8	10	7	5	1	13	8	6
Иные Учреждения [Other institutions]	Количество измерений [Number of measurements]	13	12	12	5	5	5	-	-	-	-	-	-
	Интервал значений [Range]	28-127	15-167	33-137	34-65	15-101	24-83	-	-	-	-	-	-
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	69	75	79	49	54	56	-	-	-	-	-	-
	Медиана [Median]	78	67	102	65	52	56	-	-	-	-	-	-
	Стандартное отклонение [Standard deviation]	31	53	39	13	31	21	-	-	-	-	-	-

Таблица 3

Значения геометрических стандартных отклонений ЭРОА радона в помещениях (без учета подвалов), Бк/м³

[Table 3]

Values of geometric standard deviations of radon EEC in premises (without cellars), Bq/m³

Геометрическое стандартное отклонение, отн. ед. [Geometric standard deviation, rel. units]					
	Детские сады [Kindergartens]	Школы [Schools]	Медицинские учреждения [Medical institutions]	Жилые дома [Dwelling houses]	Иные Учреждения [Other institutions]
Отопительный период [Heating period]	3,0	2,4	2,3	1,7	2,6
Тёплый период [Warm period]	2,0	3,2	2,9	1,9	4,4

Результаты определения ЭРОА в помещениях, представленные в таблице 2, относятся к группам зданий различного назначения ввиду возможного влияния различных режимов их эксплуатации. Максимальное количество этажей в общественных зданиях – 4, в жилых – 9. Однако в данную таблицу не включены данные для помещений в жилых домах на 5–9 этажах. Это объясняется тем, что в процессе первого выборочного обследования было выявлено, что интервал полученных значений ЭРОА радона

в помещениях составляет 7–34 Бк/м³, а среднеарифметическое значение – 23 Бк/м³. При этом не выявлено каких-либо различий ЭРОА радона для этажей выше третьего. В связи с этим было принято решение о нецелесообразности расширения объема измерений на верхних этажах в рамках данных сезонных обследований.

Обращает на себя внимание, что, вопреки устойчивому мнению, не наблюдается преобладающего превышения «зимних» значений ЭРОА над «летними».

Например, в группе «Иные учреждения» наблюдается даже обратная зависимость.

Из таблицы 2 можно видеть, что наиболее высокие значения имеют верхние границы интервалов значений ЭРОА радона для медицинских и иных учреждений, но и они не превышают 200 Бк/м³. Средние среднегодовые значения ЭРОА радона для детских садов, школ, жилых домов и медицинских учреждений находятся в интервале 34–51 Бк/м³ и только для учреждений достигают 79 Бк/м³.

Средние значения ЭРОА радона по всем помещениям города Лесное составили: для отопительного периода 46 Бк/м³, для тёплого – 38 Бк/м³, среднегодовая – 42 Бк/м³.

На основании результатов измерений в помещениях были рассчитаны также средние значения ЭРОА радона по отдельным обследованным зданиям. Показано, что

значения ЭРОА радона (за исключением трёх упомянутых выше зданий) в отопительный, тёплый периоды и в среднем за год находятся в интервале 15–122, 15–104 и 15–90 Бк/м³ соответственно. Средние значения по совокупности зданий составляют 41, 36 и 39 Бк.

На рисунке 3 показаны в графическом виде межэтажные соотношения значений ЭРОА радона в помещениях зданий различного назначения (отн. ед.) в различные периоды года, а также в среднем по году.

Из рассмотрения диаграмм следует, что как для отдельных периодов, так и в среднем по году отношение средних значений ЭРОА радона в помещениях на вторых этажах по отношению к первым этажам зданий разных групп зданий составляет 0,6–0,8. Монотонность убывания отношений нарушается для разных групп зданий для третьих – четвёртых этажей. Выше было отмечено, что для более высо-

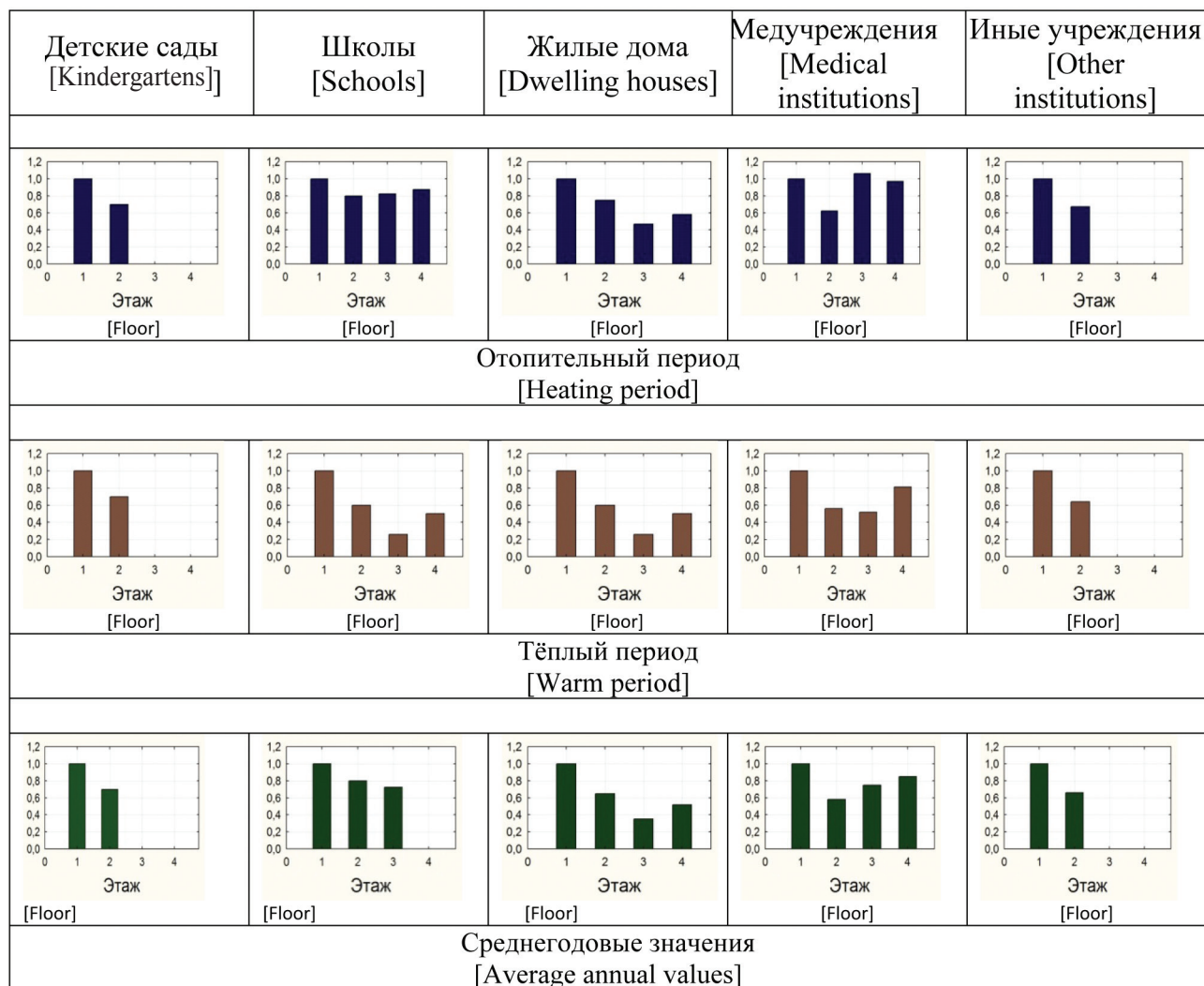


Рис. 3. Межэтажные соотношения значений ЭРОА радона в помещениях зданий различного назначения (отн. ед.) в различные периоды года

[Fig.3. The ratio of the values of EEC of radon in rooms on different floors in the buildings with different function]

ких этажей (только жилые дома) ЭРОА радона вообще не зависит от этажа. Это можно объяснить как малой статистикой измерений в помещениях на верхних этажах, так и в среднем относительно невысокими значениями ЭРОА, характерными для большинства зданий города.

Сравнение групп значений средних ЭРОА радона по городу (см. табл. 2) показывает, что они в достаточной степени совпадают. Эти значения можно рассматривать как верхнюю оценку реальных средних значений ЭРОА радона в городе, т.к. она не учитывает, что большинство населения города живет выше первого – второго этажей, и следовательно, в помещениях длительного пребывания большинства жителей ЭРОА радона ниже, чем в большинстве обследованных нами помещений. Межэтажные соотношения средних значений ЭРОА радона в совокупности с демографическими и градостроительными характеристиками (состав жилого фонда, количество населения, проживающего на разных этажах и т.д.) в дальнейшем могут быть использованы для уточнения доз облучения на-

селения города природными источниками ионизирующих излучений.

Данные, полученные при обследовании всех помещений, были использованы также для выявления зависимости содержания радона в помещениях зданий, построенных из различных материалов. Большинство обследованных нами зданий – кирпичные и шлакоблочные. Оценки показали, что в помещениях кирпичных домов содержание радона в среднем меньше, чем в шлакоблочных: диапазоны значений ЭРОА радона – 15–188 и 15–235 Бк/м³, средние среднегодовые значения ЭРОА радона – 41 и 54 Бк/м³ соответственно.

На основании полученных среднесезонных и среднегодовых значений ЭРОА радона в соответствии с соотношениями (4) – (6) были рассчитаны значения сезонных и годовых индивидуальных доз от радона для всех обследованных жилых помещений. Значения доз в жилых помещениях, усредненные по группам зданий, представлены в таблице 4.

Таблица 4

Обобщенные результаты оценки индивидуальных среднегодовых доз облучения в помещениях отдельных групп зданий г. Лесной, мЗв/год

[Table 4]

Generalized results of assessing of average annual personal dose of exposure in rooms of different groups of buildings in the city Lesnoy, mSv/year

Назначение зданий [Function of the buildings]	Показатель [Parameter]	Этаж [Floor]				Среднее по зданию [Average in building]
		1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6	7
Детские сады [Kindergartens]	Количество измерений [Number of measurements]	23	15	-	-	14*
	Интервал значений [Interval of values]	1,3-8,3	1,3-3,9	-	-	1,5-5,2
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	3,3	2,3	-	-	2,9
	Медиана [Median]	2,5	2,2	-	-	2,5
Школы [Schools]	Количество измерений [Number of measurements]	10	8	4	-	4*
	Интервал значений [Interval of values]	0,5-7,3	0,6-6,7	1,7-2,3	-	1,9-2,6
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	2,5	2,1	1,9	-	2,2
	Медиана [Median]	1,7	1,6	1,7	-	2,2
Медицинские учреждения [Medical institutions]	Количество измерений [Number of measurements]	45	27	12	2	18*
	Интервал значений [Interval of values]	0,7-9,1	0,6-3,7	0,7-8,0	2,4-3,1	0,7-5,4
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	3,1	1,8	2,5	2,7	2,7
	Медиана [Median]	2,86	1,76	1,67	2,7	2,5

Назначение зданий [Function of the buildings]	Показатель [Parameter]	Этаж [Floor]				Среднее по зданию [Average in building]
		1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6	7
Жилые дома [Dwelling houses]	Количество измерений [Number of measurements]	20	8	2	4	19*
	Интервал значений [Interval of values]	1,0-5,1	0,8-2,7	0,8-0,9	0,8-1,8	0,9-4,8
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	2,2	1,5	0,9	1,2	1,8
	Медиана [Median]	1,9	1,5	0,9	1,2	1,5
Иные учреждения [Other institutions]	Количество измерений [Number of measurements]	12	5	-	-	5*
	Интервал значений [Interval of values]	2,2-8,8	1,7-5,4	-	-	1,9-5,9
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	5,4	3,6	-	-	4,0
	Медиана [Median]	6,5	3,6	-	-	4,2

*Количество зданий
[Number of buildings]

Таким образом, дозы во всех обследованных помещениях не превышают 10 мЗв/год, а средние значения доз для большинства групп зданий (детские сады, школы, жилые дома, медицинские учреждения) находятся в интервале 2–3 мЗв/год, и только для группы «Иные учреждения» – достигают 4 мЗв/год.

Следует отметить, что в соответствии с МУ 2.4.1.1088-02⁹ при расчете дозы общая доля времени нахождения людей в помещениях в течение суток принимается равной 0,8 (т.е. 19,2 ч/сут). Однако использование этой доли времени не будет правомерно даже для персонала медицинских учреждений, находящегося на суточном дежурстве, или пациентов стационаров. Тем более это относится к учащимся и персоналу образовательных учреждений, которые находятся в этих зданиях максимум по 12 ч/сут, а остальное время проводят в иных зданиях. Поэтому представленные значения доз облучения для детских и медицинских учреждений следует рассматривать как наиболее консервативную оценку.

В таблице 5 представлены результаты оценки индивидуальной средней среднегодовой дозы облучения радоном для города в целом, которые получены двумя способами:

- способ 1 – усреднение результатов измерений для всех обследованных помещений,
- способ 2 – усреднение результатов оценок средних доз облучения в каждом из обследованных зданий.

Таблица 5
Обобщенные результаты оценки средней индивидуальной среднегодовой дозы облучения в помещениях г. Лесной, мЗв/год

[Table 5]
Generalized results of assessing of average annual personal dose of exposure in rooms in Lesnoy, mSv/year

Способ оценки [Method of assessing]	Интервал значений среднегодовых доз в помещениях/ зданиях, мЗв/год [Interval of values of average personal doses of exposure in rooms/in buildings, mSv/year]	Среднее значение дозы, мЗв/год [Average value of dose, mSv/year]
1	0,5–5,9	2,7
2	0,5–6,5	2,7

⁹ МУ 2.6.1.1088-02. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. – Минздрав России, Москва, 2002. [Methodic guidelines 2.6.1.1088-02 Assessment of the individual effective doses of the public from natural sources of ionizing radiation. Ministry of healthcare of the Russian Federation, Moscow, 2002. (In Russian)]

Сравнение значений средней среднегодовой дозы облучения радоном, полученных двумя способами, совпадают. Значение 2,7 мЗв/год можно рассматривать как верхнюю оценку реального значения дозы от радона в городе, т.к. она не учитывает, что большинство населения города живет выше первого-второго этажей, и следовательно, в помещениях длительного пребывания большинства жителей ЭРОА радона ниже, чем в большинстве обследованных нами помещений.

Посёлок Горный. Обследовано 4 здания: два детских сада, школа и медучреждение. Измерения в подвалах не проводились. Результаты представлены в таблице 6.

Из таблицы 6 следует, что по данным нашего обследования в здании медицинского учреждения содержание радона не соответствует действующим требованиям радиационной безопасности. Однако решение о радонной реабилитации этого здания целесообразно принимать только после проведения дополнительного углубленного обследования.

Рекомендуется, исходя из того, что одно из трёх обследованных зданий не соответствует требованиям радиационной безопасности, провести более объемное выборочное радоновое обследование посёлка.

Оценки индивидуальных среднегодовых доз составили 2,4, 3,0 и 13,1 мЗв/год при пребывании в зданиях детских садов, школы и медицинского учреждения соответственно. Отметим, однако, что по причинам, указанным выше, приведенные значения следует рассматривать в качестве консервативной оценки.

Посёлок Чащовита. В посёлке Чащовита проведено по три измерения в каждом сезоне в здании детского сада. Интервал полученных значений ЭРОА радона в помещениях составляет 15 – 22 Бк/м³, среднее значение по зданию – 17 Бк/м³, доза от радона менее 1 мЗв/год. В радиационном отношении здание является абсолютно безопасным.

Таблица 6

Обобщенные результаты измерений ЭРОА в зданиях пос. Горный, Бк/м³

[Table 6]

Summary of the results of the measurements of equilibrium equivalent volume activity in buildings of Gorniy township, Bk/m³

Назначение зданий [Function of the buildings]	Этаж [Floor]	1		2		3		Среднегодовые ЭРОА по зданиям, мЗв/год [Average annual value of ECC in buildings, mSv/year]
	Показатель [Parameter]	ОП [HP]	ТП [WP]	ОП [HP]	ТП [WP]	ОП [HP]	ТП [WP]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Детские сады [Kindergartens]	Количество измерений [Number of measurements]	5	5	4	2			
	Интервал значений [Interval of values]	15-58	26-68	22-58	15, 25			36
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	34	43	36	20			
Школа [Schools]	Количество измерений [Number of measurements]	4	4	2	1	2	2	
	Интервал значений [Interval of values]	30-91	53-73	42-66	16	28, 41	18-38	46
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	55	66	25	16	34	28	
Медицинское учреждение [Medical institutions]	Количество измерений [Number of measurements]	8	4	3	1			
	Интервал значений [Interval of values]	74-264	84-661	113, 179	195			206
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	137	290	146	195			

Заключение

В соответствии с действующими нормативными документами ^{10,11,12} степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз облучения всеми основными природными источниками излучения: менее 5 мЗв/год – приемлемый уровень облучения населения от природных источников излучения; от 5 до 10 мЗв/год – облучение населения является повышенным; более 10 мЗв/год – облучение населения является высоким. Мероприятия по снижению уровней облучения природными источниками излучения должны осуществляться в первоочередном порядке для групп населения, подвергающихся облучению в дозах более 10 мЗв/год.

Из данных таблицы 4 следует, что в целом ЭРОА радона и дозы облучения в г. Лесной не превышают значения приемлемого уровня облучения населения от природных источников излучения.

Однако, с учетом того, что детские учреждения требуют особого внимания, целесообразно обратить внимание на учреждения, в частности школы, где средняя доза составляет 3–4 мЗв/год (предполагается, что доза от гамма-фона примерно 1 мЗв/год), которые, на наш взгляд, нуждаются в повторном более детальном обследовании.

Радиационная обстановка в обследованных жилых зданиях и медицинских учреждениях г. Лесной в целом вполне приемлемая. Вместе с тем, как отмечено в данной работе, в нескольких учреждениях ЭРОА радона имеют повышенные значения, и средняя доза от радона находится в интервале 5–10 мЗв/год. Целесообразно повторить детальное обследование этих учреждений, вычленив при этом только помещения длительного пребывания персонала и посетителей (более 2 ч в сутки).

В настоящее время отсутствует общепринятый подход к оценке остроты «радоновой ситуации» по результатам выборочных обследований населенных пунктов. Для предварительных выводов по результатам обследований в работе [8] предложено сопоставить средние значения ЭРОА радона по населенным пунктам $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{ит}}$ с интервалами, кратными среднему значению ЭРОА радона в воздухе зданий и сооружений в Российской Федерации $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{РФ}}$. В качестве значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{РФ}}$ было принято 27 Бк/м³, полученное на основе усреднения данных Государственных докладов о санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации за 1997–2007 г. г. [14].

Отнесение населенного пункта по значению $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{ит}}$

к тому или иному интервалу определяет цель, характер и объем последующих работ, направленных на снижение облучения населения радоном. При консервативном подходе по результатам нашего обследования город Лесной можно отнести к интервалу от $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{РФ}}$ до 2 $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{РФ}}$. В данном случае на фоне в целом благополучной обстановки, остается задача выявления отдельных помещений с высокими значениями ЭРОА, обусловленными геологическими условиями в разных частях города. Такого типа обследования с использованием интегральных методов определения содержания радона в помещениях целесообразно планировать в рамках проводимого регулярного социально-гигиенического мониторинга.

Обследование всего нескольких зданий в поселках Горный и Чашовита, входящих в городской округ «Город Лесной», указывает на возможно неблагоприятную радиационную обстановку, обусловленную природными источниками, в поселке Горном. Для уточнения ситуации целесообразно провести выборочные обследования большего объема.

Авторы благодарны руководству ФМБА России, без внимания и помощи которого данная работа была бы невозможна.

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. Маренный, А.М. Закономерности формирования радонового поля в геологической среде / А.М. Маренный, А.А. Цапалов, П.С. Микляев, Т.Б. Петрова. - М.: Перо, 2016. - 394 с.
3. Жуковский, М.В. Радоновая безопасность зданий / М.В. Жуковский, А.В. Кружалов, В.Б. Гурвич, И.В. Ярмошенко. - Екатеринбург: УрО РАН, 2000. - 180 с.
4. Гулябниц, Л.А. Пособие по проектированию противорадоновой защиты жилых и общественных зданий / Л.А. Гулябниц. - М.: НО «ФЭН-НАУКА», 2013. - 52 с.
5. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126, Ann. ICRP 43 (3), 2014.
6. Маренный, А.М. Проблема облучения населения от природных источников ионизирующих излучений / А.М.

¹⁰ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09) утв. и введены в действие от 07.07.09 г. – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с. [Norms of the radiation safety (NRB 99/2009): Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 100 p. (In Russian)]

¹¹ СанПиН 2.6.1.2800-10. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет источников ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. [SanPiN 2.6.1.2800-10. [Hygienic requirements on the limitation of the exposure of the public from the natural sources of ionizing exposure. Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2800-10. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2011, 40 p. (In Russian)]

¹² СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. [Basic sanitary rules of the provision of the radiation safety (OSPORB 99/2010): Sanitary rules and norms SP2.6.1.2612-10. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2010, 83 p. (In Russian)]

- Маренный // Инф. Бюлл. «Ядерная и радиационная безопасность России». – 2002. – вып. 2 (5). – с. 36-63.
7. Киселев, С.М. Радон. От фундаментальных исследований к практике регулирования / С.М. Киселев, М.В. Жуковский, И.П. Стамат, И.В. Ярмошенко. – М.: ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2016. – 350 с.
8. Губин, А.Т. Обследование территорий, обслуживаемых ФМБА России, на содержание радона в помещениях / А.Т. Губин [и др.] // Медицина экстремальных ситуаций. – 2012. – № 4 (42). – С. 77–88.
9. 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.
10. Цапалов, А.А. Принципы радонового контроля в помещениях зданий / А.А. Цапалов, А.М. Маренный // АНРИ. – 2014. – №1. – С. 6-15.
11. Маренный, А.М. Методические аспекты измерений средней объемной активности радона в помещениях интегральным трековым методом / А.М. Маренный // АНРИ. – 2012. – №4. – С. 13-19.
12. Пенезев, А.В. База данных результатов измерений радона и возможности графических программ для их анализа / А.В. Пенезев [и др.] // В сб. тезисов конференции «Актуальные вопросы радиационной гигиены», Санкт-Петербург, 7-9 июня 2010 г. – СПб., 2010. – С. 112-113.
13. 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.
14. Губин, А.Т. Анализ динамики ЭРОА радона по данным государственного доклада о санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации за период 1996-2007 гг. / А.Т. Губин, В.А. Сакович, Ф.М. Киселев // АНРИ. – 2009. – № 4. – С. 21-28.

Поступила: 22.06.2018 г.

Маренный Альберт Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией природных источников ионизирующих излучений Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 123182, Москва, ул. Щукинская, д. 40; E-mail: amarennyy@yandex.ru

Киселёва Марина Евгеньевна – заведующая лабораторией химических, физических, радиологических факторов Центра гигиены и эпидемиологии № 91 Федерального медико-биологического агентства, Лесной, Россия

Нефёдов Николай Александрович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

Сутягина Галина Ивановна – заведующий лабораторным отделом Центра гигиены и эпидемиологии № 91 Федерального медико-биологического агентства, Лесной, Россия

Карл Лидия Эдуардовна – младший научный сотрудник Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

Для цитирования: Маренный А.М., Киселева М.Е., Нефёдов Н.А., Сутягина Г.И., Карл Л.Э. Обследование зданий города Лесной на содержание радона в помещениях // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 92-106. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-92-106.

Survey of buildings in the city Lesnoy on the indoor radon concentration

Albert M. Marennyy¹, Marina E. Kiseleva², Nikolay A. Nefedov¹, Galina I. Sutiagina², Lidiya E. Karl¹

¹Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene, Federal Medical-Biological Agency, Moscow, Russia

²Center of Hygiene and Epidemiology № 91, FMBA of Russia, Lesnoy, Russia

Survey of the buildings in the Lesnoy city, Sverdlovsk region, on the indoor radon were performed. Measurements of radon volume activity were carried out by integral method using radon track exposimeters REI-4. Exposimeters were installed for measurements at 2–4 months in the heating and warm periods of the year in the same premises. 17 kindergartens, 7 schools, 20 dwelling houses, 22 medical institutions and 3 other institutions were surveyed. The values of the equivalent equilibrium concentration of radon and indoor radon doses are obtained. The results of determining the radon equivalent equilibrium concentration in the premises on different floors of buildings belonging to different groups in the heating and warm period of the year, as well as the estimated average annual values of equivalent equilibrium concentration are presented. Average annual values of equivalent equilibrium concentration for kindergartens, schools, dwellings houses and medical institutions are in the range of 34–51 Bq/m³, and only for other institutions reach 79 Bq/m³. Average values of equivalent equilibrium concentration for all premises of the city Lesnoy were: for the heating period – 46 Bq/m³, for warm – 38 Bq/m³, average annual – 42 Bq/m³. It is shown that both for separate periods and for the annual the ratio of average equivalent equilibrium concentration values in the rooms on the second floors in relation to the first floors of different groups buildings is 0.6–0.8. For higher floors of dwellings houses

the radon equivalent equilibrium concentration values does not depend on the floor. This can be explained by both the small statistics of measurements in the rooms on the upper floors and the relatively low values of equivalent equilibrium concentration, that is typical for most buildings of the city. The estimates showed that the average radon concentration in brick houses is less than in slag-block houses: the values of radon equivalent equilibrium concentration – 6 – 188 and 10 – 235 Bq/m³, the average annual values – 41 and 54 Bq/m³, respectively. Conservative estimates of annual doses of radon in all the surveyed premises do not exceed 10 mSv/year, and the average annual doses for most groups of buildings (kindergartens, schools, dwelling houses, medical institutions) are in the range of 2 – 3 mSv/year, and only for the group «Other institutions» – up to 4 mSv/year.

Key words: survey, volume radon activity, EEC, dose, premises, dwellings, public buildings, town, radiation safety.

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.M., Tsapalov A.A., Miklyaev P.S., Petrova T.B. Patterns of the radon field in a geological environment. Moscow, Pero, 2016, 394 p. (in Russian).
3. Zhukovsky M.V., Kruzhalov A.V., Gurvich V.B., Yarmoshenko I.V. Radon safety of the buildings. Ekaterinburg, UrORAN, 2000, 180 p. (in Russian).
4. Gulabyants L.A. A handbook on the design of the anti-radon protection of the living and public buildings. Moscow, NO «FEN-NAUKA», 2013, 52 p. (in Russian).
5. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126, Ann. ICRP 43 (3), 2014.
6. Marennyy A.M. Problems of the exposure of the public from natural sources of ionizing exposure. Informatsionnyy Bulletin «Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost Rossii» = Information bulletin «Nuclear and radiation safety of Russia», 2002, 2(5), pp. 36-63 (in Russian).
7. Kiselev S.M., Zhukovsky M.V., Stamat I.P., Yarmoshenko I.V. Radon. From fundamental studies to regulatory practice. Moscow, GNC FMBC im A.I. Burnazyan, 2016, 350 p. (in Russian).
8. Gubin A.T., Marennyy A.M., Sakovich V.A. [et al.]. A survey of the territories supervised by FMBA of Russia on the radon concentration in habitats. Meditsina ekstremalnykh situatsiy = Medicine of extreme situations, 2012, №4(42), pp. 77-88 (in Russian).
9. Marennyy A.M., Romanov V.V., Astafurov V.I., Gubin A.T., Kiselev S.M., Nefedov N.A., Peneshev A.V. Survey for indoor radon in dwellings on the territories supervised by FMBA of Russia. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2015, vol. 8, No1, pp. 23-29 (in Russian).
10. Tsapalov A.A., Marennyy A.M. Principles of radiation control in the habitats. ANRI = ASAP, 2014, №1, pp. 6-15 (in Russian).
11. Marennyy A.M. Methodical aspects of the measurement of the mean volume activity of radon in the housings using integral track method. ANRI = ASAP, 2012, №4, pp.13-19 (in Russian).
12. Penezhev A.V., Astafurov V.I., Vereshchagin O.A. [et al.]. Database of the results of radon measurement and opportunities of graphical software for their analysis. Proceedings of the conference «Topical issues of radiation hygiene». Saint Petersburg, 2010, pp. 112-113 (in Russian).
13. Marennyy A.M., Kiselev S.M., Titov A.V. [et al.]. Survey in Krasnokamensk city on the content of indoor radon. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2013, Vol. 6, No 3, pp. 47-52 (in Russian).
14. Gubin A.T., Sakovich V.A., Kiselev F.M. Analysis of the dynamics of EEVA based on the data of the state report on sanitary-epidemiological situation in the Russian Federation in 1996-2007. ANRI = ASAP, 2009, No 4, pp. 21-28 (in Russian).

Received: June 22, 2018

For correspondence: 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 and Hygiene of the FMBA of Russia (Shchukinskaya Str., 40, Moscow, 123182, Russia; E-mail: amarennyy@yandex.ru)

Marina E. Kiseleva - Head of the Laboratory of Chemical, Physical, and Radiological Factors of the Hygiene and Epidemiology Center № 91 of the FMBA of Russia, Lesnoy, Russia

Nikolay A. Nefedov - PhD, Leading Researcher of Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical and Hygiene of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

Galina I. Sutiagina - Head of laboratory Department of the Hygiene and Epidemiology Center № 91 of the FMBA of Russia, Lesnoy, Russia

Lidiya E. Karl - Junior researcher of Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical and Hygiene of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

For citation: Marennyy A.M., Kiseleva M.E., Nefedov N.A., Sutiagina G.I., Karl L.E. Survey of buildings in the city Lesnoy on the indoor radon concentration. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No 3, pp. 92-106. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-92-106.

Albert M. Marennyy

Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene

Address for correspondence: Shchukinskaya Str., 40, Moscow, 123182, Russia; E-mail: amarennyy@yandex.ru

Опыт реабилитации объектов, загрязненных радионуклидами, на примере участка территории завода «Мосрентген»

Т.А. Кормановская ¹, Д.В. Кононенко ¹, В.А. Венков ¹, С.А. Иванов ¹, В.В. Бережной ²

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 Общество с ограниченной ответственностью «Мосрентген», Москва, Россия

В статье на примере опыта проведенных работ на участке территории завода «Мосрентген», получившем загрязнение вследствие радиационной аварии 1962 г., рассматриваются вопросы реабилитации объектов и территорий, загрязненных радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий. Подробно описан ход мероприятий, проведенных на участке в период 2012–2017 гг.; проанализированы ошибки, допущенные при выполнении радиационного обследования и приведшие к обнаружению в ходе вскрышных работ при строительстве производственного здания на дезактивированном участке большого объема радиоактивных отходов. Предложена методика предварительной оценки удельной активности ¹³⁷Cs в грунтах по мощности экспозиционной дозы гамма-излучения над поверхностью партии грунта. Показана необходимость создания и внедрения в практику нормативно-методической базы, определяющей порядок, виды и объемы проведения исследований при реабилитации объектов и территорий.

Ключевые слова: авария, реабилитация, радиоактивные отходы, цезий.

Введение

Проблема реабилитации объектов и территорий, загрязненных радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, в настоящее время приобретает большое значение [1, 2]. Проводится разработка современного нормативно-правового и методологического обеспечения мероприятий по реабилитации объектов и территорий, научное обоснование новых современных подходов, учитывающих возможные направления использования зданий, сооружений и территорий после окончания реабилитационных мероприятий [3]. Для решения поставленных задач разрабатываются следующие обоснования:

- наиболее приемлемые направления использования реабилитированных объектов и территорий, при которых будет обеспечен максимальный положительный результат при минимальных расходах на его достижение;
- системы радиологических критериев для оценки реабилитированных объектов и территорий с учетом конкретных направлений их использования в хозяйственной деятельности [4–6].

На территории ближнего Подмосковья, часть которого в 2011–2012 гг. вошла в состав г. Москвы, расположен ряд предприятий различных отраслей промышленности, на территории которых вследствие радиаци-

онных аварий, произошедших еще в советское время, образовались загрязненные радионуклидами объекты и участки [7]. На одном из таких участков, относящихся к заводу по производству медицинского оборудования «Мосрентген» в Ленинском районе Московской области (ныне – территория г. Москвы), в последнее десятилетие были выполнены работы по реабилитации территории.

Цель исследования – изучение опыта проведения реабилитационных мероприятий на загрязненном радионуклидами участке территории бывшего завода «Мосрентген» и дальнейшего использования реабилитированного участка, анализ ошибок, допущенных в ходе проведения радиационных обследований перед проведением, в период проведения и после завершения реабилитационных мероприятий.

Описание объекта реабилитации

Историческая справка

После Великой Отечественной войны в подмосковный поселок Троицкое из Германии в счет репараций вывезли завод, выпускавший рентгеновскую аппаратуру. И завод, и жилой поселок получили название «Мосрентген». В 1962 г. в одном из цехов завода произошла авария, в результате которой часть территории предприятия (участок площадью 0,53 га) оказалась радиоактивно загрязненной.

Кормановская Татьяна Анатольевна

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

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: f4dos@mail.ru

В настоящее время территория бывшего завода «Мосрентген» представляет собой технопарк, в контуре которого размещены производственные объекты различного назначения. Собственником части территории (в том числе участка, загрязненного вследствие радиационной аварии) является ООО «Мосрентген».

Постановлением Московской областной Думы от 5 июля 2006 г. № 9/186-П¹ был утвержден итоговый отчет о реализации государственной программы Московской области «Радиационная безопасность Московской области на 1999–2005 годы», в п. 1 которого «Организация и проведение работ по локализации и ликвидации очагов техногенного радиоактивного загрязнения, реабилитации загрязненных территорий» указано: «Завод «Мосрентген» в Ленинском районе имеет законсервированное с 1962 г. поставарийное захоронение значительного количества РАО. Общий объем захоронения составляет 5200 куб. м, объем РАО – порядка 1700 куб. м, основные загрязнители – кобальт-60, цезий-137. Захоронение имеет природную барьерную защиту, горизонтальная миграция радионуклидов не наблюдается. В 2001–2002 гг. на объекте проводились мониторинговые исследования. В настоящее время требуется дальнейшее проведение локального радиационного мониторинга и инженерного обустройства захоронения».

После длительной консервации объекта к 2012 г. на территории участка площадью 0,53 га находились две локальные объемные радиационные аномалии:

- засыпанное грунтом обрушенное здание, в котором размещалось оборудование для зарядки гамма-терапевтических установок и промышленных гамма-дефектоскопов; здание имело кирпичные стены, крышу из шифера, отдельные элементы конструкций были выполнены из железобетона;

- котлован, в котором размещено засыпанное грунтом радиоактивно загрязненное оборудование, спецодежда и другие материалы, поступившие из цеха, где осуществлялись производство и зарядка гамма-терапевтических установок и промышленных гамма-дефектоскопов, а также радионуклидные источники.

Загрязняющим радионуклидом на территории участка являлся ¹³⁷Cs.

Радиационные обследования и мероприятия по реабилитации участка

ЗАО «Альянс-Гамма» в 2012 г. было проведено инженерно-радиационное обследование, которое не выявило на участке других объемных радиационных аномалий [8]. При выполнении обследования на территории земельного участка для поиска глубинных

радиационных аномалий применялось бурение скважин. Данными о размерах сетки для бурения скважин авторы статьи не располагают.

С 2012 по 2014 г. на участке были выполнены работы по дезактивации и вывозу специализированной организацией с территории твердых радиоактивных отходов (РАО).

Радиационное обследование территории участка, проведенное в 2014 г. с привлечением сотрудников ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, выявило многочисленные поверхностные радиационные аномалии. В пробах радиоактивно загрязненных почв и грунтов, отобранных в пределах выявленных радиационных аномалий, было подтверждено наличие только природных радионуклидов (ПРН) и техногенного радионуклида ¹³⁷Cs.

Эффективная удельная активность ПРН в отобранных пробах радиоактивно загрязненных почв и грунтов, определенная гамма-спектрометрическим методом, находилась в диапазоне 80–170 Бк/кг при среднем значении показателя около 125 Бк/кг, что соответствует среднероссийскому уровню содержания ПРН в почвах [9–11], удельная активность ¹³⁷Cs составила от 10–15 Бк/кг до 6500 Бк/кг.

После окончания работ по дезактивации территории земельный участок площадью 0,53 га планировалось использовать под строительство зданий и сооружений производственного назначения. В соответствии с п. 5.2.3. ОСПОРБ-99/2010² с учетом Изменений № 1, мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на участке территории, предназначенном под строительство производственных зданий и сооружений, не должна превышать 0,6 мкЗв/ч, а плотность потока радона с поверхности грунта в пределах контуров застройки проектируемого здания – 250 мБк/(м²×с). При проектировании здания на участке, не соответствующем этим требованиям, в проекте должна быть предусмотрена система защиты здания от повышенных уровней гамма-излучения и радона.

В соответствии с Приложением 3 к ОСПОРБ-99/2010 с учетом Изменений № 1, при удельной активности ¹³⁷Cs не более 0,1 кБк/кг любые твердые материалы, сырье и изделия (кроме продовольственного сырья, пищевой продукции и кормов для животных) допускаются к использованию в хозяйственной деятельности без ограничений по радиационному фактору.

В соответствии с п. 3.11.1 ОСПОРБ-99/2010 с учетом Изменений № 1, материалы с низкими уровнями содержания техногенных радионуклидов допускается использовать в хозяйственной деятельности. Критерием для принятия решения о возможном применении в хозяйственной деятельности сырья, материалов и изделий,

¹ Постановление Московской областной Думы от 5 июля 2006 г. № 9/186-П «Об итоговом отчете о реализации государственной программы Московской области «Радиационная безопасность Московской области на 1999–2005 гг.»» [Directive of the Moscow region Duma from 05 July 2006 N 9/186-P "On the final report on the execution of the Moscow region state program "Radiation safety of the Moscow region in 1999-2005"]

² Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с. [Basic sanitary rules for the provision of radiation safety (OSPORB 99/2010): Sanitary rules and norms SP 2.6.1.2612-10. Moscow: Federal center of hygiene and epidemiology of Rosпотребнадзор; 2010. 83 p.]

содержащих радионуклиды, является ожидаемая индивидуальная годовая эффективная доза облучения, которая при планируемом виде их использования не должна превышать 10 мкЗв.

В соответствии с п. 3.11.4 ОСПОРБ-99/2010 с учетом Изменений № 1, сырье, материалы и изделия с удельной активностью техногенных радионуклидов от значений, приведенных в Приложении 3 к ОСПОРБ-99/2010, до значений МЗУА (при наличии нескольких техногенных радионуклидов, сумма отношений удельных активностей всех содержащихся в материале техногенных радионуклидов к значениям МЗУА для них должна быть меньше единицы) могут ограниченно использоваться при соблюдении требований п. 3.11.1 для данного вида использования.

Таким образом, при строительстве на участке (в случае соответствия участка требованиям п. 5.2.3. ОСПОРБ-99/2010 с учетом Изменений № 1) производственного здания или сооружения возможно использование материалов с удельной активностью ^{137}Cs до 10,0 кБк/кг (например, обратная засыпка котлованов изъятими грунтами) при соблюдении требований п. 3.11.1 и п. 3.11.4 ОСПОРБ-99/2010.

В соответствии с п. 3.11.8 ОСПОРБ-99/2010 с учетом Изменений № 1, в случае невозможности или нецелесообразности использования материалов, отнесенных к категории ограниченного использования по п. 3.11.4, они направляются на специально выделенные участки объектов размещения производственных отходов в соответствии с законодательством в сфере обращения с отходами производства и потребления. В соответствии с терминологией СП 2.6.6.2572-2010³, твердые производственные отходы, в которых удельная активностью ^{137}Cs находится

в диапазоне от 0,1 до 10,0 кБк/кг, относятся к отходам, загрязненным техногенными радионуклидами, или ОНАО (очень низкоактивные отходы). Обращение с отходами с удельной активностью ^{137}Cs не более 0,1 кБк/кг допускается без ограничений по радиационному фактору; если удельная активностью ^{137}Cs в отходах превышает 10,0 кБк/кг, необходимо их отнесение к РАО.

Таким образом, в соответствии с требованиями нормативных документов и с учетом планируемого использования участка под строительство зданий и сооружений производственного назначения, контролируемые параметрами при проведении радиационного обследования участка территории являлись мощностью эквивалентной дозы гамма-излучения и удельная активностью ^{137}Cs в грунтах и других материалах и отходах.

Предварительная оценка удельной активностью ^{137}Cs в грунтах и других материалах и отходах производилась по соотношению между мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) в мкР/ч на расстоянии 0,1 м от поверхности партии материала за вычетом гамма-фона и удельной активностью ^{137}Cs (А) в кБк/кг [12, 13]. Удельная активностью ^{137}Cs определялась по величине МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности партии материала в соответствии с таблицей с учетом объема партии.

В расчетах граничных значений соотношения между удельной активностью ^{137}Cs и величиной МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности партий материалов разного объема учтены не только результаты модельных расчетов, но и данные экспериментальных исследований на натурных моделях разного объема, полученных для партий однородных по виду и содержанию ^{137}Cs технологических отходов. Наилучшая

Таблица

Соотношение между МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности партии материалов разного объема и средней удельной активностью ^{137}Cs в материалах

[Table

Ratio of gamma radiation exposure rate at the distance of 0.1 m from the surface of the batch of materials of different volume to mean activity concentration of ^{137}Cs in materials

Объем партии материалов V, м ³ [Volume of the batch, V, m ³]	Значения Р (мкР/ч), соответствующие значениям удельной активностью ^{137}Cs А (кБк/кг) для партии материалов разного объема*) [P values (μR/h), corresponding to the values of activity concentration of ^{137}Cs A (kBq/kg) for the batches of different volume]			
	A < 0,1	A ≤ 1,0	A ≤ 10,0	A > 10,0
V ≤ 0,01	P ≤ 1	P ≤ 5	P ≤ 50	P > 50
0,01 < V ≤ 0,10	P ≤ 2	P ≤ 7	P ≤ 70	P > 70
0,10 < V ≤ 0,50	P ≤ 2	P ≤ 10	P ≤ 100	P > 100
V > 0,50	P ≤ 2	P ≤ 17	P ≤ 170	P > 170

*) Значения МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности партии материалов, соответствующие значениям удельной активностью ^{137}Cs в партии материалов разного объема, в таблице приведены за вычетом гамма-фона местности. [Values of the gamma radiation exposure rate at the distance of 0.1 m from the surface of the batch of materials corresponding to the values of activity concentration of ^{137}Cs in the batch of materials of different volume are provided in the Table with the subtraction of the background gamma radiation exposure rate.]

³ Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных станций, содержащими техногенные радионуклиды: Санитарные правила СП 2.6.6.2572-2010. [Provision of radiation safety while handling of the production waste of nuclear power plants, containing artificial radionuclides: Sanitary rules SP 2.6.6.2572-2010.]

оценка соотношения между удельной активностью ^{137}Cs и величиной МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности партии материалов разного объема имеет место для верхней границы диапазона значений объема.

При расчетах соотношения МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности партий материалов разного объема и средней удельной активностью ^{137}Cs в материалах по таблице учтено, что МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности полубесконечного однородного пространства с удельной активностью ^{137}Cs , равной 10,0 кБк/кг, составляет около 170 мкР/ч [14].

При первичной оценке удельной активности ^{137}Cs по МЭД гамма-излучения число точек измерений МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности партии материала должно составлять:

- при объеме партии материала около 0,01 м³ – не менее 3;
- при объеме партии материала свыше 0,01 до 0,5 м³ – не менее 5;
- при большем объеме материала число точек измерений должно быть пропорционально увеличено.

Окончательное отнесение грунтов и отходов к РАО, ОНАО или материалам, обращение с которыми не имеет ограничений по радиационному фактору, производится по результатам определения удельной активности ^{137}Cs в грунтах и отходах (оперативный анализ – с применением полевого гамма-спектрометра, окончательный анализ – по данным измерений содержания ^{137}Cs в пробах в лабораторных условиях).

Изъятие радиоактивных отходов и радиоактивно загрязненных грунтов, почв и строительного мусора в пределах радиационных аномалий проводилось до глубины их распространения по значению мощности эквивалентной дозы гамма-излучения 0,6 мкЗв/ч – критерию соответствия участка территории под строительство производственных зданий и сооружений требованиям п. 5.2.3 ОСПОРБ-99/2010 с учетом Изменений № 1.

После изъятия загрязненных ^{137}Cs грунтов до глубины их распространения из каждой выявленной локальной поверхностной аномалии и подсыпки поверхности участка чистым грунтом сотрудниками НИИРГ им. П.В. Рамзаева было проведено заключительное комплексное радиационное обследование территории, по результатам которого земельный участок площадью 0,53 га, расположенный в пределах территории промышленной зоны «Мосрентген», был признан соответствующим требованиям, установленным в НРБ-99/2009⁴, ОСПОРБ-99/2010 с учетом Изменений № 1 и СанПиН 2.6.1.2800-10⁵ для земельных участков под строительство зданий и сооружений производственного назначения.

Следует отметить, что заключительное радиационно-гигиеническое обследование реабилитированного участка

территории включало только проведение поисковой гамма-съемки по всей площади участка, измерения мощности дозы гамма-излучения в контрольных точках (в том числе в точках с максимальными показаниями поисковых приборов), а также определение плотности потока радона с поверхности грунта для оценки радоноопасности участка. Исследований глубинного распределения радиоактивного загрязнения при заключительном радиационно-гигиеническом обследовании не проводилось в связи с отсутствием в Российской Федерации утвержденной методики проведения радиационного обследования участков территории после дезактивации. У специалистов, выполнявших заключительное радиационно-гигиеническое обследование дезактивированного участка и готовивших экспертное заключение о его соответствии требованиям радиационной безопасности, не было полной уверенности в отсутствии на территории участка глубинных радиоактивных загрязнений. В этой связи, по согласованию с Управлением Роспотребнадзора по г. Москве, в Экспертном заключении ФБУН «Научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» № 262-2014 от 29.09.2014 г. рекомендовано проведение радиационного контроля с определением удельной активности ^{137}Cs в грунтах в процессе их выемки при строительстве производственных зданий и сооружений на указанном земельном участке.

Решение о строительстве производственно-складского здания со встроенными административными частями на территории площадью 2,5 га, в состав которой входил участок, где проводились мероприятия по дезактивации, принято в 2016 г. В том же году ООО «Гео Плюс Проект» на объекте были дополнительно проведены инженерно-экологические изыскания.



Рис. 1. Земельный участок до начала проведения вскрышных работ, 2017 г.

[Fig. 1. The site before the excavation, 2017]

⁴ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с. [Norms of radiation safety (NRB 99/2009): Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Moscow: Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor; 2009. 100 p.]

⁵ Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2800-10. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 40 с. [Hygienic requirements for limiting public exposure to the natural sources of ionizing radiation. Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2800-10. Moscow: Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor; 2011. 40 p.]

В 2017 г. для проведения земляных работ при строительстве зданий и сооружений на указанном земельном участке в ООО «Мосрентген» был разработан «Порядок организации и ведения радиационного контроля при проведении земляных работ» [15], прошедший экспертизу в ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева и утвержденный Управлением Роспотребнадзора по г. Москве. Радиационное сопровождение вскрышных работ на участке бывшего радиационно опасного объекта в 2017 г. обеспечивали сотрудники ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева.

В соответствии с проектной документацией [16] производственно-складское здание без подвала планировалось возводить на монолитно-столбчатом фундаменте. Для строительства фундамента на территории участка бывшего радиационно опасного объекта потребовалась прокладка котлованов и траншей: 12 котлованов средней глубиной 1,3 м, площадь дна 9 м² (3×3 м), площадь котлована у поверхности 36 м² (6×6 м); 11 котлованов средней глубиной 1,3 м, площадь дна 16 м² (4×4 м), площадь котлована у поверхности 49 м² (7×7 м); траншеи длиной 112 м средней глубиной 1,3 м (имеет профиль трапеции с шириной внизу траншеи 4 м и шириной наверху траншеи 7 м). Общий планируемый объем изымаемых грунтов составлял около 8650 м³.

Предварительная оценка удельной активности ¹³⁷Cs в грунтах проводилась по величине МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности партии с учетом ее объема. Идентификация радионуклида ¹³⁷Cs, обуславливающего техногенное радиоактивное загрязнение почв и грунтов, а также оперативная оценка удельной активности ¹³⁷Cs в грунтах проводилась в полевых условиях с применением сцинтилляционного портативного спектрометра энергий гамма-излучения «Гамма-1С/НВ-01» с программным обеспечением LSRM SpectraLine и EffMaker.

Грунт, в котором удельная активность ¹³⁷Cs не превышала 0,1 кБк/кг, был использован в качестве строительного материала при обратной засыпке котлованов и траншей или вывезен с территории участка.

Решением руководства ООО «Мосрентген» дальнейшее использование грунта с удельной активностью ¹³⁷Cs от 0,1 до 10,0 кБк/кг для обратной засыпки, как и размещение этого грунта в качестве ОНАО на специально выделенных участках объектов размещения производственных отходов в соответствии с законодательством в сфере обращения с отходами производства и потребления в соответствии с п. 3.11.8 ОСПОРБ-99/2010, было признано нецелесообразным, и дальнейшее обращение с ОНАО осуществлялось в ООО «Мосрентген» как с РАО. Выявленные партии ОНАО помещались в специальные контейнеры для дальнейшей передачи в специализированную организацию для захоронения в качестве РАО.

При послойном снятии грунта в ходе прокладки траншеи вдоль восточной границы участка на глубине около 1,2 м были обнаружены участки грунта, МЭД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности которых значительно превышала значения, характерные для ОНАО. Предположение о наличии на участке РАО подтвердилось: на глубине около 2 м обнаружилось оборудованное железобетонное приповерхностное хранилище утилизирован-

ных источников ионизирующего излучения, оставшееся от предыдущей деятельности предприятия. Хранилище, имеющее размеры в плане около 2,0×2,5 м, располагалось в стороне от разрушенного здания аварийного цеха, демонтированного и вывезенного с территории участка при первоначальной дезактивации. Обращение с выявленными РАО осуществлялось специалистами филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО». Общая масса РАО (утилизированные источники, конструкции хранилища, загрязненные грунты), переданных на захоронение в специализированную организацию, составила более 100 тонн.



Рис. 2. Контейнеры с РАО, подготовленные к вывозу
[Fig. 2. Containers with the radioactive waste, prepared for transportation]

Необходимо отметить, что для организации, являющейся владельцем участка, обнаружение на участке такого количества РАО было полной неожиданностью. Данная ситуация отразилась на сроках проведения строительных работ, а также привела к значительным дополнительным затратам на утилизацию опасных отходов.

После окончания работ по ликвидации РАО продолжались работы по радиационному сопровождению вскрышных работ на участке бывшего радиационно-опасного объекта площадью 0,53 га специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, а после их завершения – по заключительному комплексному радиационному обследованию всей территории строительства (2,5 га).

По результатам заключительного радиационного обследования территории строительства после окончания земляных работ на участке бывшего радиационно опасного объекта было установлено, что показатели радиационной безопасности земельного участка общей площадью 2,5 га, предназначенного под строительство производственно-складского корпуса со встроенными административными частями, соответствуют требованиям, установленным в НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010 с учетом Изменений № 1 и СанПиН 2.6.1.2800-10 для земельных участков под строительство зданий и сооружений производственного назначения. Тем не менее, при проведении в случае необходимости дополнительных земляных работ (бурение скважин, прокладка коммуникаций) на территории бывшего радиационно опасного объекта, на участках, не затронутых вскрышными работами в 2017 г., необходимо проведение радиационного контроля изымаемых грунтов с определением удельной активности ¹³⁷Cs.



Рис. 3. Строительство объекта после изъятия РАО и ОНАО и проведения заключительного комплексного радиационного обследования территории

[Fig 3. Construction of the facility after removing of the radioactive waste and final complex radiation survey of the territory]

Заключение

Анализ результатов проведенной реабилитации и радиационных обследований участка на территории бывшего завода «Мосрентген» позволяет сделать ряд выводов:

1. До начала работ по реабилитации объекта необходимо тщательно изучать историю предприятия, деятельность которого в прошлом была связана с ионизирующим излучением. Для того чтобы оценить вероятность обнаружения РАО на объекте, необходимо ознакомиться с архивной документацией о прошлой деятельности организации, о проводимых ранее на участке земляных и строительных работах, мероприятиях по выводу объекта из эксплуатации и т.д.

2. Опыт радиационного сопровождения вскрышных работ участка при строительстве производственного здания на участке территории бывшего завода «Мосрентген» однозначно свидетельствует о недостаточном объеме предварительного радиационного обследования участка. Выполненный объем работ по обследованию участка для определения объемных радиационных аномалий (инженерно-радиационное обследование в 2012 г. ЗАО «Альянс-Гамма» [8] и инженерно-экологические изыскания в 2016 г. ООО «Гео Плюс Проект» [17]) не дал объективной оценки радиационных характеристик участка. Применявшееся в обоих обследованиях бурение не привело к обнаружению радиационно-опасного объекта на участке, из чего следует вывод о том, что число точек бурения и глубина бурения скважин были недостаточными.

3. Вследствие ошибок при проведении радиационного обследования участка заключение о соответствии участка требованиям нормативных документов (с ограничениями по проведению земляных работ) было выдано на объект, таким требованиям не соответствующий. Необходимо, чтобы объем и виды радиационного контроля при заключительном радиационном обследовании участков территорий гарантировали объективное экспертное заключение о соответствии участка установленным требованиям.

4. На сегодняшний день в Российской Федерации не существует утвержденного методического документа, однозначно определяющего требования к реабилитированным участкам территорий, порядок, виды и объемы исследований при проведении заключительного радиационно-гигиенического обследования объектов

и территорий, реабилитированных после загрязнения радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий. Необходимость разработки и утверждения таких нормативных документов очевидна.

Литература

1. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации / Под общей ред. Л.А. Большова, Н.П. Лаверова, И.И. Линге. – М., 2015. – Т. 3. – 316 с.
2. Освобождение площадок от регулирующего контроля после завершения практической деятельности: Руководство по безопасности. Серия Норм МАГАТЭ по безопасности, № WS-G-5.1. – Вена: МАГАТЭ, 2008. – 42 с.
3. Романович, И.К. Направления использования реабилитированных радиационных объектов / И.К. Романович // Актуальные проблемы медико-санитарного обеспечения деятельности объектов морской техники, предприятий с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также экологического благополучия территорий, обслуживаемых Федеральным медико-биологическим агентством: мат. IV Всероссийской науч.-практ. конф., посвященной 50-летию ФГУП НИИПММ, Санкт-Петербург, 28–29 июня 2017 г. – СПб., 2017. – С. 250–254.
4. Романович, И.К. Научное обоснование подходов к организации и проведению радиационного обследования реабилитированных радиационных объектов / И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 90–102.
5. Романович, И.К. Критерии реабилитации объектов и территорий, загрязненных радионуклидами в результате прошлой деятельности: Часть 1. Выбор показателей для обоснования критериев реабилитации / И.К. Романович, И.П. Стамат, Н.И. Санжарова, А.В. Панов // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 6–15.
6. Голиков, В.Ю. Обоснование радиологических критериев использования территорий с остаточным радиоактивным загрязнением на основе дозового подхода / В.Ю. Голиков, И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 6–22.
7. Волков, В.Г. Подготовка объектов Подольского завода цветных металлов к реабилитации / В.Г. Волков, А.Г. Волкович, А.С. Данилович, А.В. Лемус, С.М. Колтышев, В.И. Павленко, А.В. Чесноков, М.В. Гизай // Атомная энергия. – 2010. – Т. 109, вып. 2. – С. 89–94.
8. ЗАО «Альянс-Гамма». Аннотационный отчет «Проведение комплексного инженерно-радиационного обследования хранилища твердых радиоактивных отходов ЗАО «Мосрентген». – М., 2012.
9. Гращенко, С.М. Естественные радиоактивные нуклиды в пахотных почвах и фосфорсодержащих удобрениях / С.М. Гращенко, В.Ф. Дричко, Э.П. Лисаченко, Т.М. Поникарова, Д.К. Попов, И.Г. Травникова, В.П. Шамова, В.Н. Шутов. – М.: Атомиздат, 1976. – 29 с.
10. Дричко, В.Ф. Изотопы уранового и ториевого рядов в фосфорных удобрениях, пахотных почвах и сельскохозяйственных растениях / В.Ф. Дричко, Э.П. Лисаченко, Т.М. Поникарова, И.Г. Травникова, С.М. Гращенко. – М.: Атомиздат, 1980. – 11 с.
11. Дричко, В.Ф. Фоновые концентрации ^{226}Ra , ^{228}Th и ^{40}K в пахотных почвах и сельскохозяйственных растениях / В.Ф. Дричко, Э.П. Лисаченко // Экология. – 1984. – № 2. – С. 47–52.
12. Рамзаев, В.П. К вопросу о связи между амбиентным эквивалентом дозы и поглощенной дозой в воздухе в условиях загрязнения окружающей среды радиоактивным цезием / В.П. Рамзаев, А.Н. Барковский // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 6–32.
13. Рамзаев, В.П. Сравнение расчетных и измеренных значений мощности кермы в воздухе над почвой,

- загрязненной ^{137}Cs / В.П. Рамзаев, В.Ю. Голиков // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 42–51.
14. Методика выполнения измерения удельной активности ^{137}Cs в производственных отходах с применением спектрометра МКС-АТ6101Д. Свидетельство ГНЦ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева» об аттестации № 85/210- (01.00250-2008)-2010 от 20.12.2010 г. – 14 с.
 15. ООО «Мосрентген». Порядок организации и ведения радиационного контроля при проведении земляных работ при строительстве производственно-складского корпуса со встроенными административными частями (АЧ) общей площадью около 11700 м² на территории участка бывшего радиационно-опасного объекта, расположенного на земельном участке с кадастровым номером 50:21:0120203:27, находящегося по адресу: Москва, поселение Мосрентген, поселок завода «Мосрентген».
 16. ООО «СпецстройПроект». Проект организации строительства. ССП-2016/09/01-01/09/2016-ПОС. – М., 2016. – 36 с.
 17. ООО «Гео Плюс Проект». Программа выполнения инженерно-экологических изысканий на объекте: Новое строительство «Производственно-складское здание с встроенными административными частями общей площадью около 11 700 м²». по адресу: г. Москва, поселение Мосрентген, поселок завода Мосрентген, ООО «Мосрентген». – М., 2016. – 13 с.

Поступила: 13.04.2018 г.

Кормановская Татьяна Анатольевна – кандидат биологических 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: f4dos@mail.ru

Конonenko Дмитрий Викторович – 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

Венков Владимир Алексеевич – кандидат геолого-минералогических наук, 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

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

Бережной Вадим Владимирович – генеральный директор ООО «Мосрентген», Москва, поселение Мосрентген, поселок завода «Мосрентген», Россия

Для цитирования: Кормановская Т.А., Конonenko Д.В., Венков В.А., Иванов С.А., Бережной В.В. Опыт реабилитации объектов, загрязненных радионуклидами, на примере участка территории завода «Мосрентген» // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 107–114. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-107-114

Experience of remediation of sites contaminated with radionuclides on the example of the territory of the Mosrentgen plant

Tatyana A. Kormanovskaya¹, Dmitriy V. Kononenko¹, Vladimir A. Venkov¹, Sergey A. Ivanov¹, Vadim V. Berezhnoy²

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 Limited Liability Company «Mosrentgen», Moscow, Russia

This study is focused on the issues of remediation of sites and territories contaminated with radionuclides as a result of the past activities of the facilities. Actions performed at the territory of the «Mosrentgen» plant, contaminated by ^{137}Cs after the radiation accident in 1962, are evaluated as an example. This paper provides a detailed description of the actions performed in 2012–2017 and the analysis of the mistakes made during the radiation survey, leading to the detection of the large volume of the radioactive wastes during the excavation at the construction of the industrial building at the decontaminated site. The authors propose a method of preliminary assessment of the ^{137}Cs activity concentration in soil based on the gamma-radiation exposure

Tatyana A. Kormanovskaya

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

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: f4dos@mail.ru

rate on the surface of the soil batch. The results of the study indicate a necessity of development and implementation of the legislative base regulating the structure and types of surveys for remediation of facilities and territories.

Key words: accident, remediation, radioactive waste, caesium.

References

1. Issues of the nuclear legacy and their solutions. Vol. 3. Decommissioning. Ed. by Bolshova L. A., Laverov N.P. and Linge I.I. Moscow; 2015. 316 p. (In Russian)
2. Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices: Safety Guide. IAEA Safety Guide series, № WS-G-5.1. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2008. 42 p.
3. Romanovich I. K. Ways of usage of the remediated radiation facilities / I.K. Romanovich // Actual issues of the medical-sanitary provision of the activities of the marine facilities, facilities with hazardous and/or dangerous workplace factors and ecological well-being of the territories supervised by the Federal Medical-Biological Agency. Materials of the IV all-Russian scientific-practical conference on the 50th anniversary of FGUM NIIPMM, Saint-Petersburg, 28-29 June 2017. Saint-Petersburg; 2017. P. 250–254. (In Russian)
4. Romanovich I.K. Scientific substantiation of approaches to organization and conducting radiation surveys at the rehabilitated radiation sites. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017;10(3):90–102. (In Russian)
5. Romanovich I.K., Stamat I.P., Sanzharova N.I., Panov A.V. Criteria for rehabilitation of facilities and territories contaminated with radionuclides as a result of past activities: Part 1. The choice of indicators for justification of the criteria for rehabilitation. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2016;9(4):6–15. (In Russian)
6. Golikov V.Y., Romanovich I.K. Justification of the radiological criteria for the use of areas with residual radioactive contamination based on the dose approach. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017;10(4):6–22. (In Russian)
7. Volkov V.G., Volkovich A.G., Danilovich A.S., Lemus A.V., Koltishev S.M., Pavlenko B.I., Chesnokov A.V., Gizay M.V. Preparation for the decommissioning of the facilities of the Podolsk non-ferrous metals plant. Atomnaya Energiya = Atomic Energy. 2010;109(2):89–94. (In Russian)
8. JSC "Alliance-Gamma". Annotation report "Conduction of the complex engineer-radiation survey of the solid radioactive waste repository of the JSC "Mosrentgen". Moscow; 2012. (In Russian)
9. Graschenko S.M., Drichko V.F., Lisachenko E.P., Ponikarova T.M., Popov D.K., Travnikova I.G., Shamov V.P., Shutov V.N. Natural radioactive nuclides in agricultural soils and phosphor-containing fertilizers. Moscow: Atomizdat; 1976. 29 p. (In Russian)
10. Drichko V.F., Lisachenko E.P., Ponikarova T.M., Travnikova I.G., Graschenko S.M. Isotopes of uranium and thorium series in phosphor fertilizers, agricultural soils and plants. Moscow: Atomizdat; 1980. 11 p. (In Russian)
11. Drichko V.F., Lisachenko E.P. Background concentrations of ²²⁶Ra, ²²⁸Th and ⁴⁰K in agricultural soils and plants. Ecology. 1984;2:47–52. (In Russian)
12. Ramzaev V.P., Barkovsky A.N. On the relationship between ambient dose equivalent and absorbed dose in air in the case of large-scale contamination of the environment by radioactive caesium. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2015;8(3):6–32. (In Russian)
13. Ramzaev V.P., Golikov V.Y. A comparison of measured and calculated values of air kerma rates from ¹³⁷Cs in soil. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2015;8(4):42–51. (In Russian)
14. Procedure of measurement of ¹³⁷Cs activity concentration in the production waste using MKS-AT6101D spectrometer. Certificate of Attestation by GNC FGUP "VNIIM after D.I. Mendeleev" № 85/210-(01.00250-2008)-2010 from 20.12.2010. 14 p. (In Russian)
15. LLC "Mosrentgen". Procedure for the organization and execution of the radiation control of the excavation work for the construction of the industrial warehouse building with incorporated administrative parts with total square of about 11700 m² on the site of the former radioactive hazardous facility located on the ground site with cadastral number 50:21:0120203:27 located in: Moscow, Mosrentgen settlement, village of the "Mosrentgen" factory. (In Russian)
16. LLC "SpecstroyProject". Project of organization of construction. SSP-2016/09/01-01/09/2016-POS. Moscow; 2016. 36 p. (In Russian)
17. LLC "Geo Plus Project". Program of the execution of the engineer-ecological surveys on the facility: New construction "Industrial warehouse building with incorporated administrative parts with total square of about 11700 m²" located in: Moscow, Mosrentgen settlement, village of the "Mosrentgen" factory. Moscow; 2016. 13 p. (In Russian)

For correspondence: Tatiana A. Kormanovskaya – PhD in Biology, 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: f4dos@mail.ru)

Dmitriy V. Kononenko – 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

Vladimir A. Venkov – PhD in Geology and Mineralogy, senior 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

Sergey A. Ivanov – junior 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

Vadim V. Berezhnoy – CEO, LLC "Mosrentgen", Moscow, Russia

For citation: Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V., Venkov V.A., Ivanov S.A., Berezhnoy V.V. Experience of remediation of sites contaminated with radionuclides on the example of the territory of the Mosrentgen plant. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol.11, No 3, pp. 107-114 (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-107-114

Совершенствование норм радиационной безопасности. Часть 1: Целесообразность ограничения доз медицинского облучения практически здоровых лиц

А.В. Водоватов

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

В международной практике принцип ограничения (установки пределов) дозы для защиты от медицинского облучения не применяется; используются принципы обоснования и оптимизации. Тем не менее, в Нормам радиационной безопасности НРБ 99/2009 предусмотрено ограничение доз от отдельных видов медицинского облучения для категории практически здоровых лиц. Целью данной работы являлась оценка целесообразности ограничения доз для защиты практически здоровых лиц, проходящих рентгенорадиологические исследования в связи с профессиональной деятельностью, в рамках медико-юридических процедур и профилактических медицинских исследований, в контексте переработки НРБ 99/2009. В работе выполнен анализ действующих нормативных документов, регламентирующих проведение медицинских осмотров, экспертиз и диспансеризации; представлена характеристика видов лучевой диагностики, использующихся в данных целях; выполнена консервативная оценка эффективных доз за медицинский осмотр или диспансеризацию для различных категорий лиц. Результаты работы свидетельствуют о систематическом превышении уровня в 1 мЗв в год при проведении медицинских осмотров и диспансеризации отдельных категорий лиц. Внедрение современных методов скрининга (низкодозовая компьютерная томография, томосинтез молочной железы и пр.) приведет к значительному увеличению, до 3–8 мЗв, эффективной дозы при проведении диспансеризации. В связи с этим предложено перейти от ограничения доз к оптимизации посредством установления референтных диагностических уровней для профилактических исследований для обеспечения радиационной защиты практически здоровых лиц в медицине.

Ключевые слова: практически здоровые лица, медицинский осмотр, диспансеризация, скрининг, медицинская экспертиза, ограничение доз, оптимизация, референтные диагностические уровни.

Введение

Медицинское облучение – облучение ионизирующим излучением, которому подвергаются: а) пациенты при прохождении ими диагностических или терапевтических медицинских процедур; б) лица (за исключением медицинского персонала), которые сознательно и добровольно помогают в уходе за пациентами в больнице

или дома; в) лица, проходящие медицинские обследования в связи с профессиональной деятельностью или в рамках медико-юридических процедур; г) лица, участвующие в медицинских профилактических обследованиях и медико-биологических исследованиях (СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ 99/2009¹). Особенностью защиты от медицинского облучения

¹ Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Зарегистрировано в Минюсте РФ 14.08.2009 N 14534. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90936/ Дата последнего обращения 01.08.2018 г. [Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Norms of the radiation safety (NRB 99/2009). Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 14.08.2009 N 14534. Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90936/ Last accessed 01.08.2018.]

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

является неприменимость принципа ограничения (установки пределов) дозы, так как это может негативно сказаться на возможности медицинского персонала получить необходимую диагностическую информацию. Основными средствами радиационной защиты пациентов являются принципы обоснования и оптимизации [1, 2, 3].

Тем не менее, в основополагающих нормативных документах Российской Федерации, регламентирующих обеспечение радиационной безопасности, Нормы радиационной безопасности НРБ 99/2009 (п. 5.4.4) и СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)»² (п. 4.2) предусматривается не превышение годовой эффективной дозы в 1 мЗв от медицинских исследований для отдельных категорий лиц. К данной категории относятся лица, проходящие рентгенодиагностические исследования (РРИ) в связи с профессиональной деятельностью, в рамках медико-юридических процедур, профилактических медицинских и научных исследований. Данные ограничения не соблюдаются в практической деятельности лучевой диагностики. Более того, ожидаемое внедрение новых технологий лучевой диагностики для скрининга значимых заболеваний (низкодозовая компьютерная томография органов грудной клетки (НДКТ) для скрининга рака легких [4, 5, 6, 7, 8], томосинтез (3D-маммография) молочной железы для скрининга рака молочной железы [9], КТ-ангиография коронарных артерий для скрининга заболеваний сердца [10, 11] и пр.) в Российской Федерации приведет к превышению доз от профилактических исследований 1 мЗв.

Основополагающие зарубежные нормативные документы подобных ограничений не содержат. Так, в Публикации МКРЗ 103 [1] и Публикации МКРЗ 105 [3] прописано, что медицинское облучение носит намеренный и добровольный характер при условии того, что оно принесет прямую пользу здоровью пациента. Защита вышеуказанных категорий осуществляется за счет обоснования и оптимизации РРИ, в том числе и не приносящих прямой пользы пациентам. Отдельно выделяется только категория лиц, участвующих в биомедицинских исследованиях, для защиты которых необходимо использовать граничные дозы³. В Нормы безопасности МАГАТЭ GSR part 3 [2] предложен несколько иной подход. Так, РРИ, которые проводятся для профессиональных, юридических целей или целей медицинского страхования (в том числе оценки

пригодности для работы или для получения юридических доказательств) без учета клинических показаний, обычно считаются не имеющими обоснования. В том случае, если органы управления здравоохранением считают проведение таковых РРИ обоснованными, для обеспечения (оптимизации) радиационной защиты необходимо использовать граничные дозы. Граничные дозы также должны применяться для защиты лиц, участвующих в биомедицинских исследованиях. Таким образом, зарубежные подходы к защите практически здоровых лиц существенно отличаются от отечественных.

При подготовке новой редакции НРБ, запланированной на 2018–2019 гг., целесообразно рассмотреть новые подходы к разделу «Ограничение медицинского облучения» с целью гармонизации его с отечественными и зарубежными нормативными документами.

Цель исследования – разработка предложений по изменению раздела 5.4.4. НРБ 99/2009. Для этого был проведен анализ структуры РРИ и выполнена оценка эффективных доз для лиц, попадающих под действие раздела 5.4.4.

Структура РРИ, применяемых для категорий лиц, попадающих под действие п. 5.4.4. НРБ 99/2009

Формулировка «...обследования в связи с профессиональной деятельностью ... практически здоровых лиц» и «...рентгенодиагностические профилактические медицинские исследования практически здоровых лиц» соответствуют терминам «медицинский осмотр» и «диспансеризация» (статья 46 323-ФЗ⁴). Медицинский осмотр представляет собой комплекс медицинских вмешательств, направленных на выявление патологических состояний, заболеваний и факторов риска их развития. Видами медицинских осмотров являются предварительный медицинский осмотр, периодический медицинский осмотр, пред- и послесменные медицинские осмотры и др. Прохождение и проведение медицинских осмотров являются добровольными, за исключением случаев, установленных законодательством Российской Федерации.

Диспансеризация представляет собой комплекс мероприятий, включающий в себя профилактический медицинский осмотр и дополнительные методы обследований, проводимых в целях оценки состояния здоровья (включая определение группы здоровья и группы диспансерного наблюдения) и осуществляемых в отношении определенных групп населения в соответствии с законодательством

² Санитарные правила и нормы СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)». Доступно по адресу: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103742/ Дата последнего обращения 01.08.2018 г. [Sanitary rules and norms SP2.6.1.2612-10 "Basic sanitary rules of the provision of the radiation safety (OSPORB 99/2010)". Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103742/ Last accessed 01.08.2018]

³ Граничная доза – введенное (установленное) значение индивидуальной дозы от данного источника, которое используется в ситуациях планируемого облучения в качестве одного из параметров для оптимизации защиты и безопасности применительно к данному источнику и служит в качестве граничного значения для определения диапазона вариантов в процессе оптимизации.

⁴ Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011 № 323-ФЗ. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/ Дата последнего обращения 01.08.2018 г. [Federal Law "On the basics of the healthcare of citizens in the Russian Federation" from 21.11.2011 № 323-FZ. Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/ Last accessed 01.08.2018.]

Российской Федерации. Проведение диспансеризации является добровольным; гражданин вправе отказаться либо от проведения диспансеризации в целом, либо от отдельных видов медицинских вмешательств, входящих в объем диспансеризации.

Диспансеризация проводится в два этапа. Первый этап диспансеризации, скрининг, представляет собой метод активного выявления лиц с какой-либо патологией или факторами риска ее развития, основанный на применении специальных диагностических исследований в процессе массового обследования населения или его отдельных контингентов. Скрининг осуществляют с целью ранней диагностики заболевания или предрасположенности к нему, что необходимо для оказания своевременной лечебно-профилактической помощи. Результаты скрининга используют также для изучения распространенности исследуемого заболевания (или группы заболеваний), факторов риска его развития и их относительного значения [12, 13, 14]. Второй этап диспансеризации проводится с целью дополнительного обследования и уточнения диагноза заболевания в том случае, если первый этап показал наличие какой-либо патологии. Следует отметить, что в зарубежной практике все профилактические РПИ проводятся только в рамках скрининга применительно к группам риска.

Проведение медицинских осмотров регламентируется приказом Минздравсоцразвития России от 12.04.2011 г. № 302н⁵. Данный документ содержит перечни вредных и опасных производственных факторов и работ, при которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры работников, а также порядок их проведения.

Проведение диспансеризации взрослого (старше 18 лет) населения регламентируется приказом Министерства здравоохранения РФ от 26 октября 2017 г. № 869н⁶. Действие данного документа распространяется на работающих, неработающих и обучающихся в образовательных организациях по очной форме граждан. Целями диспансеризации являются раннее выявление

хронических заболеваний и факторов риска их развития, а также определение необходимых профилактических, лечебных и реабилитационных мероприятий для всех категорий граждан.

Формулировке «...обследований в рамках медико-юридических процедур» соответствует термин «медицинская экспертиза» (статья 58 323-ФЗ). Медицинская экспертиза – проводимое в установленном порядке исследование, направленное на установление состояния здоровья гражданина, в целях определения его способности осуществлять трудовую или иную деятельность, а также установления причинно-следственной связи между воздействием каких-либо событий, факторов и состоянием здоровья гражданина. Наиболее актуальной в контексте переработки раздела 5.4.4. НРБ 99/2009 является военно-врачебная экспертиза (особенно в части проведения освидетельствования граждан, призываемых на военную службу), так как она производится преимущественно по отношению к практически здоровым лицам.

Военно-врачебная экспертиза регламентируется Постановлением Правительства РФ от 04.07.2013 № 565⁷. В данном документе прописан порядок проведения медицинского освидетельствования граждан, в том числе и подлежащих постановке на воинский учет или призыву на военную службу.

Анализ данных законодательных актов показывает, что основным видом лучевой диагностики при проведении медицинских осмотров и диспансеризации является флюорография (рентгенография органов грудной клетки) в двух проекциях. У женщин старше 40 лет к ней добавляется маммография обеих молочных желез в двух проекциях. Отдельным категориям лиц также выполняются рентгенография конечностей (кисти, длинные трубчатые кости), рентгенография черепа (околоносовых пазух) и рентгенография суставов и позвоночника. Структура таких исследований (количество проекций, выбор анатомической области исследования) не регламентируется.

⁵ Приказ Минздравсоцразвития России от 12.04.2011 N 302н (ред. от 06.02.2018) «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда» (Зарегистрировано в Минюсте России 21.10.2011 N 22111). http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120902/ Дата последнего обращения 01.08.2018 г. [The Order of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation from 12.04.2011 N 302n (edition from 06.02.2018) "On the approval of the list of harmful and(or) dangerous workplace factors and activities with mandatory initial and periodical medical examinations and the Practice of conduction of mandatory initial and periodical medical examinations of the employees, working in arduous of harmful and(or) dangerous working conditions". Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 21.10.2011 N 22111. Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120902/ Last accessed 01.08.2018.]

⁶ Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 26.10.2017 г. № 869н «Об утверждении порядка проведения диспансеризации определенных групп взрослого населения». (Зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2017 N 49214). http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_284986/ Дата последнего обращения 01.08.2018 г. [The Order of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation from 26.10.2017 N 869n "On the approval of the Practice of conduction of the periodic health assessment of the dedicated groups of the adult population". Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 12.12.2017 N 49214. Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_284986/ Last accessed 01.08.2018.]

⁷ Постановление Правительства РФ от 04.07.2013 № 565 (ред. от 21.04.2018) «Об утверждении Положения о военно-врачебной экспертизе». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_149096/ Дата последнего обращения 01.08.2018 г. [The Decree of the Government of the Russian Federation from 04.07.2013 N 565 (edition from 21.04.2018) "On the approval of the Statement on the military medical examination". Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_149096/ Last accessed: 01.08.2018.]

Следует отметить, что в рамках диспансеризации флюорография и маммография проводятся 1 раз в 3 года. При этом флюорография легких не проводится, если гражданин в течение предшествующего календарного года либо года проведения диспансеризации проводилась флюорография, рентгенография (рентгеноскопия) или компьютерная томография органов грудной клетки. Маммография не проводится, если в течение предшествующих 12 месяцев проводилась маммография или компьютерная томография молочных желез. Таким образом, лица, работающие с опасными и/или вредными производственными факторами или на социально значимых объектах, не получают дополнительного облучения при прохождении диспансеризации, в связи с тем, что у них есть актуальные на момент прохождения диспансеризации результаты флюорографии или маммографии, полученные в результате прохождения периодического медицинского осмотра.

В рамках военно-врачебной экспертизы в обязательном порядке выполняется только флюорография (рентгенография) органов грудной клетки. Однако в случае невозможности вынесения медицинского заключения о годности гражданина к военной службе по состоянию здоровья в ходе освидетельствования гражданин направляется в медицинскую организацию на обследование в амбулаторных или стационарных условиях для уточнения диагноза заболевания, в том числе и с проведением диагностических РРИ.

В перечне профилактических исследований отсутствуют современные перспективные методы выявления отдельных заболеваний и патологий: низкодозовая компьютерная томография органов грудной клетки для выявления рака легких; компьютерная томография аорты для выявления атеросклеротических изменений.

Виды профилактических РРИ, использующихся в рамках медицинских осмотров и диспансеризации в Российской Федерации и зарубежных странах

В Российской Федерации традиционно применяют флюорографию для выявления туберкулеза легких и маммографию для выявления рака молочной железы и предраковых заболеваний.

Метод флюорографии представляет собой получение рентгеновского снимка органов грудной клетки на фотографическую пленку (для снижения стоимости исследования). Недостатком такого метода является низкое качество рентгеновского изображения и высокая доза облучения пациента. На 2016 г. число флюорографических аппаратов, работающих с фотопленкой в Российской Федерации, пренебрежимо мало. Для выявления туберкулеза преимущественно используют цифровые флюорографы, представляющие собой полноценный цифровой рентгеновский аппарат, выполненный по упрощенной схеме (наличие только штатива, перемещение рентгеновской трубки только по вертикали и пр.). Подвидом цифровых флюорографов являются сканирующие флюорографы (slot-scanning machine), в которых рентгеновское изображение формируется при движении рентгеновской трубки по вертикали. Также широко распространена практика выполнения аналоговой или цифровой рентгенографии органов грудной клетки на диагностических рентгеновских аппаратах. Термин «флюорография» явля-

ется устаревшим; целесообразно использовать термин «рентгенография органов грудной клетки».

Маммография представляет собой процесс получения рентгеновских снимков молочной железы на специальных рентгеновских аппаратах (цифровых и аналоговых) для выявления рака и предраковых заболеваний молочной железы на ранних стадиях.

Флюорография и маммография отличаются низкой стоимостью, высокой чувствительностью и низкой специфичностью (высокое количество ложноположительных диагнозов) [14, 15]. Качество рентгеновских изображений при флюорографии не позволяет достоверно выявлять мелкие очаговые образования в легких, характерные для рака легких на ранних стадиях [14, 15]. Маммография требует высокой квалификации врача-рентгенолога, интерпретирующего маммограммы [9]. Для частичного устранения этих проблем и в связи с расширением скрининговых программ для других заболеваний и патологий (рак легких и пр.) в зарубежных странах разрабатываются и внедряются новые виды скрининга.

Низкодозовая компьютерная томография (НДКТ) для скрининга рака легких представляет собой спиральную мультисрезовую компьютерную томографию, выполняемую на низкодозовых протоколах. Данные протоколы выполняются на значительно более низких значениях силы тока по сравнению с диагностическими, что позволяет снизить дозы облучения пациентов до 1,0–1,5 мЗв за исследование. Результаты клинических испытаний в зарубежных странах [5–8] подтвердили достоверное увеличение выявляемости рака легких в группах риска. На настоящее время метод НДКТ проходит клиническую апробацию в медицинских организациях г. Москвы.

Томосинтез молочной железы (3D-маммография) – трехмерное (объемное) изображение молочной железы. Томосинтез дополняет стандартную маммографию так же, как и компьютерная томография обычную рентгенографию. При проведении томосинтеза выполняется серия рентгеновских снимков молочных желез под разными углами. Рентгеновская трубка аппарата вращается вокруг молочной железы по дуге, выполняя при этом серию рентгеновских снимков. По сравнению с обычной (2D) маммографией томосинтез дает точные пространственные координаты патологических изменений в плотных тканях молочных желез. На настоящее время томосинтез (и как отдельный вид лучевой диагностики, и в сочетании с традиционной томографией) внедрен в большинстве европейских стран [9]. В Российской Федерации этот метод внедряется медленно, главным образом из-за высокой стоимости оборудования.

КТ-ангиография коронарных артерий (КТ-коронарография) применяется преимущественно для выявления коронарного атеросклероза, основанного на обнаружении кальцинатов в атеросклеротических бляшках и количественной или полуколичественной оценке степени коронарного кальциноза. Данный вид скрининга распространен в США, европейских странах; обсуждается вопрос о внедрении его в Российской Федерации [10, 11].

Оценка эффективных доз для категорий лиц, попадающих под действие п. 5.4.4 НРБ 99/2009

Для оценки эффективных доз лиц, проходящих различные виды медицинских осмотров и диспансеризации в Российской Федерации, был выполнен анализ имею-

щихся литературных данных и данных собственных исследований по оценке средних эффективных доз за исследование. Результаты анализа представлены в таблице.

Сведения об эффективных дозах от исследований, входящих в медицинские (военно-врачебные) экспертизы, в таблице 1 не представлены. Это связано с тем, что уточнение диагноза лица, подлежащего призыву на военную службу, связано с прохождением комплекса диагностических исследований, которые будут определяться предполагаемым диагнозом. При этом РРИ будут выполняться с использованием типовых методик на типовых диагностических протоколах. Дозы пациентов при этом будут зачастую превышать 1 мЗв. Так, данные исследования [26] показывают, что эффективные дозы от рентгеноскопии желудка с бариевым контрастом у призывников, проходящих дообследование на базе терапевтического

отделения Санкт-Петербургской Мариинской больницы, составили в среднем 1,9 мЗв. Высокие эффективные дозы (превышающие 1 мЗв), будут соответствовать и другим исследованиям (рентгенография позвоночника для определения степени сколиоза и пр.).

**Оценка суммарных эффективных доз
за медицинские осмотры, диспансеризации
и медицинские экспертизы для категории лиц
п. 5.4.4 НРБ 99/2009**

Для удобства представления данных все виды работ с опасными и(или) вредными производственными факторами, тяжелые работы и работы с вредными и (или) опасными условиями труда были разделены на четыре группы, исходя из количества РРИ, выполняемых в рамках предварительных и периодических медицинских осмотров:

Таблица
Эффективные дозы для наиболее распространенных РРИ, использующихся в Российской Федерации и зарубежных странах в рамках медицинских осмотров, диспансеризации и скрининга

[Table
Effective doses from the most common X-ray examinations used in medical examinations, periodic health assessments and screening programs in the Russian Federation and foreign countries]

Вид исследования [Examination]	Источник данных [Source]	Эффективные дозы за исследование, мЗв [Effective dose per examination, mSv]
Широко применяющиеся в Российской Федерации [Commonly used in the Russian Federation]		
Флюорография (рентгенография) органов грудной клетки [Radiography of the chest]	[4], [16], [17], [18]	0,13-0,33*
Рентгенография черепа (околоносовых пазух) [Radiography of the skull (paranasal sinuses)]	[16], [17], [18]	0,1*
2D-маммография [2D mammography]	[16], [18], [19], [20]	0,23-0,56**
Рентгенография конечностей (кисти, длинные трубчатые кости) [Radiography of the extremities (hands, long bones)]	[16]	0,01***
Рентгенография позвоночника [Radiography of the spine]	[17],[18]	0,14 – 1,4* 2,2****
Предполагаемые к внедрению в Российской Федерации, находящиеся на стадии клинической апробации [Proposed to use in the Russian Federation, under clinical testing]		
Низкодозовая компьютерная томография органов грудной клетки (НДКТ) [Low-dose computer tomography of the chest (LDCT)]	[4], [21], [22]	1,0-1,5
Томосинтез молочной железы (3D маммография) [Breast tomosynthesis (3D mammography)]	[23], [24]	0,5-1,5
КТ-ангиография коронарных артерий (КТ-коронарография) [CT-angiography of the coronary vessels (CT-coronarography)]	[25]	0,8 – 10,5

* – один снимок в прямой проекции + один снимок в боковой проекции
[one image in frontal projection + one image in lateral projection];

** – за исследование обеих молочных желез в двух проекциях (4 снимка)
[per examination of both breasts in two projections (four images)];

*** – один снимок в прямой проекции
[one image in frontal projection];

**** – за исследование шейного, грудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника
[for the combined examination of the cervical, thoracic and lumbar spine].

Группа 1: работа с канцерогенами, ионизирующим излучением, прочими вредными и (или) опасными производственными факторами, работы на социально значимых объектах. Обязательно проведение флюорографии (рентгенографии) органов грудной клетки и маммографии.

Группа 2: работа с алюминием и его сплавами, поливинилхлоридами, фтором и его соединениями, кадмием и его соединениями, хлорэтенами, а также работы в условиях локальной вибрации. Список исследований группы 1 дополнен рентгенографией конечностей (кистей и длинных трубчатых костей).

Группа 3: работа с физическими перегрузками (класс 3.1 и выше). Список исследований группы 1 дополнен рентгенографией суставов и позвоночника.

Группа 4: работы в условиях повышенной и пониженной гравитации. Список исследований группы 1 дополнен рентгенографией суставов, позвоночника и околоносовых пазух.

Для консервативной оценки эффективных доз было принято, что флюорография (рентгенография) ОГК и рентгенография околоносовых пазух выполняются в прямой и боковой проекциях (всего 2 снимка); рентгенография конечностей – только в прямой проекции (1 снимок); рентгенография позвоночника включает в себя исследования шейного, грудного и пояснично-крестцового отделов в прямой и боковой проекциях (по 2 снимка на отдел); маммография включает в себя снимки обеих молочных желез в двух проекциях (4 снимка). При этом были использованы максимальные значения средних эффективных доз за исследование из таблицы, объединенные для цифровых и аналоговых аппаратов.

Результаты определения суммарных эффективных доз для мужчин и женщин, проходящих медицинские осмотры и диспансеризацию, представлены на рисунках 1–3 соответственно.

Анализ суммарных эффективных доз различных групп лиц позволяет сделать следующие выводы:

– Уровни облучения для мужчин всех возрастов и женщин моложе 40 лет, проходящих диспансеризацию, а также входящих в группы 1 и 2 при прохождении медицинских осмотров, не превышают 0,5 мЗв;

– Уровни облучения женщин старше 40 лет, проходящих диспансеризацию, а также входящих в группы 1 и 2 при прохождении медицинских осмотров, находятся в диапазоне 0,5 мЗв (исследования на цифровых рентгеновских аппаратах) – 1,0 мЗв (исследования на аналоговых рентгеновских аппаратах);

– Уровни облучения для мужчин всех возрастов и женщин моложе 40 лет, входящих в группы 3 и 4 при прохождении медицинских осмотров, находятся в диапазоне 2,0–2,5 мЗв; для женщин старше 40 лет – в диапазоне 2,5–3,0 мЗв.

– Замена традиционных профилактических исследований на перспективные в рамках диспансеризации приведет к резкому увеличению доз пациентов до 1,5–3,0 мЗв (при замене рентгенографии органов грудной клетки на НДКТ и традиционной маммографии на томосинтез молочной железы). С внедрением КТ-коронарографии эффективные дозы пациентов увеличатся до 6–8 мЗв.

Следует отметить, что в таблице представлены значения средних эффективных доз пациентов, без учета их индивидуальных антропометрических характеристик и осо-

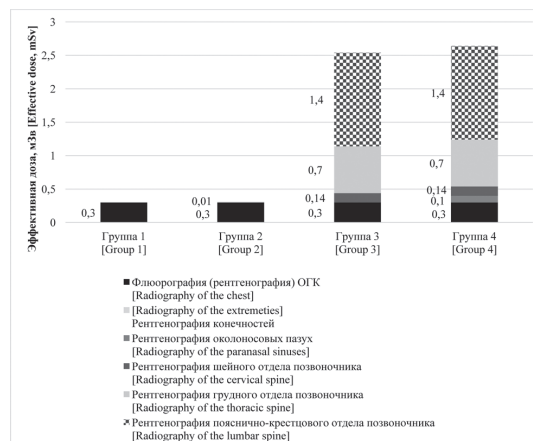


Рис. 1. Структура эффективной дозы, мЗв, за медицинский осмотр для различных групп лиц мужского пола
[Fig. 1. The structure of the effective dose, mSv, per medical examination for the different groups of male healthy individuals]

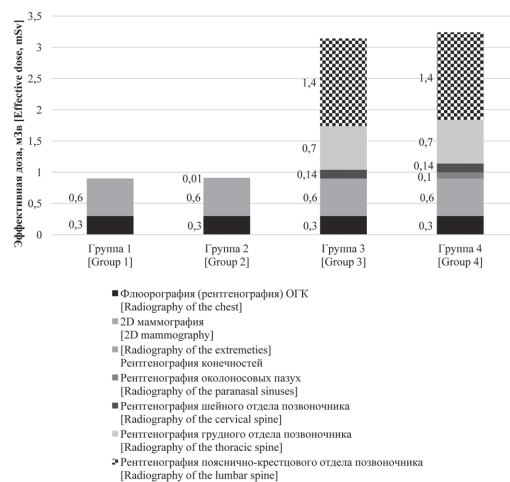


Рис. 2. Структура эффективной дозы, мЗв, за медицинский осмотр для различных групп лиц женского пола
[Fig. 2. The structure of the effective dose, mSv, per medical examination for the different groups of female healthy individuals]

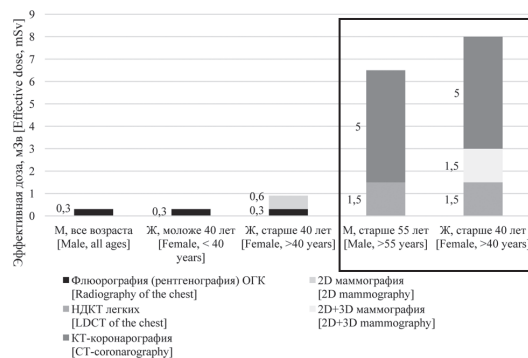


Рис. 3. Структура эффективной дозы, мЗв, за диспансеризацию (скрининг) для мужчин и женщин: М – мужчины; Ж – женщины. Черным выделены предполагаемые эффективные дозы при внедрении перспективных видов скрининговых исследований
[Fig. 3. The structure of the effective dose, mSv, per periodic health assessment (screening) for the males and females. Predicted effective doses after the implementation of modern types of X-ray screening examinations are outlined with black]

бенностей выполнения РРИ. Данные исследований [27, 28] указывают на прямую корреляцию индивидуальных доз пациентов с их антропометрическими характеристиками (полом, возрастом, массой тела и индексом массы тела).

Таким образом, суммарные эффективные дозы за медицинские осмотры и диспансеризацию у отдельных лиц могут превышать 1 мЗв по объективным обстоятельствам. Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что превышение годовой дозы в 1 мЗв может наблюдаться у всех категорий лиц, проходящих медицинские осмотры или диспансеризацию. Вероятность такого превышения выше у женщин старше 40 лет, получающих до 0,5 мЗв от маммографии.

Оценка суммарных доз от проведения медицинских экспертиз в данной работе не производилась в связи с тем, что при уточнении диагноза (дообследовании) производится полноценные РРИ, в том числе и высокодозовые (рентгеноскопии, КТ и пр.). При этом, как правило, у обследуемого лица уже есть комплекс жалоб и/или предварительный диагноз, что не соответствует определению «практически здорового лица».

Таким образом, для обеспечения радиационной защиты практически здоровых лиц в медицине применение принципа ограничения дозы нецелесообразно; следует применять принципы обоснования и оптимизации. При этом обоснование проведения конкретного РРИ и его структуры (числа проекций, конкретной анатомической области и пр.) в рамках медицинского осмотра или диспансеризации является прерогативой Министерства здравоохранения Российской Федерации. На уровне медицинской организации наиболее перспективным способом снижения уровней облучения практически здоровых лиц будет являться оптимизация проведения РРИ.

При этом использование для оптимизации радиационной защиты практически здоровых лиц граничных доз [1, 2] затруднительно по ряду причин. В качестве предпосылок для использования граничных доз необходимо ввести в существующее российское законодательство в области радиационной защиты понятие подхода, ориентированного на источник [1, 2]. Граничная доза устанавливается для каждого источника ионизирующего излучения таким образом, что совокупность доз, получаемых при запланированной эксплуатации всех контролируемых источников, остается ниже предела доз (для населения – 1 мЗв в год). Это еще больше ужесточит существующие требования НРБ 99/2009. Дополнительным фактором, затрудняющим установление единых граничных доз на федеральном уровне, является наличие региональных различий в методиках проведения исследований и материально-техническом оснащении отделений лучевой диагностики.

Напротив, применение принципа оптимизации посредством референтных диагностических уровней (РДУ) [29] лишено всех этих недостатков. При этом для РРИ, выполняемых в рамках медицинских осмотров и диспансеризации, целесообразно устанавливать отдельные РДУ на федеральном уровне, чтобы учесть специфику их выполнения. Оптимизацию проведения данных РРИ целесообразно проводить путем перехода на использование цифрового оборудования, обеспечения качества проведения исследований, разработки и внедрения низкодозовых протоколов проведения исследований [8, 30].

Заключение

Выполненная консервативная оценка суммарной эффективной дозы для категории лиц, попадающих под действие п. 5.4.4. НРБ 99/2009, показала, что указанный в п. 5.4.4 НРБ 99/200 уровень в 1 мЗв в год может быть превышен для отдельных категорий лиц, работающих с физическими перегрузками, в условиях пониженной и повышенной гравитации. Эффективные дозы у отдельных лиц могут превышать 1 мЗв за счет увеличения вклада флюорографии (рентгенографии) ОГК, что будет ассоциировано с их индивидуальными антропометрическими характеристиками и/или различной структурой проведения исследования. Данные превышения также обусловлены особенностями клинической и диагностической практик, а также материально-техническим обеспечением отечественной лучевой диагностики.

Использование в рамках диспансеризации (скрининга) новых перспективных методов лучевой диагностики (НДКТ грудной клетки, томосинтез молочной железы, КТ-коронарография) приведет к существенному увеличению суммарной эффективной дозы (до 8 мЗв). Следует отметить, что данные методы рекомендованы к применению для лиц старше 40–55 лет. Их применение является добровольным.

Таким образом, ограничивать дозы практически здоровых лиц от РРИ в рамках медицинских осмотров, диспансеризации и медицинских экспертиз нецелесообразно. Данное ограничение не соблюдается в практике лучевой диагностики на сегодняшний день и будет существенно ограничивать внедрение новых диагностических технологий в практику отечественного здравоохранения. Для защиты категории практически здоровых лиц целесообразно использовать принцип оптимизации посредством установления РДУ для рентгенорадиологических исследований, применяющихся в рамках медицинских осмотров и диспансеризации.

Литература

1. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации Международной Комиссии по Радиационной защите от 2007 г. : пер. с англ. / под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. – М. : Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
2. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности GSR Part 3. МАГАТЭ, Вена, 2015. – 518 с.
3. Публикация МКРЗ 105. Радиационная защита в медицине / ред. рус. перевода М.И. Балонов. – СПб.: ФГУН НИИРГ, 2011. – 66 с.
4. Karostik D.V., Kamyshanskaya I.G., Cheremysin V.M., Drozdov A.A., Vodovatov A.V. Evaluation of low-dose CT implementation for lung cancer screening in a general practice hospital. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. Vol. 967, 2018. DOI :10.1088/1742-6596/967/1/012006
5. Aviram G. Chest radiography for tuberculosis screening: a valuable tool. Isr. Med. Assoc. J., 2015, Vol. 17(1), pp. 50-51.
6. Final recommendation statement: lung cancer: screening. U.S. Preventive Services Task Force. December 2016. Available on: www.uspreventiveservicestaskforce.org/Page/Document/RecommendationStatementFinal/lung-cancer-screening. (Accessed: 11.08.2018)
7. Iaccarino J.M., Clark J., Bolton R., Kinsinger L., Kelley M., Slatore C.G., Au D.H., Wiener R.S. A National Survey of Pulmonologists' Views on Low-Dose Computed Tomography Screening for Lung Cancer. Ann. Am. Thorac. Soc., 2015, Vol. 12(11), pp. 1667-75.

8. Marshall H.M., Bowman R.V., Yang I.A., Fong K.M., Berg C.D. Screening for lung cancer with low-dose computed tomography: a review of current status. *Journal of Thoracic Disease*, 2013, Vol. 5, pp. 524–539.
9. Helvie M.A. Digital Mammography Imaging: Breast Tomosynthesis and Advanced Applications. *Radiol Clin North Am*. 2010, vol. 48(5): pp. 917–929.
10. Марьяшева, Ю.А. Роль КТ-ангиографии в обследовании пациентов с предполагаемой ишемической болезнью сердца / Ю.А. Марьяшева, В.Е. Сеницын, С.К. Терновой // *Диагностическая и интервенционная радиология*. – 2010. – Т. 4, № 1. – С. 67–73.
11. Vanhoenacker P.K., Heijenbroek-Kal M.H., Van Heste R., Decramer I., Van Hoe L. R., Wijns W., Hunink M. G. Diagnostic performance of multidetector CT angiography for assessment of coronary artery disease: meta-analysis. *Radiology*. 2007;244: pp. 419–428.
12. Стрельников, А.А. Скрининг и профилактика актуальных заболеваний: руководство для врачей / А. А. Стрельников, А.Г. Обрезан, Е.В. Шайдаков. – СПб.: СпецЛит, 2012. – 535 с.
13. Основы политики. Скрининг в Европе. Европейская обсерватория по системам и политике здравоохранения, 2008. – 76 с.
14. Левченко, Е.В. Скрининг рака легкого / Е.В. Левченко // *Практическая Онкология*. – 2010. – Т. 11, № 2. – С. 88–95.
15. Тюрин, И.Е. Скрининг заболеваний органов дыхания: современные тенденции / И. Е. Тюрин // *Практическая пульмонология*. – 2011. – № 2. – С. 12–16.
16. Информационный сборник «Дозы облучения населения Российской Федерации в 2015 году». – СПб.: НИИРГ имени проф. Рамзаева, 2016. – Т.1. – 72 с.
17. Водоватов, А.В. Анализ уровней облучения взрослых пациентов при проведении наиболее распространенных рентгенографических исследований в Российской Федерации в 2009–2014 гг. / А.В. Водоватов, В.Ю. Голиков, С.А. Кальницкий, И.Г. Шацкий, Л.А. Чипига // *Радиационная гигиена*. – 2017 / – Т. 10, № 3. – С. 66–75. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-66-75>
18. Balonov M., Golikov V., Zvonova I., Chipiga L., Kalnitsky S., Sarycheva S., Vodovatov A. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009–2015. *J. Radiol. Prot.* 38 121. Pp. 121–140. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa9b99>
19. Онлайн-ресурс: <https://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?pg=safety-xray> (дата обращения: 11.08.2018).
20. Hendrick R.E. Radiation Doses and Cancer Risks from Breast Imaging Studies. *Radiology* 2010; 257:246–253. DOI: 10.1148/radiol.10100570
21. Онлайн-ресурс: <http://medradiology.moscow/ndkt> (дата обращения: 11.08.2018).
22. Mazzone, Peter J. Silvestri G.A., Patel S., Kanne J.P., Kinsinger L.S., Wiener R.S., Soo Hoo G., Detterbeck F.C. Screening for Lung Cancer: CHEST Guideline and Expert Panel Report., *Chest*, Vol.153 (4), 2018. Pp. 954 – 985.
23. Онлайн-ресурс. Breast Tomosynthesis. Considerations for Routine Clinical Use. <http://www.wishmd.com/wp-content/uploads/2016/04/tomo-white-paper.pdf> (дата обращения 11.08.2018).
24. Svahn T. M., Houssami N., Sechopoulos I., Mattsson S. Review of radiation dose estimates in digital breast tomosynthesis relative to those in two-view full-field digital mammography. *The BREAST*, Vol. 24(2), 2015. pp. 93–99.
25. Kim K.P., Einstein A.J., de Gonzalez A.B. Coronary artery calcification screening: estimated radiation dose and cancer risk. *Archives of internal medicine*. 2009;169(13):1188–1194. doi:10.1001/archinternmed.2009.162.
26. Vodovatov A., Golikov V., Bernhardsson C., Kamyshanskaya I. Estimation of conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for adult patients. *International Conference on Radiation Protection in Medicine: Achieving Change in Practice – IAEA, book of contributions*, <https://event.do/iaea/a/#/events/2009/f/6373/s/105635>
27. Водоватов, А.В. Новый подход к определению стандартного пациента для оптимизации защиты пациентов от медицинского облучения / А.В. Водоватов, И.Г. Камышанская, А.А. Дроздов // *Радиационная гигиена*. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 104–116.
28. Yanch J.C., Behrman R., Hendricks M.J., McCall J.H. Increased Radiation Dose to Overweight and Obese Patients from Radiographic Examinations. *Radiology*. 2009;252. pp.128–39.
29. Водоватов, А.В. Практическая реализация концепции референтных диагностических уровней для оптимизации защиты пациентов при проведении стандартных рентгенографических исследований / А.В. Водоватов // *Радиационная гигиена*. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 47–55.
30. Vodovatov A.V., Drozdov A.A., Telnova A.U., Bernhardsson C. Management of patient doses from digital X-ray chest screening examinations. *Radiation Protection Dosimetry* (2016); 169 (1-4): 232–239.

Поступила: 01.08.2018 г.

Водоватов Александр Валерьевич – исполняющий обязанности заведующего лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, ведущий 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, дом 8; E-mail: vodovattoff@gmail.com

Для цитирования: Водоватов А.В. Совершенствование норм радиационной безопасности. Часть 1: Целесообразность ограничения доз медицинского облучения практически здоровых лиц // *Радиационная гигиена*. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 115–124. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-115-124

Improvement of Radiation Safety Standards. Part 1. Appropriateness of the limitation of the medical exposure of healthy individuals

Aleksandr V. Vodovatov

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

Dose limits are commonly not applied for the radiation protection from medical exposure in the international practice; the principles of justification and optimization are used instead. However, the Russian Norms of the Radiation Safety NRB 99/2009 provide for the limitation (non-exceedance) of the doses for the healthy individuals undergoing X-ray examinations related to the employment-related, legal or screening purposes by 1 mSv per year. The aim of the study was to assess the feasibility of limiting the doses for the healthy individuals undergoing diagnostic medical X-ray examinations in the context of the revision of the Norms of the Radiation Safety. The study included the analysis of the existing Russian legislative documents regulating the medical exposure related to the employment-related, legal and screening purposes; evaluation of the imaging modalities commonly used for these purposes and conservative estimation of the effective doses per employment-related medical examination or a periodic health assessment. The results of the study indicate that a limit of 1 mSv per year is systematically exceeded for the healthy individuals undergoing X-ray examinations related to the employment-related, legal or screening purposes. Implementation of the modern screening methods (low-dose computer tomography, breast tomosynthesis) would lead to the significant increase of the effective dose per periodic health assessment up to 3–8 mSv per year. Hence, it is proposed to use the principle of the optimization with the establishment of the diagnostic reference levels for the screening X-ray examinations for the radiation protection of healthy individuals from medical exposure.

Key words: Healthy individuals, medical examinations, periodic health assessment, screening, medical expert review, dose limits, optimization, diagnostic reference levels.

References

- ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: translation from English / edited by M. F. Kiselev, N. K. Shandala. Moscow, «Alana», 2009, 312 p. (In Russian)
- Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards GSR Part 3. IAEA, Vienna, 2015, 518 p. (In Russian)
- ICRP Publication 105. Radiation Protection in Medicine. Russian translation under M. Balonov. Saint-Petersburg, NIIRG, 2011, 66 p. (In Russian)
- Karostik D.V., Kamyshanskaya I.G., Cheremysyn V.M., Drozdov A.A., Vodovatov A.V. Evaluation of low-dose CT implementation for lung cancer screening in a general practice hospital. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. Vol. 967, 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/967/1/012006
- Aviram G. Chest radiography for tuberculosis screening: a valuable tool. Isr. Med. Assoc. J., 2015, Vol. 17(1), pp. 50–51.
- Final recommendation statement: lung cancer: screening. U.S. Preventive Services Task Force. December 2016. Available from: www.uspreventiveservicestaskforce.org/Page/Document/RecommendationStatementFinal/lung-cancer-screening. Last accessed: 11.08.2018
- Iaccarino J.M., Clark J., Bolton R., Kinsinger L., Kelley M., Slatore C.G., Au D.H., Wiener R.S. A National Survey of Pulmonologists' Views on Low-Dose Computed Tomography Screening for Lung Cancer. Ann. Am. Thorac. Soc., 2015, Vol. 12(11), pp. 1667–75.
- Marshall H.M., Bowman R.V., Yang I.A., Fong K.M., Berg C.D. Screening for lung cancer with low-dose computed tomography: a review of current status. Journal of Thoracic Disease, 2013, Vol. 5, pp. 524–539.
- Helvie M.A. Digital mammography imaging: breast tomosynthesis and advanced applications. Radiol Clin North Am. 2010, vol. 48(5), pp. 917–929.
- Maryasheva Ju.A., Sinitsyn V.E., Ternovoy S.K. The role of CT-angiography in the examination of the patients with the suspected coronary artery disease. Diagnostic and interventional radiology, 2010, Vol. 4, № 1, pp. 67–73. (In Russian)
- Vanhoenacker P.K., Heijenbroek-Kal M.H., Van Heste R., Decramer I., Van Hoe L.R., Wijns W., Hunink M.G. Diagnostic performance of multidetector CT angiography for assessment of coronary artery disease: meta-analysis. Radiology, 2007; 244: pp. 419–428.
- Strelnikov A.A., Obrezan A.G., Shaidakov E.V. Screening and Prophylactics of the Essential diseases: a Handbook for the Physicians. Saint-Petersburg. SpecLit, 2012, 535 p. (In Russian)
- Basics of policies. Screening in Europe. European Observatory on Health Systems and Policies, 2008, 76 p. (In Russian)
- Levchenko E.V. Screening of lung cancer. Practical Oncology, 2010, Vol. 11, №2, pp. 88–95. (In Russian)
- Turin I.E. Screening of pulmonary disease: current trends. Practical Pulmonology, 2011, №2, pp. 12–16. (In Russian)

Aleksandr V. Vodovatov

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

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovattoff@gmail.com

16. Doses to the public of Russian Federation based on the ESKID results in 2002-2015. Information bulletin. Saint-Petersburg, NIIRG, 2015, 40 p. (in Russian)
17. Vodovатов A.V., Golikov V.Yu., Kalnitsky S.A., Shatsky I.G., Chipiga L.A. Evaluation of levels of exposure of adult patients from common radiographic examinations in the Russian Federation in 2009–2014. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(3):66-75. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-66-75>
18. Balonov M., Golikov V., Zvonova I., Chipiga L., Kalnitsky S., Sarycheva S., Vodovатов A. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009–2015. *J. Radiol. Prot.* 38 121. Pp. 121-140. DOI:<https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa9b99>
19. Electronic resource: <https://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?pg=safety-xray> (Accessed 11.08.2018)
20. Hendrick R. E. Radiation Doses and Cancer Risks from Breast Imaging Studies. *Radiology* 2010; 257:246–253. DOI: 10.1148/radiol.10100570
21. Electronic resource: <http://medradiology.moscow/ndkt> (Accessed 11.08.2018)
22. Mazzone, Peter J. Silvestri G. A., Patel S., Kanne J. P., Kinsinger L. S., Wiener R. S., Soo Hoo G., Detterbeck F. C. Screening for Lung Cancer: CHEST Guideline and Expert Panel Report., *Chest*, Vol.153 (4), 2018. pp. 954 – 985.
23. Breast Tomosynthesis. Considerations for Routine Clinical Use. <http://www.wishmd.com/wp-content/uploads/2016/04/tomo-white-paper.pdf> (Accessed 11.08.2018)
24. Svahn T.M., Houssami N., Sechopoulos I., Mattsson S. Review of radiation dose estimates in digital breast tomosynthesis relative to those in two-view full-field digital mammography. *The BREAST*, Vol. 24(2), 2015. pp. 93–99.
25. Kim K.P., Einstein A.J., de Gonzalez A.B.. Coronary artery calcification screening: estimated radiation dose and cancer risk. *Archives of internal medicine*. 2009;169(13):1188-1194. doi:10.1001/archinternmed.2009.162.
26. Vodovатов A., Golikov V., Bernhardsson C., Kamyshanskaya I. Estimation of conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for adult patients. *International Conference on Radiation Protection in Medicine: Achieving Change in Practice – IAEA*, book of contributions, <https://event.do/iaea/a/#/events/2009/f/6373/s/105635>
27. Vodovатов A.V., Kamyshanskaya I.G., Drozdov A.A. New approach for the determination of the standard patient to be used for the optimization of the medical exposure protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(4):104-116. (In Russian)
28. Yanch J.C., Behrman R., Hendricks M.j., McCall J.H. Increased radiation dose to overweight and obese patients from radiographic examinations. *Radiology*. 2009;252. pp.128-39.
29. Vodovатов A.V. Practical implementation of the diagnostic reference levels concept for the common radiographic examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1):47-55. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55>
30. Vodovатов A.V., Drozdov A.A., Telnova A.Yu., Bernhardsson C. Management of patient doses from digital X-ray chest screening examinations. *Radiation Protection Dosimetry* (2016); 169 (1-4): 232-239.

Received: August 1, 2018

For correspondence: Aleksandr V. Vodovатов – 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: vodovatoff@gmail.com)

For citation: Vodovатов A.V. Improvement of Radiation Safety Standards. Part 1. Appropriateness of the limitation of the medical exposure of healthy individuals. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 3, pp.115-124. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-115-124

ИВАНУ КОНСТАНТИНОВИЧУ РОМАНОВИЧУ – 60 ЛЕТ

В сентябре 2018 г. исполнилось 60 лет доктору медицинских наук, профессору, члену-корреспонденту РАН, директору Федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, главному редактору журнала «Радиационная гигиена» – Ивану Константиновичу Романовичу.

Член-корреспондент РАН И.К. Романович – авторитетный ученый и специалист в области радиационной гигиены, труды которого хорошо известны в нашей стране и за рубежом. Его фундаментальные труды положены в основу решения многочисленных проблем обеспечения радиационной безопасности населения на современном этапе.

Первое медицинское образование Иван Константинович получил в 1978 г., с отличием окончив фельдшерско-акушерское отделение Вашковецкого медицинского училища (Черновицкая обл., Украина). Отслужив 1 год срочной службы, далее учебу продолжил на факультете подготовки врачей для Военно-Морского флота в Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, которую с отличием окончил в 1985 году. Формирование его как специалиста в области профилактической медицины проходило в рядах Вооруженных сил: с 1985 по 1990 гг. в санэпидотрядах Тихоокеанского флота, с 1990 по 2000 г. в Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. Научная деятельность Ивана Константиновича началась с адъюнктуры при кафедре военно-морской и радиационной гигиены Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (1990–1993 гг.). В 1993 г. И.К. Романович успешно защитил кандидатскую диссертацию, в которой впервые, под руководством профессора Г.Н. Новожилова, были рассмотрены вопросы обеспечения радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды при выводе из эксплуатации атомных подводных лодок. С 1993 по 2000 г. Иван Константинович занимал должности от младшего научного сотрудника до начальника НИО «Всеармейский регистр» Военно-медицинской академии, где продолжил работы к.м.н. Макеева Бориса Лавровича и д.м.н., профессора Шантыря Игоря Игнатьевича по созданию и эффективному функционированию медико-дозиметрического регистра Министерства обороны Российской Федерации. В результате этой работы в 2003 г. Иван Константинович защитил диссертацию «Гигиеническая оценка риска нарушений здоровья у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС» на соискание ученой степени доктора медицинских наук по специальности «Гигиена».

С 2001 г., после увольнения из Вооруженных сил, И.К. Романович продолжил научную деятельность в Северо-Западном научном центре гигиены и общественного здоровья Министерства здравоохранения Российской Федерации в должности заместителя директора по научной работе. С апреля 2003 г. и по настоящее время Иван Константинович Романович работает дирек-



тором Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

С самого начала работы в Институте радиационной гигиены Иван Константинович поставил перед собой задачу по восстановлению традиций учреждения, утраченных в годы распада СССР, по формированию современной материальной базы, подготовке научных кадров. Подводя итоги 15-летней работы коллектива Института под руководством И.К. Романовича, можно констатировать факт существенного преобразования Института, лабораторий, появления новых лабораторий, информационно-аналитического центра, повышения роли Института в жизни Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, в обеспечении радиационной безопасности населения России. В 2007 г. на базе ФБУЗ «Центры гигиены и эпидемиологии» в субъектах РФ создано 7 межрегиональных радиологических центров, научно-практическое руководство которыми осуществляет Институт радиационной гигиены.

Под руководством И.К. Романовича Институт на постоянной основе организует и проводит международные научно-практические конференции, являющиеся научной платформой объединения специалистов по радиационной гигиене и радиационной безопасности населения, расширяющие сферу профессионального диалога российских и зарубежных специалистов; международные конкурсы молодых ученых и специалистов по специальности «Радиационная гигиена», призванные создать условия для раскрытия и реализации творческих способностей молодых ученых и специалистов, их поддержки и стимулирования научной деятельности.

С 2008 г. Институт начал выпускать журнал «Радиационная гигиена». Через два года после первого выпуска журнал был включен в Перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук; индексируется в РИНЦ; а с 2017 г. – и в базе данных Scopus.

Уделяя много сил и внимания подготовке научных кадров и повышению квалификации практических работников Роспотребнадзора, И.К. Романович явился инициатором возобновления в Институте образовательной деятельности по дополнительному профессиональному образованию по специальности «Радиационная гигиена». В 2017 г. Институт получил лицензию на право ведения образовательной деятельности по программам высшего образования в ординатуре по специальности «Радиационная гигиена» и аспирантуре по специальности «Гигиена».

С 2003 г. основными направлениями научной деятельности И.К. Романовича являются совершенствование санитарного законодательства в области обеспечения радиационной безопасности населения, оценка радиационных рисков, разработка системных мер противодействия ядерному и радиационному терроризму. Под его руководством подготовлены проекты основных нормативно-методических документов по обеспечению радиационной безопасности, действующих в настоящее время в Российской Федерации, – НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010. В настоящее время И.К. Романович руководит работой по подготовке новых Норм радиационной безопасности, максимально гармонизированных с международными рекомендациями.

И.К. Романович осуществлял руководство работой по научно-методическому обеспечению органов и организаций Роспотребнадзора по обеспечению радиационной безопасности населения Дальневосточных регионов Российской Федерации в связи с аварией на японской АЭС «Фукусима-1». И.К. Романовичем в соавторстве проанализированы и опубликованы материалы по аварийному реагированию учреждений Роспотребнадзора в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1», а также данные по радиационному обследованию Дальневосточных регионов Российской Федерации и прибрежных районов Тихого океана после аварии на японской АЭС «Фукусима-1».

В период подготовки и проведения в Российской Федерации летней студенческой Универсиады в 2013 г. в Казани, Олимпийских и Паралимпийских зимних игр в Сочи в 2014 г., Чемпионата мира по футболу в 2018 г. И.К. Романович осуществлял научно-методическое руководство и принял непосредственное участие в обеспечении радиационной безопасности участников и гостей игр. Уникальный опыт работы по обеспечению радиационной безопасности и противодействию радиационному терроризму при проведении массовых спортивных мероприятий обобщен и отражен в монографии 2016 г.

И.К. Романович внес существенный вклад в научное обоснование и разработку Концепции перехода населения территорий Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие радиационных аварий и катастроф, от состояния проживания в условиях радиационной аварии к условиям нормальной жизнедеятельности населения.

В настоящее время под его руководством успешно разрабатывается новое для Института научное направление – разработка и обоснование радиационно-гигиенических требований к реабилитации объектов и территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности.

Многогранные направления научной деятельности И.К. Романовича нашли отражение в 251 научной работе, в том числе в 14 монографиях. Под его руководством подготовлено и защищено 2 докторских и 6 кандидатских диссертаций.

Плодотворную руководящую и научную деятельность Иван Константинович сочетает с большой экспертной и общественной деятельностью. Он является членом бюро секции профилактической медицины Отделения медицинских наук РАН, заместителем председателя Российской научной комиссии по радиологической защите при РАН; членом ученого совета Роспотребнадзора; сопредседателем проблемной комиссии ученого совета Роспотребнадзора «Научные основы воздействия ионизирующего и неионизирующего излучения на здоровье населения» по направлению «Радиационная гигиена»; членом двух диссертационных советов; заместителем председателя Северо-Западного экспертного совета по причинной связи заболеваний с радиационным воздействием; председателем аккредитационной подкомиссии по специальности «Медико-профилактическое дело» в г. Санкт-Петербург; Председателем Ученого Совета ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева; главным редактором журнала «Радиационная гигиена»; членом редколлегии журналов «Здоровье населения и среда обитания», «Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях», «Морская медицина».

За высокие достижения в научной, организационной и практической деятельности по охране здоровья военнослужащих и населения во время службы в рядах Вооруженных сил и работе в системе Роспотребнадзора И.К. Романович награжден 5 медалями, нагрудным знаком «Отличник здравоохранения», 14 грамотами и благодарностями.

В коллективе Института и у коллег Иван Константинович пользуется заслуженным уважением и авторитетом как талантливый организатор, ученый, признанный общественный деятель, мудрый педагог и наставник; как человек, преданный своему делу и выбранной профессии.

Коллектив Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева, редакция журнала «Радиационная гигиена», ученики и коллеги с высоким чувством уважения поздравляют юбиляра, желают ему здоровья, неиссякаемой энергии, творческих успехов в многогранной работе руководителя и ученого в области радиационной гигиены и воспитании новых поколений российских ученых!

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 сайтах 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. Центер. 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.